



Title	厳冬期災害における低体温症要対処者を考慮した人的被害推定と減災対策に関する研究
Author(s)	飯田, 彬斗
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第16622号
Issue Date	2025-09-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k16622
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/98232
Type	doctoral thesis
File Information	Iida_Akito.pdf, 全文



博 士 論 文

厳冬期災害における低体温症要対処者を考慮した
人的被害推定と減災対策に関する研究

Casualty Estimation and Disaster Mitigation Measures Considering Persons Requiring
Treatment for Hypothermia during Severe Winter Disasters

2025 年 8 月

北海道大学大学院工学院
建築都市空間デザイン専攻 都市防災学研究室

飯田 彬斗

論文要旨

地球温暖化の影響により、熱中症に対する関心が高まっている。一方、厚生労働省の人口動態統計によれば、自然の過度の低温への曝露による国内の死者数は千人を超え、暑熱の死者数を上回る年も確認されている。特に、本学の属する北海道等の積雪寒冷地における厳冬期の災害では、吹雪や積雪等の影響により救助が遅れること等が想定され、被災者が低気温環境下に長時間曝されることで、夏であれば助けられたはずの生命が失われる可能性がある。本研究はこれらの背景から、被害想定において低体温症リスクを定量評価する手法を構築し、厳冬期災害の減災施策を低体温症リスクの観点から定量的に効果検証を可能とすることを目的とした。

本論文は全7章によって構成されている。以下に各章の概要を示す。

第1章は、研究背景・目的によって構成される。研究背景には、東北地方太平洋沖地震や令和6年能登半島地震における凍死者や低体温症患者の発生がある。東日本大震災では、宮城県内で凍死者凍死や低体温症患者が報告された。この報告を受けて内閣府中央防災会議では、地震被害想定の評価項目に積雪寒冷特有の影響を考慮した低体温症要対処者が組み込まれた。しかし、個々の被災状況や気象状況等を考慮した定量的な評価にまでは至っておらず、行政の減災施策に対する効果が薄いことが懸念された。実際、令和6年能登半島地震において、石川県内で低体温症患者及び凍死者であり、厳冬期災害における凍死対策が進んでいないことが露呈した結果となった。

研究目的は上述のとおりであるが、特に本論では、北海道内の自治体について、建物倒壊に伴う閉じ込め者及び津波避難者の低体温症リスク評価を実施するとともに、低体温症要対処者低減施策の効果検証をし、人的被害推定に資する評価手法の提案を行うことを目的とした。

第2章は、本研究に関連する既往地震災害の概要、低体温症の事例、低体温症関連の既往研究についてとりまとめ及び考察で構成される。特に、凍死者・低体温症患者が報告されている東北地方太平洋沖地震と令和6年能登半島地震については、当時の気象状況や積雪量等の情報もとりまとめ、収集情報より、それぞれの地震災害における定性的な考察を加えた。

また、災害時以外の低体温症に関する事例や既往研究については、医療・解剖的な視点の既往研究より、実災害時に発生しうる個々の事象についての記録が多く掲載されており、早急な救助や対応が必要となる場面での重要な情報を定性的に取りまとめた。

第3章は、今日の地震時人的被害想定手法について情報収集を行い、考察を加えた。対象としたのは、積雪寒冷地である北海道及び東北6県である。東北6県の建物倒壊に伴う被害想定手法では、全壊棟数に一定の係数をかけることで死負傷者数を推定している。既往災害での死負傷者と全壊棟数の関係から導かれた手法であるが、地域性や季節性等が考慮されづらく、低体温症等の二次災害を検証するに堪えうる十分な分解能は得られていないことを課題とした。また、2025年中央防災会議の手法では、最大避難者数との関係から評価する災害関連死も項目として追加されている。しかし、実績値が十分に確保されていないことや災害関連死の基準が定まっていないこと、因子や条件も様々な個々の死を「災害関連死」と一括りにしてしまうと、減災施策に活用しづらいという懸念に言及した。

第4章は、低体温症要対処者推定手法について取りまとめた。ここでは、低体温症の事例を用い、国際規格のISO11079において定義されている寒冷指標を用いた地震・津波災害における寒冷環境曝露による低体温症リスクの推定手法を構築した。この提案関数は、発災時の気温や風速等の気候条件、被災者の服装等の防寒条件を踏まえ、寒冷環境曝露による低体温症発症までの猶予時間である限界曝露時間の定量評価が可能である。

第5章では、提案関数を用いて、北海道内の複数の想定地震に対して、経済圏ごとに低体温症要対処者を考慮した人的被害推定を実施した。建物倒壊に伴う閉じ込め者及び津波避難者における低体温症要対処者数の推定においては、以下の2点を考慮して、積雪寒冷地という地域特性等を反映させた。

- (1) 建物被害及び建物被害に伴う死負傷等の人的被害推定にあたっては、積雪等による住宅の耐震評点分布の変化を考慮した建物被害率関数を採用した。
- (2) 津波避難では、ダイクストラ法を用いて、避難場所までの最短経路検索を実施するにあたり、津波避難者の避難速度について、路面凍結を考慮した歩行速度の軽減効果を採用した。

また、低体温症要対処者推定については、建物倒壊等により身体的に拘束された「身体的閉じ込め者」や建具の歪みにより建物内に脱出できなくなった「空間的閉じ込め者」、それぞれの負傷状況等を区分して推定することにより、被災者の服装や室内気温等の状況等を反映させた。

以上を踏まえて低体温症要対処者を考慮した人的被害推定を実施し、気象状況等の地域特性による人的被害の差異を明らかとし、厳冬期災害における積雪による建物被害に起因する死負傷者や低体温症要対処者の増大を明らかとし、厳冬期災害に関する事前対策の必要性を示唆した。

第6章では、厳冬期災害における減災対策として、3つの施策を挙げ、それらの施策を行った際の人的被害推定を実施し、効果検証を行った。

- (1) 家屋の耐震化により耐震評点の最低値（目標耐震評点）を0.5とし、耐震評点の低い建物における被害を軽減する。これにより、建物倒壊に起因する閉じ込め者が軽減するし、これに起因する低体温症発生リスクの軽減に寄与することを示した。
- (2) 住宅の断熱性向上を行った場合として、室温変動率を2分の1とした場合の、空間的閉じ込め者における低体温症要対処者数の低減を検証した。これにより、特に重傷を負った空間的閉じ込め者においては、室温を一定以上に保つことが低体温症発生リスクの軽減に大きく貢献することを示した。
- (3) 地震・津波複合災害が想定されるエリアの沿岸部では、津波による浸水が発生し、被災者が避難場所・津波避難ビル等の屋外に避難した場合、長時間にわたり厳しい寒冷環境に曝されることとなる。そこで、避難場所・津波避難ビル等において防風・防寒施設を設置した場合の、低体温症発生リスクの軽減を検証し、避難場所に防寒対策を施すことによる低体温症対策の有用性を明らかとした。

第7章では、結論として、本研究で得られた知見をとりまとめ、今後の課題・展望について言及した。特に、本研究成果には次のような課題があることを申し添えた。

- (1) 人口減少や高齢化に伴い、地方行政では財源確保が難しく、有効な施策であっても、全ての対策を減災施策として打ち出すことは難しい。厳冬期災害の季節性を踏まえた被害想定

結果は、被害様相を高精度に評価・把握することが可能であるので、予算内で最も被害軽減に寄与する施策を検討する上での参考資料として活用することが可能である。

- (2) 本研究成果においては、年齢を踏まえた個人特性の導入、中等度低体温症や屋内避難所避難者や避難所外避難者の低体温症への適用範囲の拡大等が望まれる。今後引き続き研究を進めることで、より実情に即した被害想定手法に高度化することで、より一層自治体の防災施策に寄与することが期待される。
- (3) 低体温症要対処者の推定関数は、既往の調査結果を活用している。しかし、既往調査件数が少なく、精度向上においては今後発生しうる地震災害等での調査が不可欠となる。今後の調査については、提案関数より調査項目を整理し、データ蓄積を行うことが重要である。

本研究に関する発表論文

[論文]

- (1) Akito Iida, Tadayoshi Nakashima, Shigeyuki Okada: Development of an estimation method for accidental hypothermia risk due to cold exposure in disasters triggered by earthquakes and tsunamis, International Journal of Disaster Risk Reduction, Volume 96, 103999, 1st October 2023.
- (2) 飯田彬斗, 中嶋唯貴, 村山凜成: 積雪寒冷地における建物被害に起因した低体温症要対処者推定, 日本建築学会構造系論文集, 90 (828), 285-291, 2025 年 02 月

[発表]

- (1) 飯田彬斗, 中嶋唯貴, 岡田成幸: 災害時の寒冷曝露に起因した低体温症被害評価手法の構築, 地域安全学会梗概集 No.50, 69-72, 2022 年 5 月
- (2) 飯田彬斗, 中嶋唯貴: 地震時の潜在的凍死者救助にかかる必要救助活動参加者数の推定・北海道札幌商圏・函館商圏・稚内商圏を対象として-, 日本地震工学会第 17 回年次大会梗概集, TS20220061, 1-8, 2022 年 12 月
- (3) 飯田彬斗, 中嶋唯貴: 個人特性を考慮した災害時の低体温症被害評価関数の構築, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 II (2024) 281-282, 2024 年 08 月

目 次

1. はじめに.....	1
1.1. 研究背景.....	1
1.2. 本研究の目的.....	11
2. 先行研究・既往災害研究	13
2.1. 歴史地震における発生時期・人的被害等及び当時の気候.....	13
2.2. 地震以外の自然災害における発生時期・人的被害等及び当時の気候	28
2.3. 災害以外での凍死・低体温症	30
2.4. 低体温症に関する既往研究.....	33
3. 人的被害想定手法の現状	39
3.1. 建物被害による死傷者数.....	40
3.2. 関連死に関する被害想定.....	48
4. 低体温症発症者数推定手法の構築.....	54
4.1. 低体温症発症者の推定手法.....	55
4.2. 低体温症発症者評価関数における個人特性の検証	72
4.3. 低体温症発症者数推定の精度検証.....	77
5. 低体温症発症者数推定	81
5.1. 建物被害に伴う身体的閉じ込め者の偶発性低体温症リスク	82
5.2. 建物内での空間的閉じ込めにおける偶発性低体温症リスク	144
5.3. 津波避難者の津波避難ビル等屋外における偶発性低体温症リスク	167
5.4. 偶発性低体温症リスクの集計結果.....	178
6. 低体温症発症者低減施策の検証.....	182
6.1. 建物倒壊に伴う閉じ込め者軽減に係る耐震改修	183
6.2. 災害時の家屋内温熱環境改善に係る住宅の断熱性能向上.....	194
6.3. 屋外の津波避難場所における防寒.....	205
7. 結論.....	208
7.1. まとめ.....	208
7.2. 今後の課題・展望.....	212
謝辞.....	214

1. はじめに

1.1. 研究背景

熱中症に比べ、低温による凍死等に対する社会の関心は低い。しかし、厚生労働省の人口動態統計¹⁾によれば、自然の過度の低温への曝露による国内の死者数は2010年から2014年まで毎年1,000人を超え、2010年を除いて暑熱の死者数を上回ることが確認されている。また、2001～2014年を合計すると、低温による死者数は13,204人になり、同時期の暑熱による死者数の8,789人を大きく超えている。

ここで、厳冬期に発生する災害に注目する。厳冬期災害においては、吹雪等の悪天候や積雪の影響等により救助が遅れ、被災者が低気温環境下に長時間曝されることで、夏であれば助けられたはずの生命が失われる可能性がある。例えば、地震により倒壊した建物に閉じ込められた生存者は、救助されるまで外気と同程度の低温環境に曝される。津波避難ビルや高台等の屋外に避難した者は、津波が引くまで極寒の吹き曝しに取り残される。

このように、厳冬期における被災者は、地震・津波による被害から生き延びた後も、時間経過とともに低体温という危険にさらされる。実際に東北地方太平洋沖地震では、門廻・今村²⁾の検死結果を用いた要因分析によると、宮城県内で23名の凍死者の発生が報告されている。同じくFurukawaら³⁾によると同県内で91名の低体温症患者についての調査結果が報告されており、津波に曝露せずに自宅内で発症した低体温症患者も報告されている。当該地震発災当日の宮城県仙台市における発災当日・翌日の気温は、日平均気温1.5℃、日最低気温-2.5℃⁴⁾であった。2024年1月1日に発生した能登半島地震では、石川県内で241人の死者が確認⁵⁾され、NHK⁶⁾によると1月30日時点で低体温症・凍死者は、32人にのぼると報告された。この地震の発災当日の石川県珠洲市の気温は概ね、日平均気温4.0℃、日最低気温-1.0℃⁴⁾であった。これらの気温は北海道札幌市では、概ね日平均気温で3月、日最低気温で4月に相当する。北海道においては、春先に地震が発生した場合においても、低体温症による凍死者が発生する可能性があることを示唆している。

Fig. 1.1～Fig. 1.8は、1991年～2010年の北海道の各経済圏における2月の最大積雪深及び最低気温を示したものである。北海道においては、最低気温が-10℃を大きく下回ることも珍しくなく、厳冬期に地震が発生した場合、二次災害として大規模な低体温症・凍死者の発生が预见される。

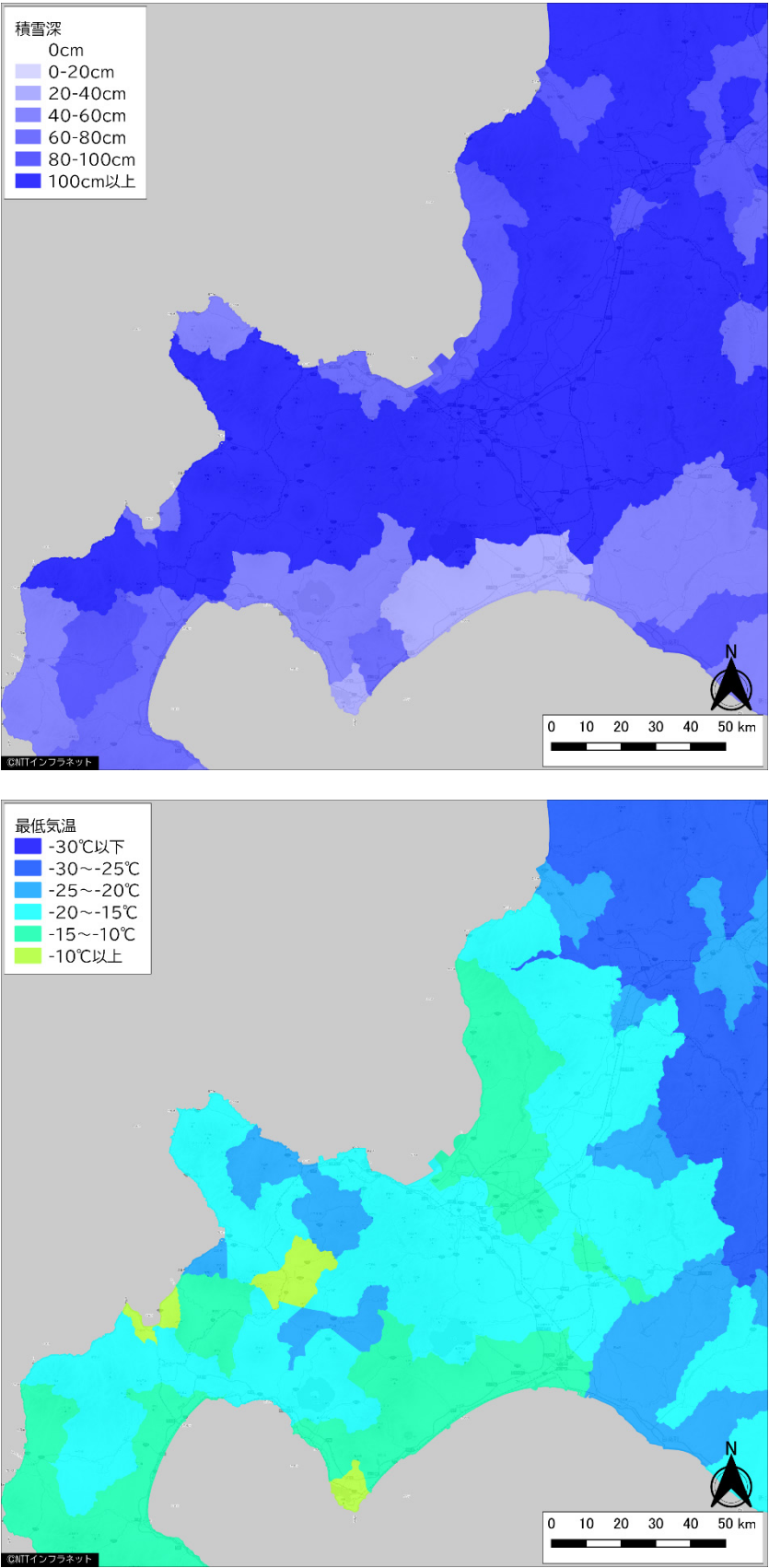


Fig. 1.1 2月の最大積雪量・最低気温分布（札幌商圏）

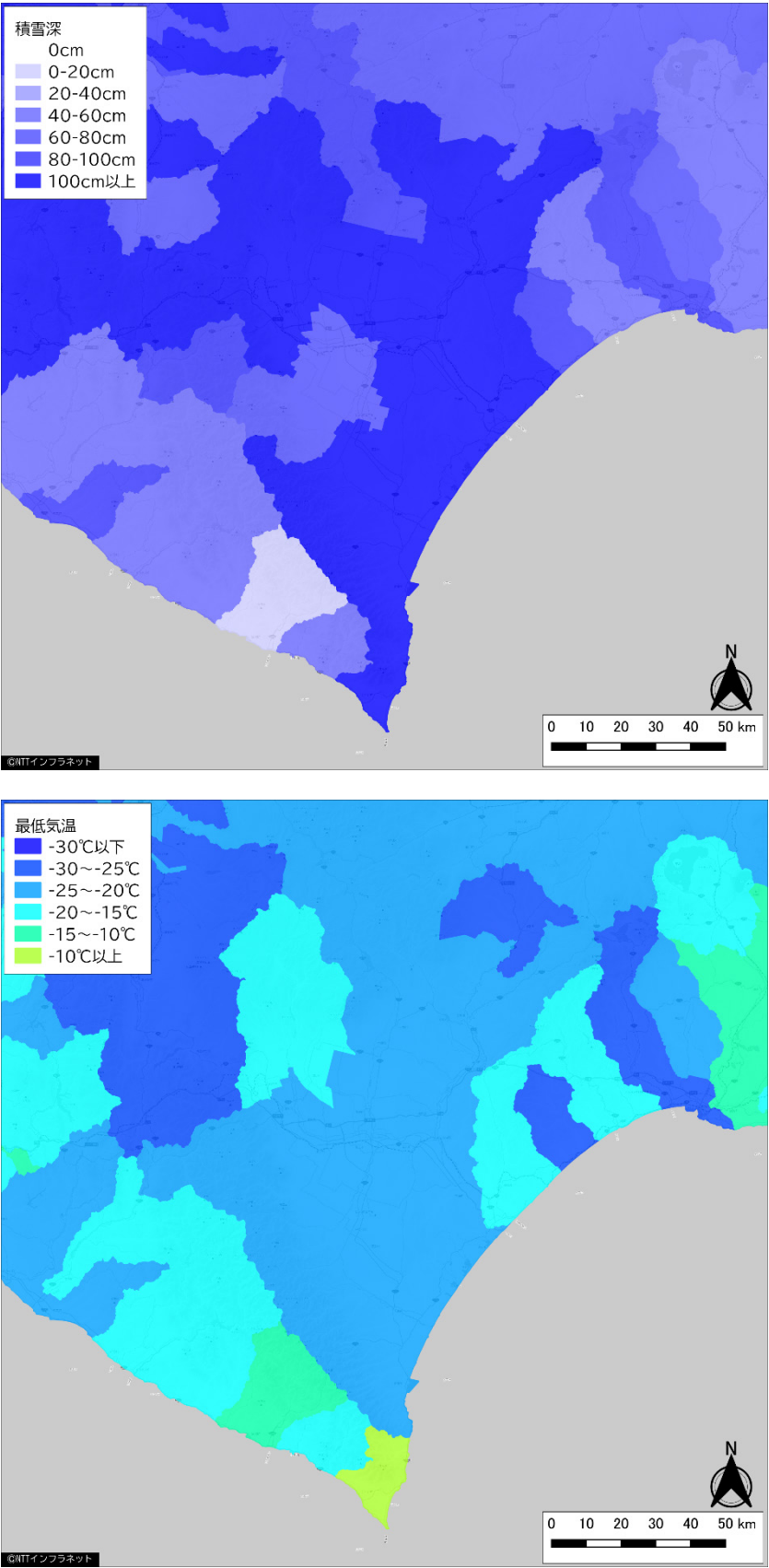


Fig. 1.2 2月の最大積雪量・最低気温分布（帯広商圏）

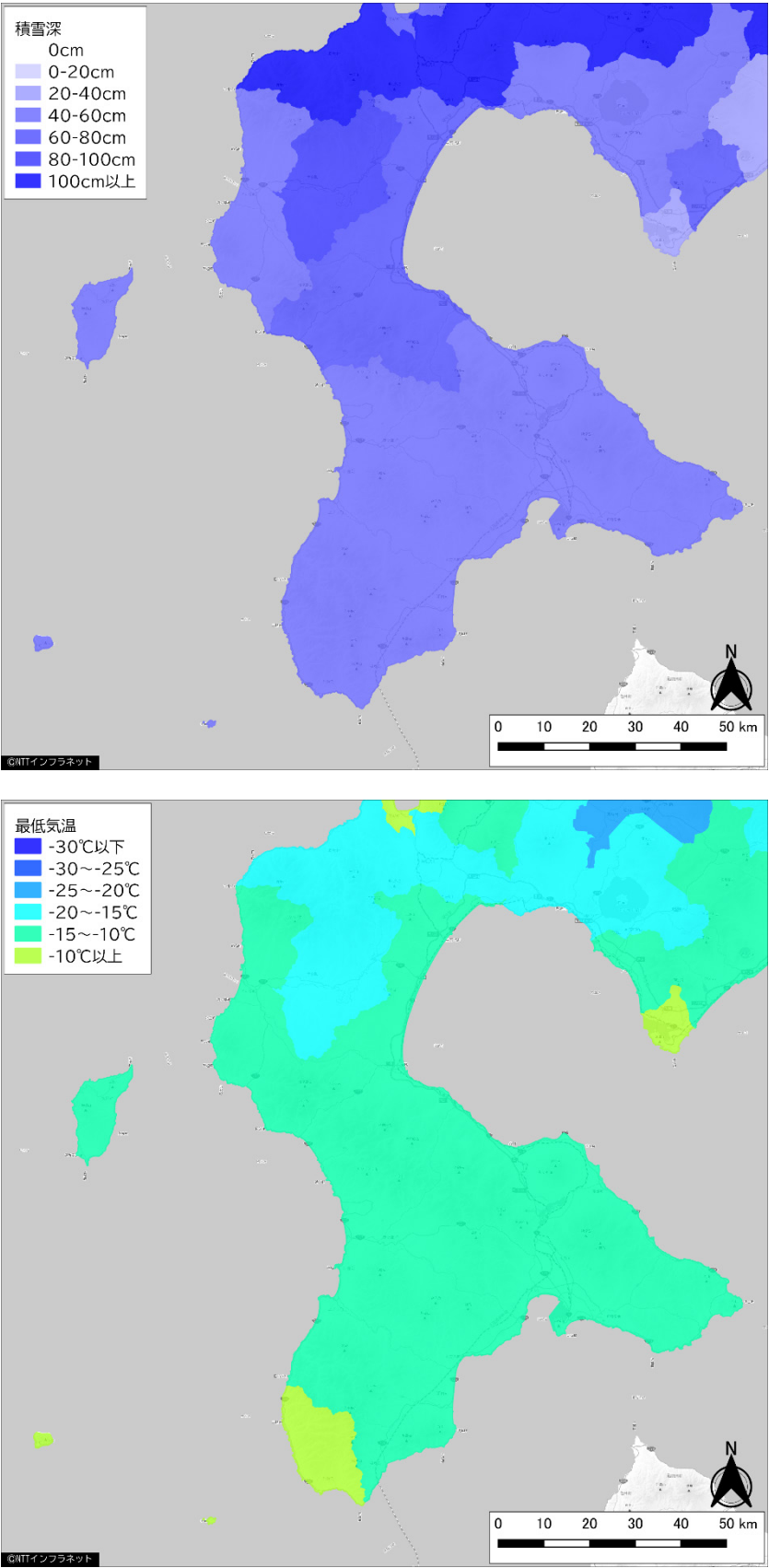


Fig. 1.3 2月の最大積雪量・最低気温分布（函館商圏）

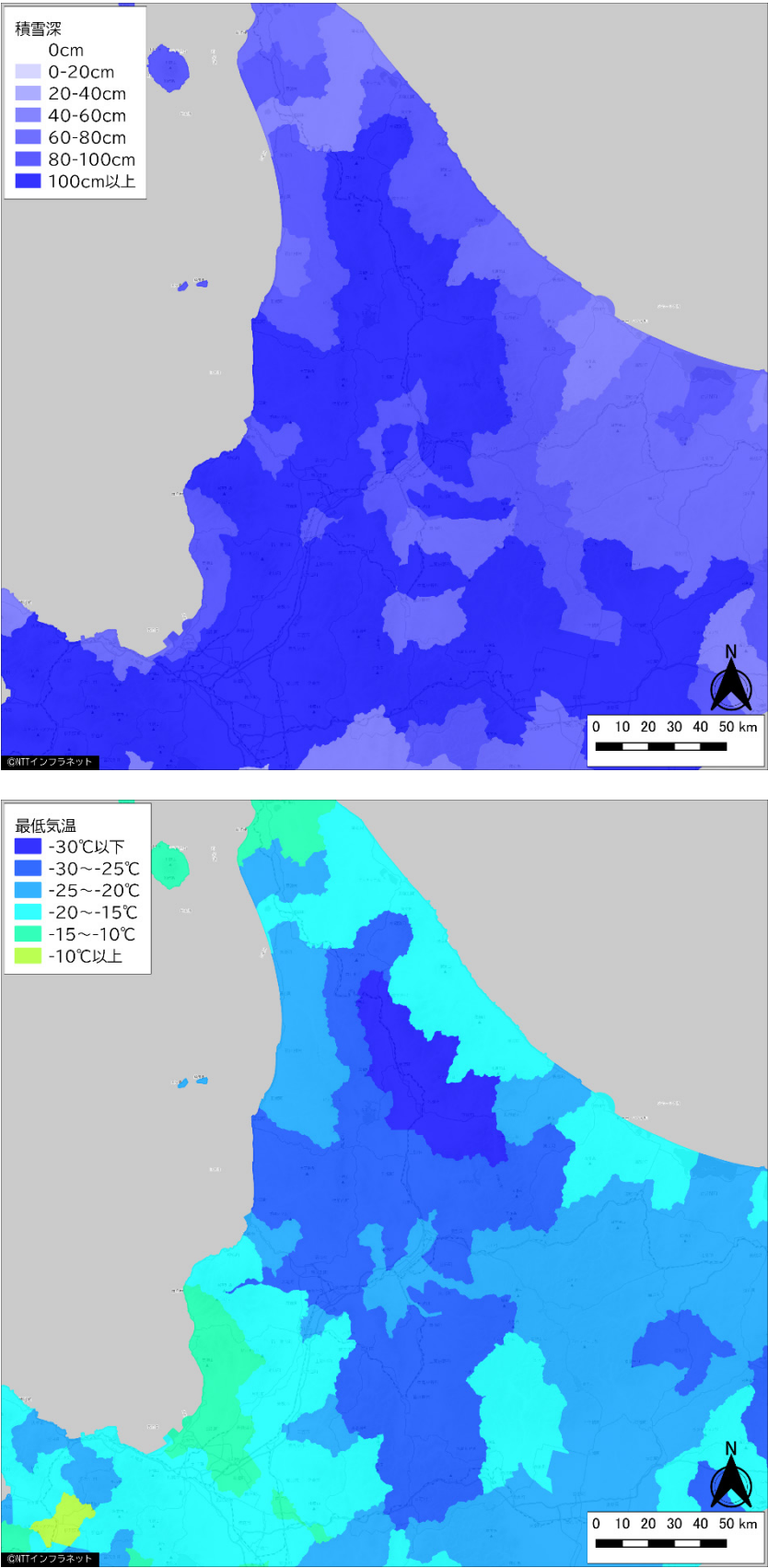


Fig. 1.4 2月の最大積雪量・最低気温分布（旭川商圏）

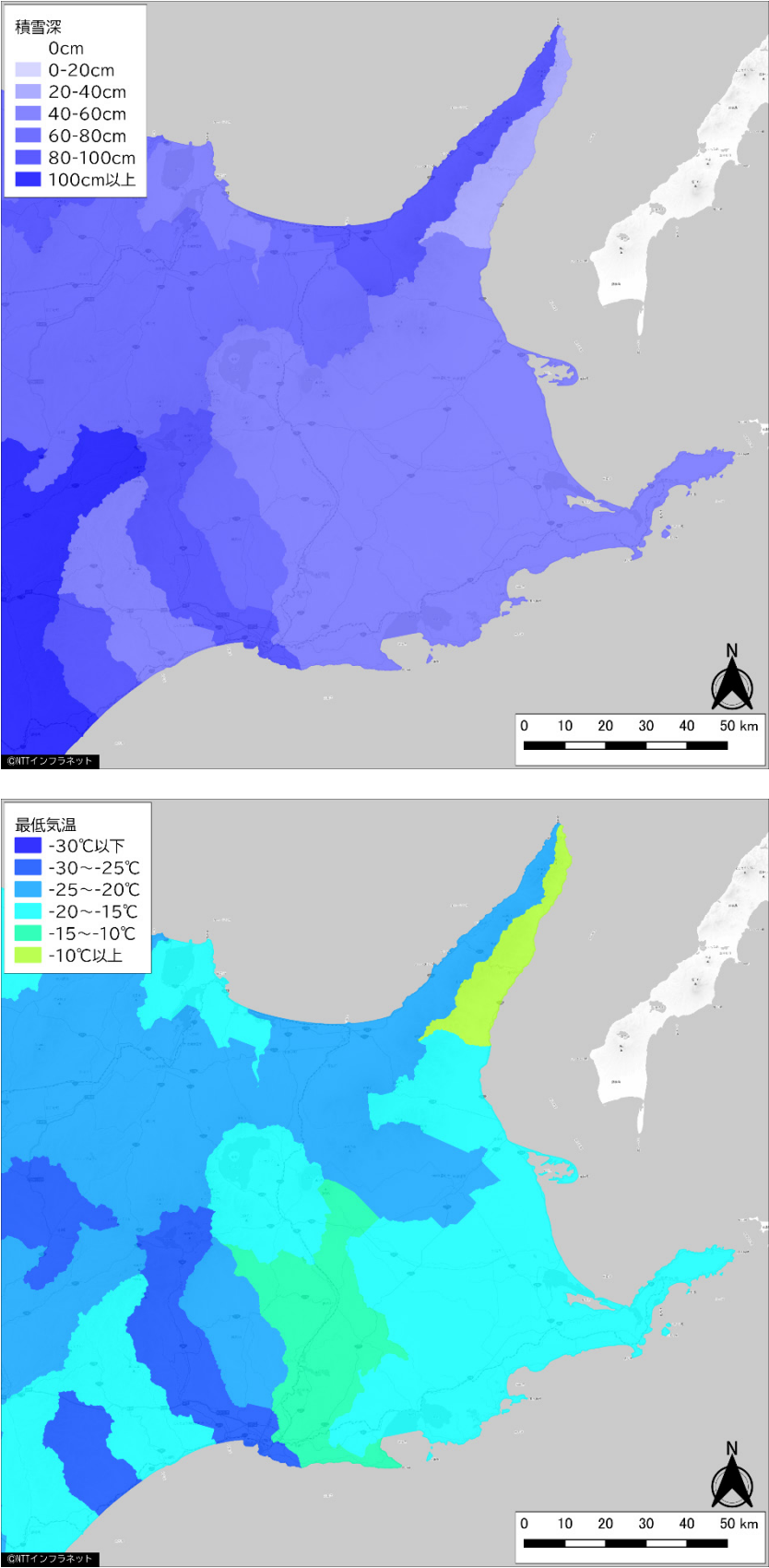


Fig. 1.5 2月の最大積雪量・最低気温分布（釧路商圏）

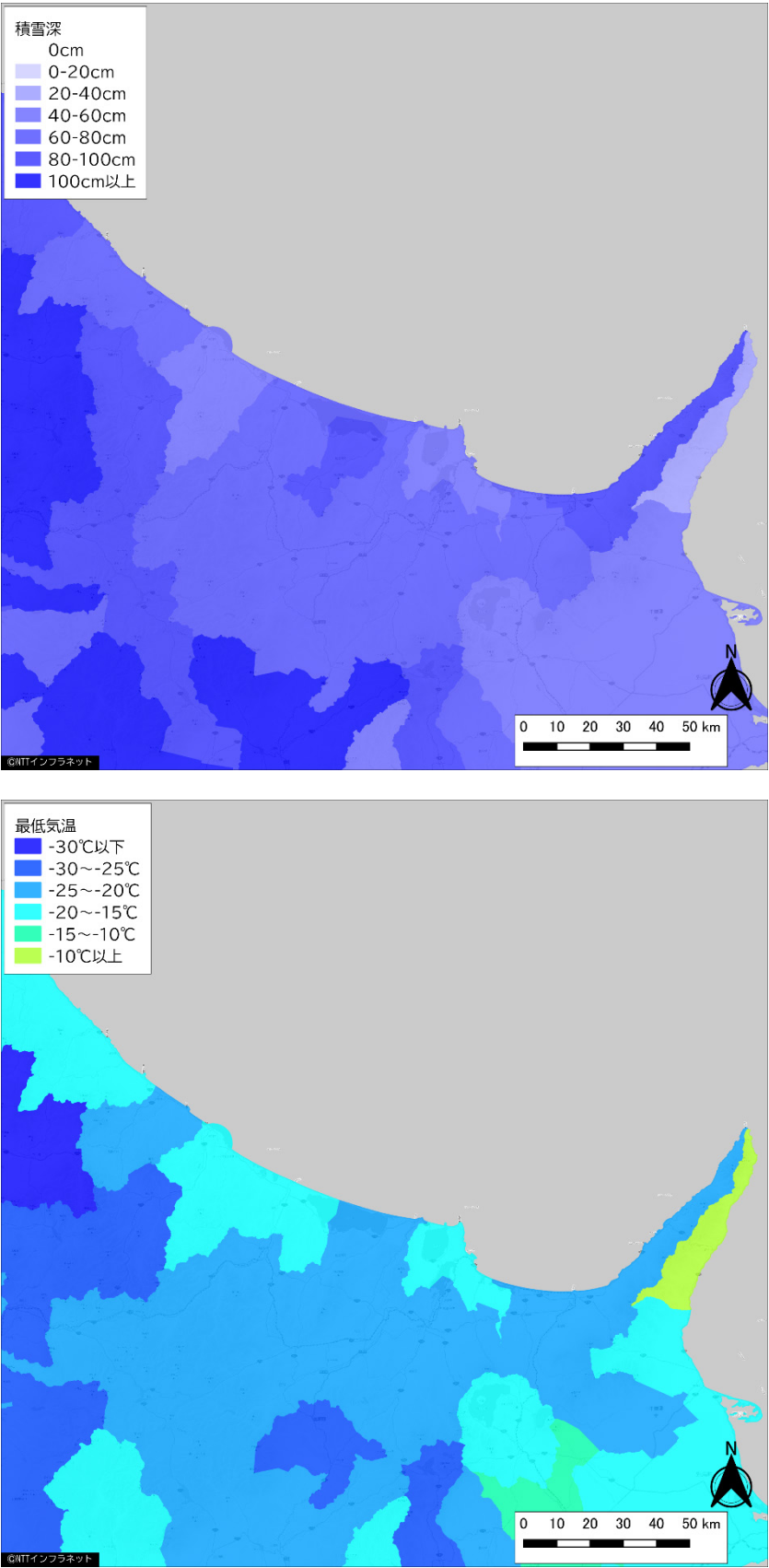


Fig. 1.6 2月の最大積雪量・最低気温分布（北見商圏）

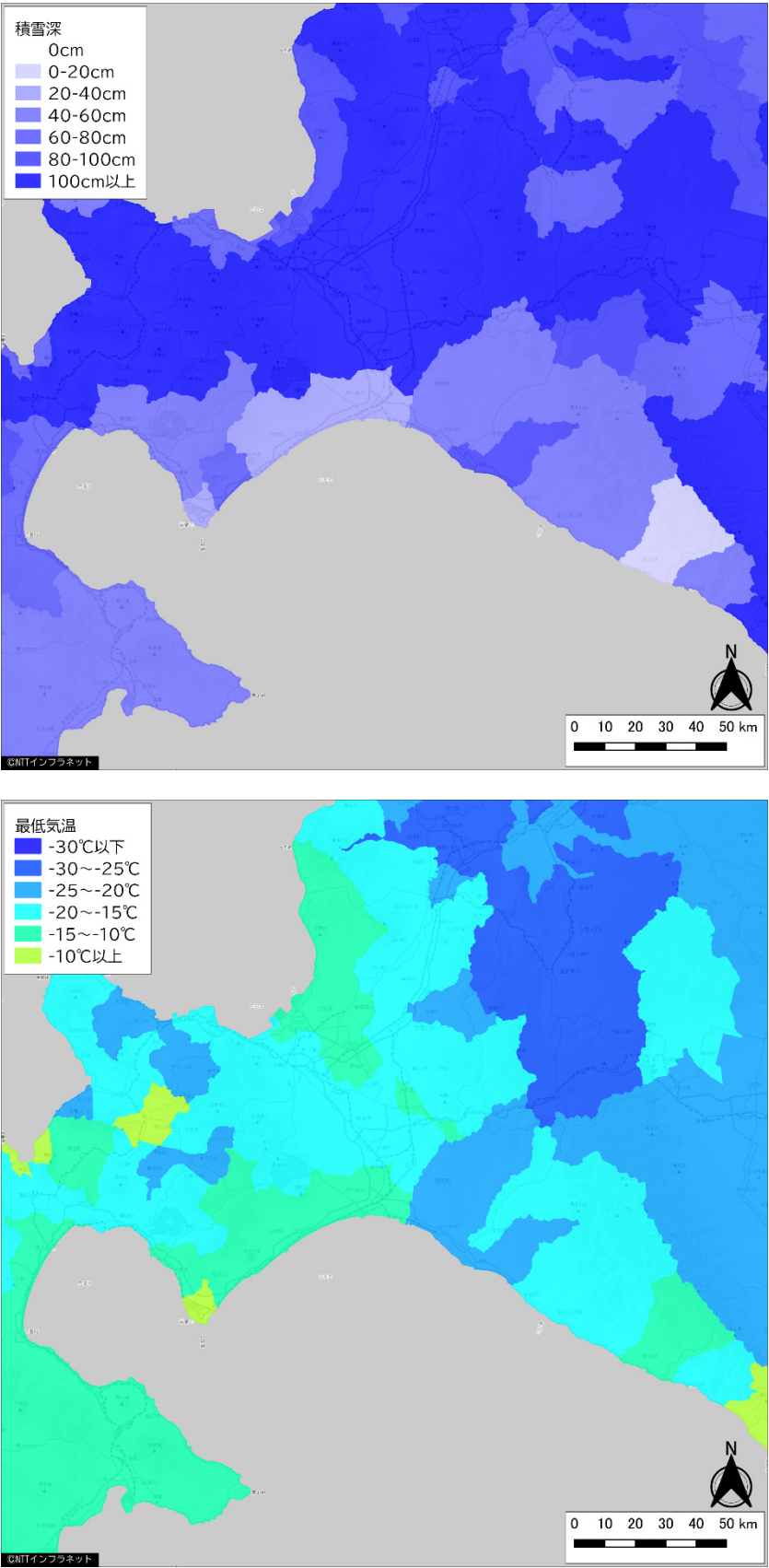


Fig. 1.7 2月の最大積雪量・最低気温分布（胆振・日高商圏）

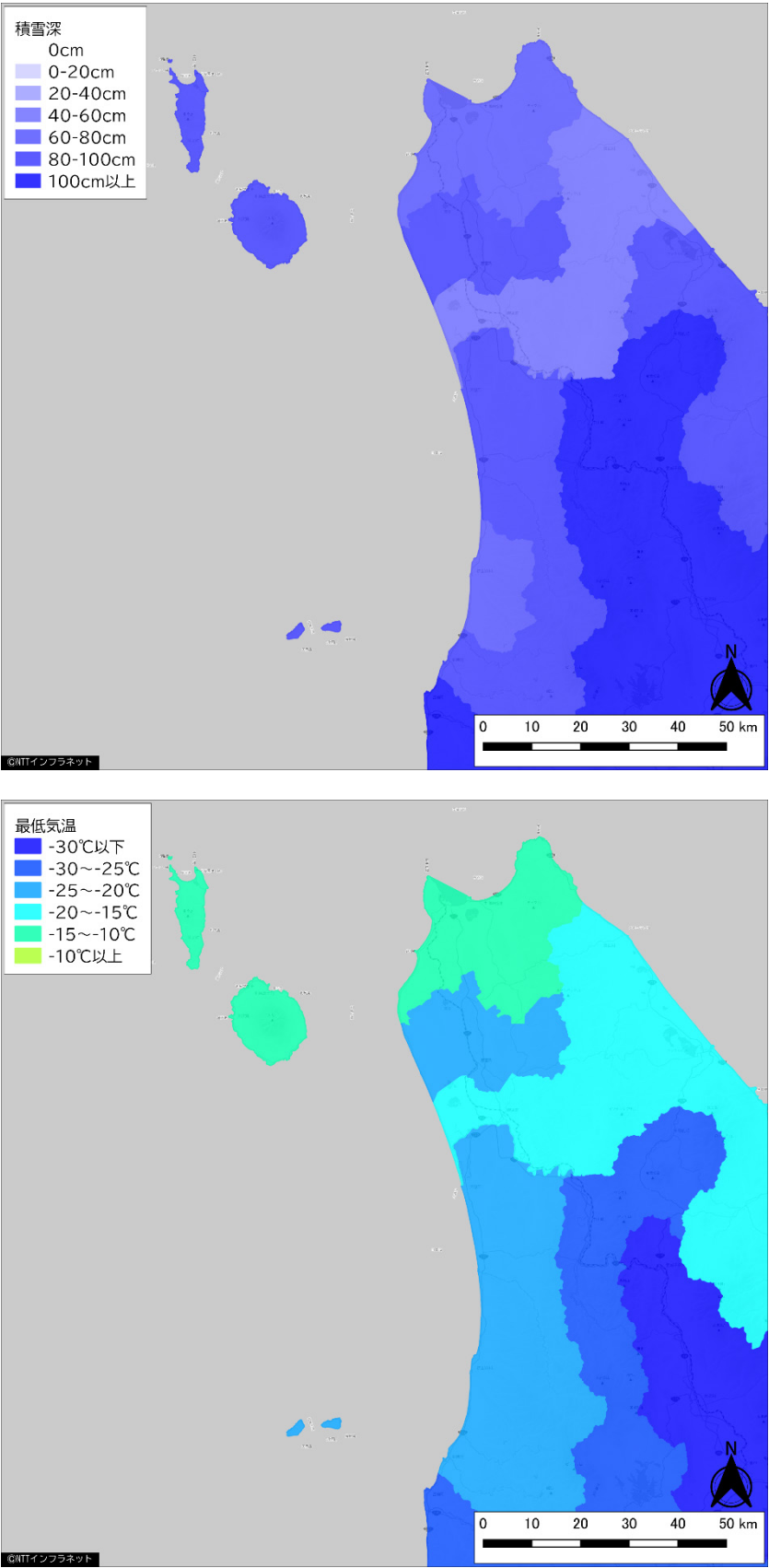


Fig. 1.8 2月の最大積雪量・最低気温分布（稚内商圏）

これら厳冬期における低体温症の危険性の把握と減災対策立案のため、令和3年、内閣府⁷⁾において積雪寒冷特有の影響を踏まえた被害想定手法が検討され、低体温症要対処者が初めて被害想定被害項目に組み込まれた。しかし、この評価手法は冬期において屋外に避難する被災者を低体温症要対処と定義し、要対処者をカウントするのみであり、この結果から策定される減災対策は、屋外避難者を減らすのみに留まる。

低体温症は屋外避難者のみに発生するわけではなく、家屋内や避難ビル、避難所内においても発生するため、自治体で作成する被害想定等では、各種リスク評価と具体的な各種対策の立案が必要である。そのため、住宅や市街地等の様々な状況（例えば周辺環境温度）や着衣の状況、負傷程度等について、被災直後から数日の状況を組み込んだ低体温症の発生リスクの評価と減災対策が必要になる。

さらに、厳冬期の災害時における偶発性低体温症・凍死については、積雪寒冷地に限った話ではない。本邦では積雪寒冷地において凍死の報告が多くみられる一方、比較的温暖な地方においても、偶発性低体温症や凍死の発生^{8,9)}が確認されている。また、東京、横浜などの大都市においては都市型低体温症^{10,11,12,13)}が問題視されている。

つまり、厳冬期における低体温症のリスク評価とそれに応じた減災対策は本邦のほぼ全土において、検討が必要な事柄であると言える。

そこで、筆者らは、低体温症の事例を用い、国際規格のISO11079¹⁴⁾において定義されている寒冷指標DLE (Duration Limited Exposure)を用いた地震・津波災害における寒冷環境曝露による低体温症リスクの推定手法を開発し、これまでに津波による屋外避難者と建物倒壊による身体的閉じ込め者における低体温症要対処者数の時間推移を評価した^{15,16)}。

ここで、本研究で扱う低体温症は、重度低体温症を低体温症要対処者として評価している。体温の低下に伴い、身体の震えや判断力の低下、意識障害、昏睡状態と徐々に症状が進行していくため、低体温症要対処者の発生までは一定程度の猶予時間が見込まれ、この猶予時間をDLEで評価した研究である。

Fig. 1.9 は、一般財団法人海技振興センター¹⁷⁾を参考に偶発性低体温症の発症体温と症状を整理したものである。

体温	32℃～35℃	28℃～32℃	28℃以下
程度	軽度低体温症	中等度低体温症	重度低体温症
症状	<ul style="list-style-type: none"> ・ 身体の震え ・ 思考力・判断力の低下 ・ 立つことが困難 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 意識障害 ・ 寝たまま動かない ・ 筋肉の硬直 ・ 呼吸・脈拍の低下 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 昏睡状態 ・ 意識消失

※蘇生の可能性あり

Fig. 1.9 偶発性低体温症の発症体温と症状

1.2. 本研究の目的

筆者らはこれまで、屋外避難者¹⁵⁾及び倒壊建物内の閉じ込め者¹⁶⁾を対象とした偶発性低体温症の評価を行った。また、倒壊建物内の閉じ込め者を対象とした際は、建物の耐震化に伴う偶発性低体温症の発生抑制効果についても検証を実施した。

本論は、本研究の取りまとめとして、北海道内の自治体について以下の評価を実施するとともに、低体温症要対処者低減施策の効果検証を実施することで、本邦の被害想定における人的被害推定に資する評価手法の提案を行うことを目的とする。

■北海道内の自治体における評価項目

- ① 建物被害に伴う身体的閉じ込め者の偶発性低体温症リスク (5.1)
- ② 建物内での空間的閉じ込めにおける偶発性低体温症リスク (5.2)
- ③ 津波避難者の津波避難ビル等屋外における偶発性低体温症リスク (5.3)

■低体温症要対処者低減施策の検証項目

- ① 施策1：耐震改修 (6.1)
- ② 施策2：住宅の断熱性能向上 (6.2)
- ③ 施策3：屋外避難場所における防寒・防風対策 (6.3)

第1章 「はじめに」の参考文献

- 1 厚生労働省: 人口動態統計調査, 2025.04.01 現在
<https://www.mhlw.go.jp/toukei/list/81-1.html>
- 2 門畑, 今村: IV-1, 東日本大震災における宮城県での死因体系化の試み, 土木学会東北支部技術研究発表会, 2019.
- 3 Furukawa H, Kudo D, et al.: Hypothermia in victims of the great East Japan earthquake: a survey in Miyagi prefecture. Disaster Med Public Health Prep., 8(5), 379-389, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.1017/dmp.2014.70>
- 4 気象庁, 過去の気象データ検索, 2024.05.06 現在
https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php?prec_no=14&block_no=47412&year=&month=&day=&view=
- 5 内閣府: 令和6年能登半島地震による被害状況等について, 2024.06.03 現在
- 6 NHK: 能登半島地震 死因は「圧死」約4割 「低体温症」や「凍死」も, 2024.06.03 現在
<https://www3.nhk.or.jp/news/html/20240131/k10014341451000.html>
- 7 内閣府 (防災担当): 日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震対策検討ワーキンググループ (第6回), 被害想定手法について (案) (積雪寒冷特有の影響を踏まえた被害想定手法)
- 8 兵庫県保健医療部: 兵庫県監察医務死因調査統計年報, 2025.04.01 現在
<https://web.pref.hyogo.lg.jp/kf15/siintoukei.html>
- 9 大阪府健康医療部: 大阪府監察医務死因調査統計年報, 2025.04.01 現在
<https://www.pref.osaka.lg.jp/o100210/kansatsui/shiintoukei/index.html>
- 10 岡田道雄, 渥美義仁, 西村文朗, 荒川正一, 高橋幸則, 高木誠, 久保明, 島井新一郎, 古守泰典, 菊池春人: Accidental hypothermia 74例の臨床像と passive rewarming 法の検討, 日本内科学会雑誌, 72巻4号, p.401-409, 1983.04.
DOI: <https://doi.org/10.2169/naika.72.401>
- 11 入来正躬, 田中正敏, 浅木恭: 日本における偶発性低体温症の現況 (第1報), 日本老年医学会雑誌, 22巻3号, p.257-263, 1985.05.
DOI: <https://doi.org/10.3143/geriatrics.22.257>
- 12 入来正躬, 田中正敏: 偶発性低体温症の現況, 日本老年医学会雑誌, 23巻6号, p.579-587, 1986.11.
DOI: <https://doi.org/10.3143/geriatrics.23.579>
- 13 入来正躬, 田中正敏: 偶発性低体温症の現況—医療機関へのアンケート調査より—, 日本老年医学会雑誌, 23巻2号, p.53-59, 1986.11.
DOI: <https://doi.org/10.11227/seikisho1966.23.53>
- 14 ISO11079: 2007 Ergonomics of the thermal environment - Determination and interpretation of cold stress when using required clothing insulation (IREQ) and local cooling effects.
- 15 Akito Iida, Tadayoshi Nakashima, Shigeyuki Okada: Development of an estimation method for accidental hypothermia risk due to cold exposure in disasters triggered by earthquakes and tsunamis, International Journal of Disaster Risk Reduction, Volume 96, 1 October 2023, 103999.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2023.103999>
- 16 飯田彬斗, 中嶋唯貴, 村山凜成: 積雪寒冷地における建物被害に起因した低体温症要対処者推定, 日本建築学会構造系論文集 90 (828), 285-291, 2025.02.
DOI: <https://doi.org/10.3130/aijs.90.285>
- 17 一般財団法人海技振興センター: 船員の低体温症対策ガイドブック, 2024.06.03 現在
https://www.maritime-forum.jp/et/pdf/h28_Guidelines_for_Controlling_Hypothermia_at_Sea.jp.pdf

2. 先行研究・既往災害研究

2.1. 歴史地震における発生時期・人的被害等及び当時の気候

2.1.1. 近年の国内における大規模地震

本邦は、その立地柄、幾度となく大規模地震に見舞われた。**Table. 2.1** は近年の大規模地震の概要を示したものである。特に、先述の東北地方太平洋沖地震、令和 6 年能登半島地震等においては、積雪寒冷地における冬期の災害であったことから、低体温症による災害関連死が発生した。

Table. 2.1 近年の国内大規模地震の概要

西暦	月	日	地震名称	M	震源	人的被害[人]			建物被害[棟]		
						死者	負傷者	低体温	全壊	半壊	一部破損
1982	3	21	浦河沖地震 ¹⁾	7.1	浦河沖	0	167		13	28	875
1983	5	26	日本海中部地震 ²⁾	7.7	秋田県沖	104	324		1,584	3,515	5,954
1984	9	14	長野県西部地震 ^{3,4)}	6.8	木曽郡王滝村	29	10		14	73	517
1993	1	15	釧路沖地震 ⁵⁾	7.8	釧路沖	2	967		53	255	5,313
1993	7	12	北海道南西沖地震 ⁶⁾	7.8	北海道南西部	201	323		601	408	5,488
1994	12	28	三陸はるか沖地震 ⁷⁾	7.6	三陸沖	3	788		72	429	多数
1995	1	17	兵庫県南部地震 ⁸⁾	7.3	淡路島北部	6,434	43,792		104,906	144,274	390,506
2000	10	6	鳥取県西部地震 ⁹⁾	7.3	鳥取県西部	0	182		431	3,068	17,296
2001	3	24	芸予地震 ¹⁰⁾	6.7	広島県湯来町	2	288		70	774	49,223
2003	9	26	十勝沖地震 ¹¹⁾	8.0	十勝沖	2	849		116	368	1,580
2004	10	23	新潟県中越地震 ¹²⁾	6.8	新潟県中越地方	68	4,795		3,175	13,810	104,510
2007	3	25	能登半島地震 ¹³⁾	6.9	能登半島沖	1	338		686	1,740	26,956
2007	7	16	新潟県中越沖地震 ¹⁴⁾	6.8	新潟県上中越沖	15	2,331		1,331	5,710	37,277
2008	6	14	岩手・宮城内陸地震 ¹⁵⁾	7.2	岩手県内陸南部	17	426		30	146	2,521
2011	3	11	東北地方太平洋沖地震 ¹⁶⁾	9.0	三陸沖	19,747	6,242		122,005	283,156	749,732
2016	4	14,16	熊本地震 ¹⁷⁾	7.3	熊本県益城町	273	2,735		8,642	34,393	155,203
2018	9	6	北海道胆振東部地震 ¹⁸⁾	5.8	勇払郡迫分町	44	785		462	1,570	12,600
2024	1	1	令和 6 年能登半島地震 ¹⁹⁾	6.5	石川県珠洲市	549	1,393	32	6,483	23,458	133,758

一方で、1993 年釧路沖地震や三陸はるか沖地震等、厳冬期に発生した既往災害においては、低体温症や凍死についての記録が確認されていない。これは、当時、低体温症をはじめとした災害における二次被害に着目されておらず、記録として残されていなかったことが要因の一つであろう。

2.1.2. 凍死者が確認された既往地震と発災当時の気候

(1) 東北地方太平洋沖地震時の被災地の気候

2011年3月11日14時46分に発生した東北地方太平洋沖地震だが、季節としては春分も近く少しずつ暖かくなってくる時期である。気象庁のデータ²⁰⁾より、3月11日午前0時～3月13日午前0時までの気温、積雪、風速を抽出し、当時の気候について情報収集・検証を行った。

Fig. 2.1は、青森県、岩手県、宮城県、福島県の太平洋沿岸部の自治体における1時間ごとの気温推移である。

11日、12日ともに、正午ごろに最高気温を記録しており、当該エリアの平均ではおよそ5～7℃前後となっており、高い地点では10℃を越える地域もある。一方で、夜間は冷え込み、18時～6時頃にかけては概ね氷点下を記録する等、3月といえども、厳しい寒さに見舞われた。

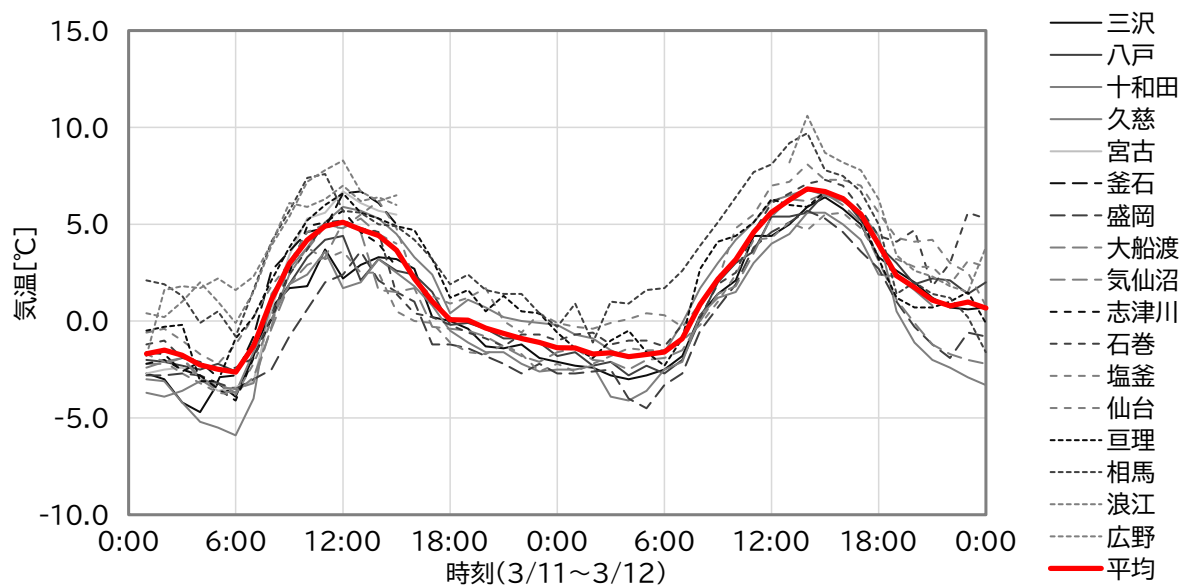


Fig. 2.1 東北地方太平洋沖地震発災当時の気温²⁰⁾

Table. 2.2 東北地方太平洋沖地震発災当時の気温²⁰⁾

日時	3/11											3/12											3/12										
	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00									
三沢	-2.7	-3.0	-4.2	-4.7	-3.2	-3.9	-1.8	0.7	1.7	1.8	3.7	2.2	2.9	3.3	3.2	2.7	0.2	0.0	-0.4	-1.3	-1.4	-1.2	-1.9	-2.1									
八戸	-2.0	-2.1	-2.3	-2.5	-2.2	-2.6	-1.1	0.5	1.9	3.3	4.2	4.4	2.1	3.2	2.6	2.4	1.5	-0.2	-0.1	-0.4	-0.9	-0.9	-1.1	-1.8									
十和田	-3.7	-3.9	-3.6	-3.1	-3.2	-3.7	-1.6	0.1	1.9	2.4	3.6	1.7	2.0	3.2	2.5	1.8	0.8	-0.5	-1.1	-1.6	-1.6	-2.2	-2.6	-2.5									
久慈	-3.0	-3.1	-4.2	-5.2	-5.5	-5.9	-4.0	1.4	2.7	3.8	5.1	5.9	5.7	5.3	4.5	3.3	2.4	0.4	1.1	0.7	0.2	0.0	-0.1	-0.2									
宮古	-2.7	-2.5	-2.4	-2.9	-3.6	-3.4	-3.1	0.6	3.4	5.3	5.6	6.7	6.1	5.7	5.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-									
釜石	-1.6	-1.7	-2.6	-2.1	-2.9	-2.8	-0.8	2.6	3.6	4.6	4.8	6.6	6.7	6.1	5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-									
盛岡	-2.8	-2.8	-2.7	-2.8	-3.2	-3.5	-3.0	-2.5	-0.8	0.6	2.0	2.4	3.6	2.1	1.5	1.0	-1.2	-1.2	-1.4	-1.8	-2.2	-2.7	-2.2	-2.7									
大船渡	-2.2	-2.2	-1.9	-2.9	-3.4	-3.5	-3.2	-0.3	3.1	3.7	4.9	4.8	5.3	4.5	4.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-									
気仙沼	-2.4	-2.1	-1.9	-3.0	-3.6	-3.7	-2.9	-0.4	1.9	2.9	3.3	5.1	4.6	1.6	1.5	1.7	-0.3	-0.4	-0.5	-0.8	-1.3	-1.8	-2.1	-1.6									
志津川	-2.2	-2.0	-2.5	-2.8	-3.5	-4.1	-1.9	0.1	2.5	4.9	5.1	5.7	4.6	4.0	2.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-									
石巻	-1.2	-1.0	-1.9	-2.1	-2.6	-2.4	-1.9	0.2	2.4	3.7	5.1	5.2	4.8	4.6	1.4	0.4	0.2	-0.2	-0.6	-0.9	-1.3	-0.7	-0.7	-1.0									
塩釜	-1.7	-2.1	-2.7	-3.2	-3.7	-3.8	-2.2	0.0	2.4	3.8	3.2	3.6	2.5	2.5	0.5	0.0	-0.1	-1.1	-1.6	-1.7	-1.2	-1.7	-2.6	-2.2									
仙台	-0.6	-0.4	-1.0	-1.7	-2.2	-1.2	0.2	1.8	3.0	4.6	5.0	4.8	5.5	6.2	4.8	2.1	1.3	0.9	1.2	1.7	0.0	-0.6	0.4	-0.1									
亶理	-0.5	-0.3	-0.2	-3.1	-3.1	-0.9	0.2	2.1	3.8	5.2	6.0	6.6	5.6	5.3	4.9	4.7	3.2	1.2	1.6	0.5	1.3	0.5	0.4	-0.6									
相馬	2.1	1.9	1.3	-0.1	0.5	-0.8	1.6	4.1	5.7	7.4	7.6	5.7	5.6	5.0	4.9	4.2	3.2	1.9	2.4	1.6	1.4	1.4	0.4	-0.3									
浪江	0.4	0.2	1.0	2.0	1.0	-0.1	1.5	3.9	5.4	7.2	7.8	8.3	6.7	6.2	6.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-									
広野	-1.8	1.6	1.8	1.7	2.2	1.6	2.3	4.0	6.1	5.9	6.3	7.0	6.2	6.4	6.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-									
平均	-1.7	-1.5	-1.8	-2.3	-2.5	-2.6	-1.3	1.1	3.0	4.2	4.9	5.1	4.7	4.4	3.7	2.2	1.0	0.1	0.1	-0.4	-0.6	-0.9	-1.1	-1.4									
日時	3/12											3/13											3/13										
1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00										
三沢	-2.3	-2.4	-2.8	-3.0	-2.8	-2.5	-1.8	0.3	1.4	2.1	4.4	4.4	5.0	5.9	6.4	5.8	5.0	3.3	2.6	2.0	1.2	0.7	0.6	0.7									
八戸	-1.6	-2.3	-2.1	-2.8	-2.3	-2.7	-2.0	0.1	2.0	3.0	3.6	5.4	5.4	5.6	6.6	6.4	5.2	3.9	3.0	1.9	2.2	2.1	1.4	2.0									
十和田	-2.5	-2.3	-3.9	-4.1	-3.6	-2.5	-2.1	0.3	1.2	1.5	3.0	4.0	4.5	5.6	5.6	5.0	4.2	2.4	2.3	1.6	0.8	-	-	-									
久慈	-0.7	-0.9	-1.5	-1.9	-1.6	-1.6	-0.1	1.7	3.0	4.2	5.1	6.2	6.5	6.8	6.5	6.2	5.6	4.4	0.5	-1.1	-2.0	-2.4	-2.9	-3.3									
宮古	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-									
釜石	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-									
盛岡	-2.7	-2.6	-2.5	-4.0	-4.5	-3.3	-2.7	-0.5	0.7	1.9	3.8	4.6	5.1	5.7	5.3	4.6	3.6	2.7	1.0	-0.3	-1.2	-1.9	-0.6	-0.8									
大船渡	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-									
気仙沼	-1.4	-2.0	-2.1	-2.5	-2.0	-1.9	-1.5	0.0	1.4	1.8	3.5	5.4	6.3	6.2	6.6	6.0	5.1	3.1	1.1	-0.1	-1.2	-1.7	-2.0	-2.2									
志津川	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-									
石巻	-0.7	-0.6	-1.2	-1.0	-1.0	-1.3	-0.2	0.2	1.9	2.5	4.6	6.1	6.6	7.1	7.3	7.0	5.8	4.4	4.1	4.7	1.8	3.0	5.6	5.3									
塩釜	-2.6	-2.2	-1.8	-1.4	-1.5	-1.5	-1.0	-0.2	1.0	2.4	4.2	4.3	5.1	4.7	5.5	5.6	4.8	3.4	3.2	2.8	2.8	1.9	3.1	2.8									
仙台	-0.3	-0.4	-0.1	0.1	0.4	0.3	-0.3	0.9	2.1	4.8	5.5	7.0	7.2	8.1	7.3	7.3	7.0	5.6	4.3	4.1	4.2	3.0	2.5	0.8									
亶理	-1.4	-1.9	-1.0	-0.5	-1.6	-2.3	-0.9	2.7	4.1	4.4	5.1	6.3	6.0	5.9	6.7	6.3	5.4	3.2	1.2	0.7	0.7	1.0	1.5	-0.1									
相馬	0.9	-1.1	1.0	0.9	1.6	1.7	2.6	3.9	5.1	6.4	7.7	8.1	9.2	9.7	7.8	7.5	6.7	5.0	1.4	2.0	1.4	1.2	0.2	-1.6									
浪江	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-									
広野	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-									
平均	-1.4	-1.7	-1.6	-1.8	-1.7	-1.6	-0.9	0.9	2.2	3.2	4.6	5.6	6.3	6.8	6.7	6.3	5.5	4.0	2.3	1.1	1.1	0.8	1.0	0.7									

Fig. 2.2 は、同自治体における 1 時間ごとの積雪量の推移である。

調査対象としたエリアは太平洋沿岸部が中心であることもあり、積雪量は比較的少ない。また、3 月という雪解け期であることもあり、平均でおよそ 1~2cm であった。積雪荷重による建物倒壊に係る影響はあまり大きくなかったことが推察される。

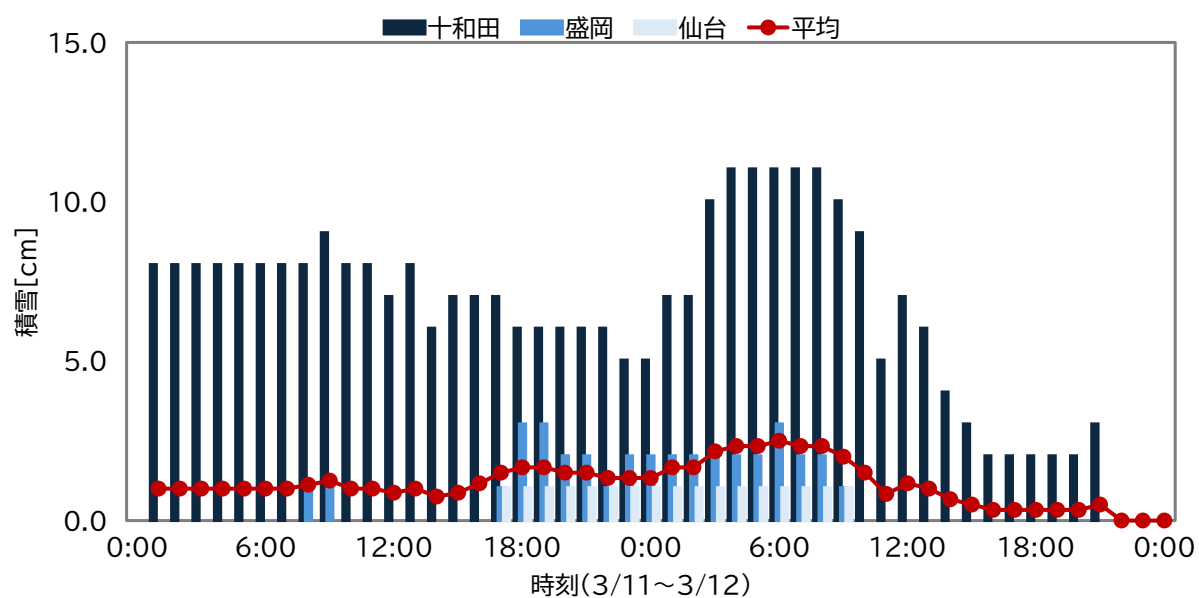


Fig. 2.2 東北地方太平洋沖地震発災当時の積雪²⁰⁾

Table. 2.3 東北地方太平洋沖地震発災当時の積雪²⁰⁾

日時	3/11																	3/12							
	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00	
三沢	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
八戸	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
十和田	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	9.0	8.0	8.0	7.0	8.0	6.0	7.0	7.0	7.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	5.0	5.0
久慈	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
宮古	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
釜石	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
盛岡	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	3.0	3.0	2.0	2.0	1.0	2.0	2.0
大船渡	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
気仙沼	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
志津川	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
石巻	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
塩釜	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
仙台	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
亘理	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
相馬	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
浪江	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
広野	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
平均	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.3	1.0	1.0	0.9	1.0	0.8	0.9	1.2	1.5	1.7	1.7	1.5	1.5	1.3	1.3	1.3	1.3
日時	3/12																	3/13							
1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00	0:00	
三沢	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
八戸	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
十和田	7.0	7.0	10.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	10.0	9.0	5.0	7.0	6.0	4.0	3.0	2.0	2.0	2.0	2.0	3.0	-	-	-	-	
久慈	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
宮古	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
釜石	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
盛岡	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	3.0	2.0	2.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
大船渡	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
気仙沼	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
志津川	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
石巻	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
塩釜	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
仙台	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
亘理	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
相馬	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
浪江	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
広野	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
平均	1.7	1.7	2.2	2.3	2.3	2.5	2.3	2.3	2.0	1.5	0.8	1.2	1.0	0.7	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	

Fig. 2.3 は、同自治体における 1 時間ごとの風速の推移である。

発災当日、翌日ともに比較的穏やかな風であり、全体平均で 2～4m/s 程度の風速であった。一部八戸市等では風速が 10m/s を超える強風が吹く時間があり、こういった強風が続くと、体感温度が低く感じられるだけでなく、第 4 章に後述するとおり、低体温症の発症リスクが高まることとなる。

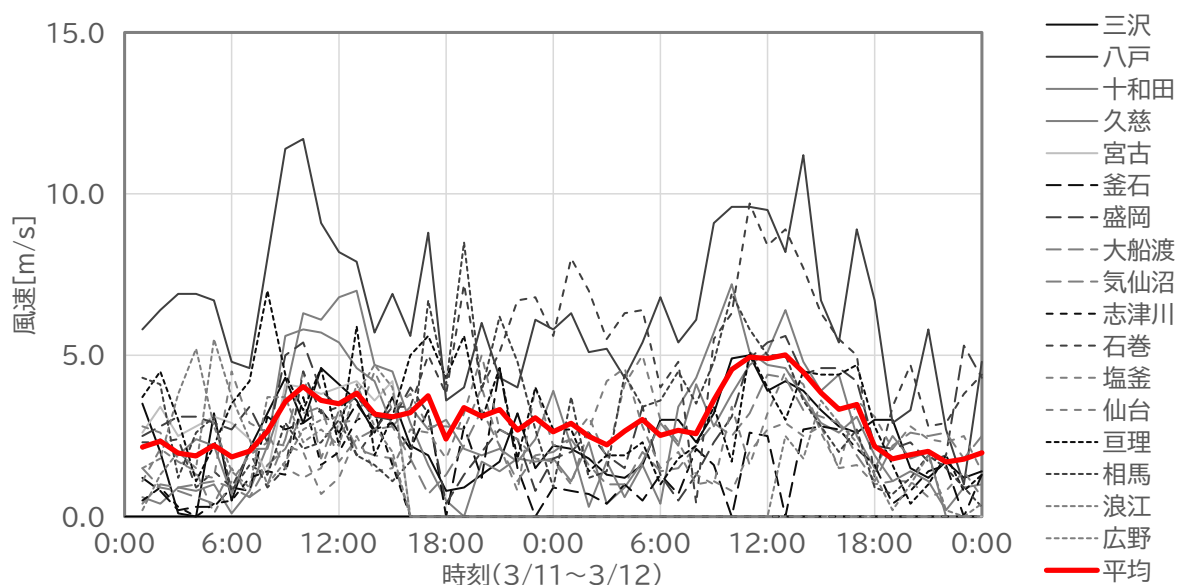


Fig. 2.3 東北地方太平洋沖地震発災当時の風速²⁰⁾

Table. 2.4 東北地方太平洋沖地震発災当時の風速²⁰⁾

日時	3/11																								3/12
	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00	
三沢	3.5	2	0.1	0	3.2	0.5	2.1	3.2	4.3	2.9	4.6	4.1	3.6	2.6	3.7	2.2	1.9	0.8	0.9	1.3	1.7	3.2	1.5	2.2	
八戸	5.8	6.4	6.9	6.9	6.7	4.8	4.6	8	11.4	11.7	9.1	8.2	7.9	5.7	6.9	5.6	8.8	3.6	4	6	4.3	4	6.1	5.8	
十和田	2.1	2.4	1.9	2.4	2.2	0.7	2.1	2.1	3.8	6.3	6.1	6.8	7	4.7	4.5	2.9	1.6	0.5	0	1.7	1.4	1.8	1.7	1.8	
久慈	0.6	0.4	0.9	0.8	1	0.1	0.8	2.2	5.6	5.8	5.7	5.4	4.6	4.2	2.8	3.4	2.7	3	2.1	1.9	2.1	1.7	2.4	3.9	
宮古	2.6	3.4	2.5	2.8	3.1	2.9	2.4	1.3	4.1	4	3.8	4	4.2	3.6	4.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
釜石	1.2	0.8	0.2	0.3	0.3	0.9	0.8	3.1	2.7	2.9	3.3	2.6	3.5	2.7	2.9	2.1	3.3	-	2.8	1.2	4.6	1.5	-	0.9	
盛岡	2.5	2.8	3.1	3.1	2.9	2.7	3.4	2.3	5	5.4	3.9	3.4	3.7	3.1	3	4	3.2	0.4	1.3	2	2.7	2.4	0.8	1.8	
大船渡	1.5	0.9	0.8	0.6	0.4	1.5	0.6	1	2.4	4.5	1.8	3.3	2.1	1.9	1.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
気仙沼	0.4	1	0.9	1	1.1	0.9	0.6	1.6	2.1	3.2	3.4	1.7	2.4	2.7	2.8	1.8	0.7	1.3	2.2	3.3	2.2	1.1	1.9	2	
志津川	0.5	0.9	0.3	0	0.4	0.5	1.2	1.4	1.3	3.7	1.6	2	3	3.2	1.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
石巻	2.3	2.3	2.4	0.9	1.4	0.9	2	0.9	1.5	4.5	3.2	3.4	1.9	2.7	3.4	3.4	5	3.8	7.2	4	5.1	6.7	6.8	5.6	
塩釜	1.1	2.1	1.7	1.4	0.1	1.1	1.9	2.3	2.2	2	0.7	1.2	2.5	1.4	1.5	2.7	2.6	1.8	3.2	5	2.7	2.4	1.8	1.7	
仙台	2.8	2.6	1.8	1.3	1.2	4.5	2.9	2.6	1.5	1.2	1.5	2.9	3	4.5	3.3	3.8	2.8	2.8	2.7	4	2.2	0.8	4	2.2	
亘理	3.7	4.5	3	1.1	2.2	3.5	4.2	7	4.4	3.3	4.6	2.2	5.9	1.9	3.1	5	5.6	4.3	5.6	3	4.6	1.8	4	2.7	
相馬	4.3	4.1	1.2	2.6	3.1	0.8	1.6	1.3	2.9	2.1	2.3	3	1.9	1.6	1.1	1.7	6.7	4.1	8.5	3.9	6.2	4.8	2.7	0.9	
浪江	1.5	1.8	3.8	5.2	2.8	1.4	0.9	3.7	3.7	2.3	2.7	2.2	4.1	2.8	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
広野	0.2	1.3	2	1.5	5.5	3.7	2.4	1	1.7	2.7	3	3.1	3.8	4.7	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
平均	2.2	2.3	2.0	1.9	2.2	1.8	2.0	2.6	3.6	4.0	3.6	3.5	3.8	3.2	3.1	3.2	3.7	2.4	3.4	3.1	3.3	2.7	3.1	2.6	
日時	3/12																								3/13
	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00	
三沢	2.1	1.8	1.3	1.2	1.6	3	3	2.3	3.2	4.9	5	3.9	4.2	3.9	3.3	2.8	2.6	3	3	1.5	1.2	1.7	1.2	1.4	
八戸	6.3	5.1	5.2	4.3	5.4	6.8	5.4	6.1	9.1	9.6	9.6	9.5	8.2	11.2	6.7	5.4	8.9	6.7	2.9	3.3	5.8	2.7	1	4.8	
十和田	1.1	2.3	0.4	0.9	1.7	2.9	2.2	4.1	2.8	3.8	4.7	5.1	6.4	4.8	3.9	4.4	2.5	1.5	2.5	1.8	2	-	-	-	
久慈	2.2	0.3	1.7	0.6	1.6	0.4	3.4	4.3	5.7	7.2	5.1	4.7	4.6	3.7	2.9	2.6	3.1	1.9	1.1	1.4	1.1	0.2	0.9	1	
宮古	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
釜石	0.8	0.7	0.4	1	0.5	1.3	0.7	2.1	1.6	-	2.6	2.5	-	2.7	2.8	2.7	2.1	1.6	0.4	0.8	1.4	1.6	-	1.3	
盛岡	2	2.6	1.9	1.5	3.4	1.3	0.5	1.3	2.3	3.1	4.9	5.4	5.6	4.4	4.6	4.6	4.2	2.2	2.1	2.3	1.7	1.9	5.3	4.3	
大船渡	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
気仙沼	2.4	1.6	1	1	2	1.4	1.5	2.2	2.9	2.5	3.2	4.4	4.3	3.3	3.1	2.9	1.9	1.1	2.2	2.6	2.5	2.6	1.8	2.5	
志津川	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
石巻	8	7	5.5	6.3	6.4	4	4.8	0.4	5.5	6.3	9.7	8.4	8.9	7.7	6.3	5.5	5	1.2	3.4	4.7	2.8	2.9	3.8	4.4	
塩釜	1	2.7	4.2	4.6	2.8	1.5	2	1	1.1	0.8	2	2.7	2.9	2.5	2.8	1.5	1.6	1	1.1	1.1	0.6	0.8	1.4	0.6	
仙台	2.4	3.1	1.8	4.1	5	3	2.3	1.3	1	3.4	1.6	3.2	4.5	4.1	2.6	1.5	3.6	3.1	2.1	2.8	2.4	2.3	2.5	1.4	
亘理	2.7	1.4	1.9	1.9	2.3	1	1.8	2.2	3.4	1.7	5.1	4	3	4.5	4.4	4.4	4.7	2.8	1.6	0.4	1	1.9	0.8	1.3	
相馬	3.7	1.2	1.4	4.4	3.4	3.6	4.5	3.5	4.8	6.9	5.8	5	5	3.6	2.8	2	2.7	0.9	0.7	1.2	1.9	1.5	0.9	0.3	
浪江	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
広野	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.5	1.8	3.6	2.9	2.3	1.3	0.2	1	1.9	0.2	0	0.4
平均	2.9	2.5	2.2	2.7	3.0	2.5	2.7	2.6	3.6	4.6	4.9	4.9	5.0	4.5	3.8	3.3	3.5	2.2	1.8	1.9	2.0	1.7	1.8	2.0	

以上のような気象条件が影響し、東北地方太平洋沖地震においては、3月という時期ながら、地域特性上まだまだ寒冷的な環境であった。

また、大規模災害故に、救助や支援に大幅に時間を要したことにより、気温が急激に低下する夜間帯にかけても救助されずに外気に曝された被災者や、十分に暖の取れない劣悪な避難環境での避難を余儀なくされた被災者が多数発生した。

そのような背景が、第1章でも記したとおり、宮城県内で23名の凍死者²¹⁾、91名の低体温症患者²²⁾についての調査結果が報告される一因となったものと推察される。

(2) 令和6年能登半島地震時の被災地の気候

次に、令和6年1月1日16時10分に発生した令和6年能登半島地震についても同様に気象条件を確認する。同じく気象庁のデータ²⁰⁾より、1月1日午前0時～1月3日午前0時までの気温、積雪、風速を抽出し、当時の気候について情報収集・検証を行った。

Fig. 2.4 は、石川県内の自治体における1時間ごとの気温推移である。

発災当日は1月にしては比較的温暖な気候であり、日中は10℃前後まで気温が上昇し、最低気温についても夜間に0℃前後と緩やかな冷え込みであった。

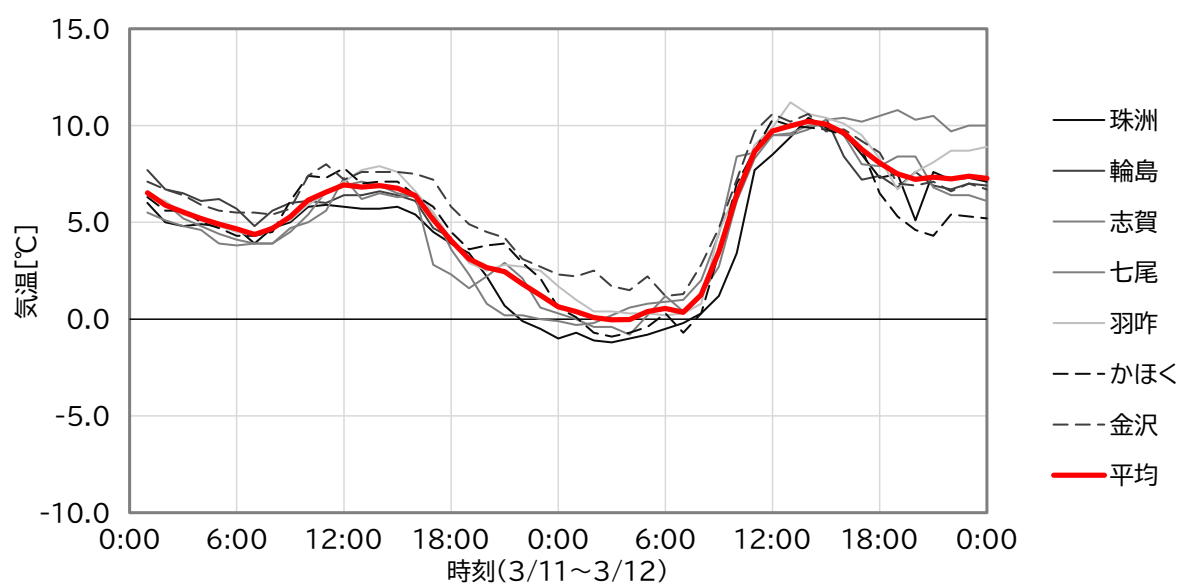


Fig. 2.4 令和6年能登半島地震発災当時の気温²⁰⁾

Table. 2.5 令和6年能登半島地震発災当時の気温²⁰⁾

日時	3/11																							3/12	
	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00	
珠洲	6.0	5.0	4.8	4.9	4.8	4.7	3.9	4.7	5.0	5.8	5.9	5.8	5.7	5.7	5.8	5.4	4.5	3.9	3.4	2.2	0.7	-0.1	-0.5	-1.0	
輪島	7.7	6.7	6.5	6.1	6.2	5.7	4.8	5.6	6.0	6.1	6.0	6.4	6.4	6.6	6.4	6.1	4.7	4.2	-	-	-	-	-	-	
志賀	6.6	6.0	5.2	4.8	4.4	4.1	3.9	3.9	4.5	5.4	6.6	6.9	7.1	6.9	6.5	6.3	5.5	3.6	2.3	0.8	0.2	0.2	0.0	-0.1	
七尾	5.5	5.1	4.8	4.6	3.9	3.8	3.9	3.9	4.7	5.0	5.6	7.3	6.2	6.5	6.3	6.4	2.8	2.3	1.6	2.2	2.9	2.1	0.6	0.3	
羽咋	6.4	6.1	5.4	5.1	4.8	4.5	4.3	4.8	5.1	5.9	6.5	7.1	7.7	7.9	7.6	6.6	5.5	4.1	2.9	2.5	2.8	2.7	2.5	1.7	
かほく	6.3	5.6	5.6	5.0	4.7	4.3	4.3	4.5	6.1	7.4	7.3	7.8	7.0	7.1	7.1	6.4	5.8	4.5	3.6	3.8	3.9	2.9	2.1	0.6	
金沢	7.1	6.7	6.4	5.9	5.6	5.5	5.5	5.4	5.7	7.4	8.0	7.2	7.6	7.6	7.6	7.5	7.2	5.8	4.9	4.5	4.2	3.1	2.7	2.3	
平均	6.5	5.9	5.5	5.2	4.9	4.7	4.4	4.7	5.3	6.1	6.6	6.9	6.8	6.9	6.8	6.4	5.1	4.1	3.1	2.7	2.5	1.8	1.2	0.6	
日時	3/12																							3/13	
1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00		
珠洲	-0.7	-1.1	-1.2	-1.0	-0.8	-0.5	-0.2	0.3	1.2	3.4	7.7	8.5	9.4	10.4	9.9	9.6	8.5	7.3	7.5	5.1	7.6	7.2	7.3	7.1	
輪島	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10.4	8.4	7.2	7.4	6.8	7.6	6.9	6.7	7.0	6.9	
志賀	-0.3	-0.2	0.2	0.6	0.8	0.9	1.0	2.0	4.4	8.4	8.6	9.5	9.5	9.8	10.3	10.4	10.2	10.5	10.8	10.3	10.5	9.7	10.0	10.0	
七尾	0.0	-0.4	-0.4	-0.8	0.2	1.2	0.4	1.3	2.7	6.1	8.3	9.5	9.6	10.0	10.0	9.5	8.0	7.9	8.4	8.4	6.8	6.4	6.4	6.1	
羽咋	1.0	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.3	0.8	4.5	6.6	9.0	9.9	11.2	10.6	10.4	10.1	9.5	8.3	6.7	7.6	8.1	8.7	8.7	8.9	
かほく	0.1	-0.7	-0.9	-0.7	-0.4	0.3	-0.7	0.3	3.4	7.0	8.7	10.3	10.0	9.9	9.8	9.5	8.8	6.5	5.3	4.6	4.3	5.4	5.3	5.2	
金沢	2.2	2.5	1.7	1.5	2.2	1.2	1.3	2.8	4.7	7.2	9.7	10.6	10.2	10.6	9.7	9.8	9.2	8.6	7.0	6.9	7.1	6.6	7.0	6.7	
平均	0.4	0.1	0.0	0.0	0.4	0.6	0.4	1.3	3.5	6.5	8.7	9.7	10.0	10.2	10.1	9.6	8.8	8.1	7.5	7.2	7.3	7.2	7.4	7.3	

Fig. 2.5 は、七尾市における 1 時間ごとの気温推移である。1 月として比較的温暖であったこともあり、積雪量も少なく、建物倒壊に影響を与えるような積雪は軽微であったと想定される。なお、七尾市以外の県内自治体については、気象庁のデータでは積雪は確認されなかった。

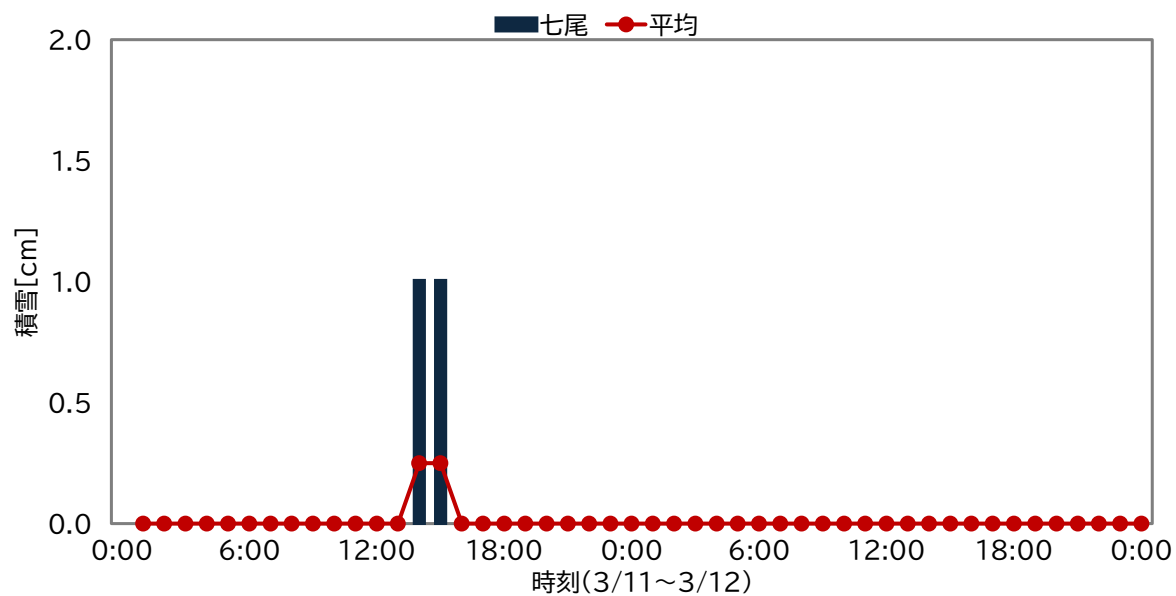


Fig. 2.5 令和6年能登半島地震発災当時の積雪²⁰⁾

Table. 2.6 令和6年能登半島地震発災当時の積雪²⁰⁾

日時	3/11																							3/12
	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00
珠洲	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
輪島	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	-
志賀	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
七尾	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	-	-	-	-	-	-	-
羽咋	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
かほく	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
金沢	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
平均	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
日時	3/12																3/13							
珠洲	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
輪島	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
志賀	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
七尾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
羽咋	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
かほく	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
金沢	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
平均	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Fig. 2.6 は、県内自治体における 1 時間ごとの気温推移である。

1 日未明には比較的強風の地域があったものの、徐々に風は弱まり、発災時には風速 2～3m/s 程度となった。

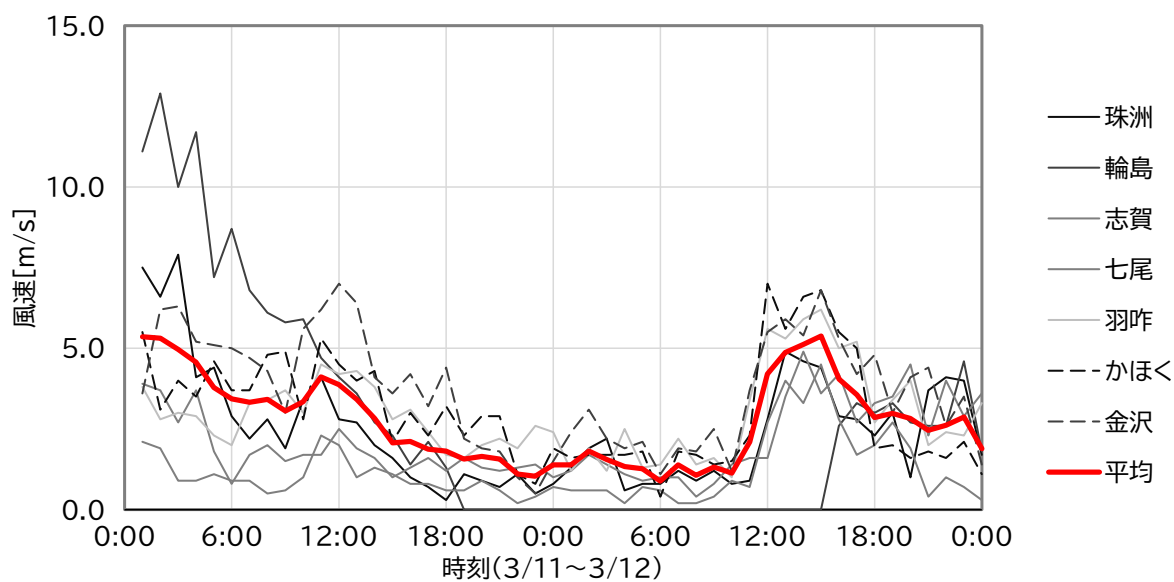


Fig. 2.6 令和6年能登半島地震発災当時の風速²⁰⁾

Table. 2.7 令和6年能登半島地震発災当時の風速²⁰⁾

日時	3/11																							3/12
	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00
珠洲	7.5	6.6	7.9	4.1	4.4	2.9	2.2	2.8	1.9	3.4	4.1	2.8	2.7	2.0	1.6	1.0	0.7	0.3	1.1	0.9	0.7	1.1	0.5	0.8
輪島	11.1	12.9	10.0	11.7	7.2	8.7	6.8	6.1	5.8	5.9	4.7	4.1	3.6	2.7	2.3	1.4	2.1	1.3	-	-	-	-	-	-
志賀	3.9	3.7	2.7	3.7	1.8	0.8	1.7	2.0	1.5	1.7	1.7	2.5	1.9	1.6	1.0	1.3	1.6	1.2	1.6	1.3	1.2	1.3	1.4	1.0
七尾	2.1	1.9	0.9	0.9	1.1	0.9	0.9	0.5	0.6	1.0	2.3	2.0	1.0	1.3	1.1	0.8	0.8	0.6	0.6	0.9	0.6	0.2	0.4	0.7
羽咋	3.8	2.8	3.0	2.9	2.3	2.0	3.3	3.4	3.7	3.0	4.5	4.2	4.3	3.8	2.8	3.1	2.4	1.7	1.6	2.0	2.2	1.9	2.6	2.4
かほく	5.5	3.1	4.0	3.5	4.6	3.7	3.7	4.8	4.9	2.8	5.3	4.5	4.0	4.3	2.1	3.0	2.3	3.2	2.3	2.9	2.9	1.1	0.8	1.9
金沢	3.6	6.2	6.3	5.2	5.1	5.0	4.7	4.3	3.0	5.6	6.2	7.0	6.4	4.1	3.6	4.2	3.2	4.4	2.2	1.9	1.8	1.0	0.5	1.5
平均	5.4	5.3	5.0	4.6	3.8	3.4	3.3	3.4	3.1	3.3	4.1	3.9	3.4	2.8	2.1	2.1	1.9	1.8	1.6	1.7	1.6	1.1	1.0	1.4
日時	3/12																							3/13
	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00
珠洲	1.3	1.9	2.2	0.6	0.8	0.8	1.2	0.9	1.2	0.8	0.9	2.8	4.9	4.6	4.4	2.9	2.8	2.3	3.0	1.0	3.7	4.1	4.0	1.7
輪島	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.6	3.3	3.0	3.3	2.7	2.6	2.6	4.6	1.8
志賀	1.2	1.7	1.4	1.1	0.9	1.0	1.0	0.4	0.8	1.4	1.6	1.6	3.5	4.9	3.6	4.2	2.7	3.3	3.5	4.5	2.3	4.0	2.9	3.6
七尾	0.6	0.6	0.6	0.2	0.7	0.6	0.2	0.2	0.4	0.9	0.7	2.7	4.0	3.3	4.5	2.8	1.7	2.0	2.7	1.9	0.4	1.0	0.7	0.3
羽咋	1.2	1.9	1.2	2.5	1.3	1.4	2.2	1.4	1.6	1.0	3.4	5.6	5.3	5.9	6.2	5.0	5.2	2.7	3.4	4.0	2.0	2.4	2.3	3.3
かほく	1.6	1.7	1.7	1.7	1.8	0.4	1.8	1.7	1.4	1.5	2.3	7.0	5.6	6.6	6.8	5.5	5.0	1.9	2.0	1.6	1.8	1.6	2.1	1.1
金沢	2.4	3.1	2.2	1.9	2.1	1.1	1.9	1.8	2.5	1.2	3.7	5.5	5.9	5.4	6.8	5.3	4.2	4.8	3.0	4.1	4.4	2.6	3.5	1.4
平均	1.4	1.8	1.6	1.3	1.3	0.9	1.4	1.1	1.3	1.1	2.1	4.2	4.9	5.1	5.4	4.0	3.6	2.9	3.0	2.8	2.5	2.6	2.9	1.9

以上のように発災当日、翌日の気象状況だけを見ると、必ずしも厳しい寒さであったというわけではないが、一方で輪島市や珠洲市で15名の低体温症・凍死者が発生している。

これは発災当日や翌日だけでなく長期的に見たときに、停電の延長によって暖房設備が使用できない状況、断熱性の低い避難所や避難所外での避難生活、被災者の服装等が大きく影響していると考えられる。

こういった背景を鑑みても、本研究のように温熱環境や服装等の諸条件を考慮した定量評価の必要性が示唆されるだろう。

2.2. 地震以外の自然災害における発生時期・人的被害等及び当時の気候

1934年3月21日午後6時53分頃に発生した函館大火では、凍死者が217人発生した。当時の気象状況として残っているのは、瞬間最大風速39m/sであったということだけであり、気温についての記録は残っていない。ただし、**Photo. 2.2**からも分かるとおり、火災延焼のあった街中においても道端に残雪がある等、かなり厳しい寒さであったことがうかがえる。

Table. 2.8 は函館市²³⁾によって公表されている函館大火の概要である。

Table. 2.8 函館大火の概要²³⁾

災害概要	発火場所	住吉町 91 番地		
	発火日時	1934 年 3 月 21 日 午後 6 時 53 分頃		
	鎮火日時	1934 年 3 月 22 日 午前 6 時頃		
	発火原因	旋風の為火元木造 2 階建の屋根飛び炉火より発火		
	発火時の風力	瞬間最高南南西 39m/s (推定)		
	焼失町	全焼町 22、半焼町 18	焼失面積	416.39ha
	焼失建物棟	11,105 棟	焼失世帯数	22,667 世帯
死傷者	死者	2,166 人	重傷者	2,318 人
	軽傷者	7,167 人	罹災人口	約 102,001 人
大火による 死亡調べ	焼死	748 人	窒息死	143 人
	溺死	917 人	その他	29 人
	凍死	217 人	その他収容後死亡	112 人
	合計	2,166 人		



Photo. 2.1 燃えた後の建物



Photo. 2.2 街を歩く市民

このように、地震災害以外の自然災害においても被災者が寒冷環境に長期間曝されることは十分に考えられる。地震被害同様に、本研究のように温熱環境や服装等の諸条件を考慮した定量評価を行うことで、各種災害においても減災施策に落とし込むことが出来るのではないかと考えられる。

2.3. 災害以外での凍死・低体温症

(1) 凍死・低体温症の事例収集

災害関連死、特に低体温症による凍死に注目が集まり始めたのは、東北地方太平洋沖地震以降であり、内閣府の日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震対策検討ワーキンググループ²⁴⁾において、寒冷期の災害における課題検討がなされ、低体温症の人的被害想定フローが作成された。したがって、当該地震以前の歴史地震において、低体温症による凍死者数を検証されているデータはほとんどない。

そこで、地震災害に限らず、ここ数年の低体温症による凍死者のデータを収集した。

Table. 2.9 凍死・低体温症の事例（事故、災害等のニュース）

年月日	地域	最低気温 ²⁰⁾	天気 ²⁰⁾	状況
2013. 02.09	新潟県 妙高市	-3.0	雪・晴	土手から誤って（車で）川に転落し、車からはかるうじて脱出したものの、川の両側がコンクリート製で急勾配だったため、這い上られずに凍死したとみている ²⁵⁾ (36歳男性)
2013. 03.02	北海道 中標津町	-5.5	暴風雪	発達した低気圧の影響で暴風雪となった際、車が立ち往生し、「雪に埋もれた車から降りて遭難した」等により凍死したとみられる ²⁶⁾ (53歳男性、9歳女性、23歳女性、76歳男性等)
2019. 12.23	埼玉県 新座市	0.7	-	21日午前11時ごろ、「スーパーに行く」と言って歩いて出掛けたまま行方が分からなくなり、23日午前10時半ごろ、民家の庭であおむけに倒れていた ²⁷⁾ (81歳女性)
2024. 01.18	石川県 加賀市	-0.6	-	午後9時20分ごろから午後11時10分ごろまでの間に事故が発生した（中略）死因について司法解剖の結果今月16日の午前0時頃に低体温で凍死したと判断 ²⁸⁾ (87歳男性)
2024. 12.31	長野県 北アルプス 爺ヶ岳	-5.4	-	北アルプス爺ヶ岳（2670メートル）で大学生3人組の1人から「同行者の女性に低体温症の症状が見られる」と通報 ²⁹⁾ (大学生3人組)
2025. 05.21	兵庫県 神戸市	21.5	曇・雨	民家で女性の遺体が発見される。目立った外傷はなく、今年2月ごろに低体温症で亡くなった可能性が高い ³⁰⁾ (72歳女性)
2025. 02.15	新潟県 南魚沼市	-0.9	-	六日町八海山スキー場付近で2月6日に死亡した状態で発見された。死因は低体温症 ³¹⁾ (35歳外国籍男性)

Table. 2.10 凍死・低体温症の事例（労働災害事例）³²⁾

年月日	地域	気温	天気	状況
-	記載なし	不明	不明	積雪のため林道で車が立ち往生したとの救援要請により、被災者は同僚2名とともに車両で救援に向かった。（中略）、被災者は体力の低下により自力歩行が困難となった。もう一人の同僚を呼ぶため、同行していた同僚は被災者をその場で待機させた。その後、被災者は低体温症で死亡した。

Table. 2.11 凍死・低体温症の事例（病院医誌、医会誌等）^{33, 34)}

年齢 性別	最低 気温	天気	直腸温	状況	来院後経過
69 歳 男性	-0.7℃	くもり	27.4℃	飲酒後窓を開け放したまま寝ていたという。朝になり冷たく固まっていたところを家人が発見し救急通報	加温輸液と電気毛布、加温水の吸入を施行したところ、0.8℃/h で復温可能であった。復温とともに意識状態も改善した。また、経過中に不整脈の出現も見られなかった。翌日には正常体温に復帰した。
82 歳 男性	10.2℃	くもり	27.7℃	胃癌にて近医入院中に夜間行方不明となり、隣アパートの敷地内で倒れているところを発見された。オムツ1枚の状態だったという。	電気毛布・加温輸液・気管挿管による人工呼吸管理 (SIMV) にて復温した結果、1.4℃/h で復温された。
53 歳 男性	9.7℃	晴れ	34.7℃	インターネットで購入した内容不明の薬剤を服用し母親の墓前で凍死しようとしたという。寒くなり自ら友人に救助を求めるメールをした。友人から救急要請される。	軽症偶発性低体温症と薬物中毒症と自殺企図からは入院が妥当と判断した。電気毛布と加温輸液 500ml (以後通常維持輸液) で管理したところ、0.2℃/h で復温された。
50 歳 男性	7.6℃	-	28.3℃	自宅居間で倒れており救急搬送された (独居で暖房器具使用なし、着衣あり、寝具使用なし)	能動的対外復温 (加温毛布、温風、加温輸血) を行った。(中略) 糖尿病のコントロールを行って 22 病日には退院となった。本症例は糖尿病性昏睡のため寒冷的環境から回避できずに低体温症を発症したと考えた。
73 歳 男性	8.5℃	-	31.0℃	認知症、アルコール性肝硬変がある患者が自宅で呼びかけに反応しなくなったとして救急搬送された (寝具使用あり、暖房器具使用なし)	低血糖に対しブドウ糖を投与し、低体温に対し能動的対外復温 (加温毛布、温風、加温輸血) を行った。全身状態は回復せず 11 病日に肝不全にて死亡した。本症例はアルコール性肝硬変による低血糖昏睡のため寒冷的環境から回避できずに低体温症を発症したと考えた。
92 歳 女性	0.4℃	-	33.1℃	認知症があり老健施設入居中であった (寝具使用あり、暖房器具使用あり)	能動的対外復温 (加温毛布、温風、加温輸血) を行ったところ、(中略) 3 病日に退院となった。本症例は施設入所中であり、環境温は管理されていたと推測されるが、認知症による寝具をはぐなどの行動が寒冷的環境への曝露とそこからの回避行動の欠如が低体温症を発症した可能性を考えたと考えた。

(2) 収集事例に基づく考察

まず、事故や災害等のニュースより収集した事例であるが、こちらに関しては主に寒冷悪天候の中での遭難によるものが多くなっている。年齢性別等については、やや高齢者が多い傾向であるが、これは遭難による低体温症が多いという特性上、認知症や移動速度の低下等のハンディがある分、高齢者の被害事例が多く出たのではないかと推測される。

次に労働災害事例についてであるが、こちらも状況としては遭難による低体温症と同じ分類であると言える。しかし、救助に向かった事業者が低体温症で死亡するという二次災害の様相を呈している。救助に向かうということは、周辺の地理環境は多少なりとも理解しているものであり、さらに寒冷環境下での救助ということで、ある程度の防寒対策は実施していたと思われる。しかし、事例によると、その原因は「移動距離および移動に要する時間等を十分に確認、検討せず、気温が低い中、雪深い林道内を徒歩で移動したこと」、「十分な防寒着を用意および着用していなかったこと。」と記されており、寒冷環境下での作業に慣れている事業者であっても、十分な防寒対策を見誤ることがあり、災害時の被災者等はなおさら十分な防寒対策を取るのが難しいのではないかと、考えさせられる事例である。

医誌等の事例では、酩酊、持病等の背景がある患者の事例が多く取り上げられていた。その中でも印象的であったのは、「*認知症による寝具をはぐなどの行動が寒冷環境への曝露とそこからの回避行動の欠如*」である。**2.4.** でも後述されるが、寒いと感じているはずなのに、寝具や衣服を脱ぐ「矛盾脱衣」という現象がある。こういった想定される衣類よりも薄着になることで、低体温症リスクが大幅に高まる可能性がある点については、留意する必要がある。

また、病院での低体温症患者への基本的な処置として能動的対外復温（加温毛布、温風、加温輸血）というものが見られる。災害時には、停電等が発生し、暖房器具の仕様が困難となる可能性があり、また加温輸血等の対応は病院以外では困難であることから、低体温症要対処者への民間人が出来る対応は非常に少ないのではないかと考えるところである。

2.4. 低体温症に関する既往研究

災害時における人的被害推定において、低体温症の定量評価を行った例は過去にないものの、低体温症自体の検討においては、いくつかの既往研究が存在する。

本節では、低体温症要対処者の発生条件や国内での低体温症要対処者や凍死者の発生状況等に関する既往研究の情報収集を行い、整理した。

(1) 医療的側面からの凍死研究

塩野ら³⁵⁾は、平成2年1月1日から平成15年12月31日までの間に同地区で凍死した206名について法医病態学的側面より研究・診断を実施した。

Table. 2.12 研究対象となった例³⁵⁾

	男性	女性	合計
凍死総数	126	95	221
検屍のみの事例	90	62	152
解剖事例	36	33	69

研究・診断の中で、本研究に直接の影響はないものの、留意すべき項目を発見した。一つ目は、「矛盾脱衣」である。

凍死者はしばしば着衣を脱ぎ捨てて発見される。その程度は、ファスナーをさげる程度の者から全裸の状態まで種々である。その原因は、低温のため血管壁の神経がマヒして欠陥が拡張し、実際とは矛盾した感覚によると考えられているが正確な原因は分かっていない。

つまり、生命の危機を感じる程度の寒冷環境下に曝された被災者は、十分な防寒がなされていても、矛盾脱衣により低体温症のリスクが急激に高まる可能性がある。そのため、防寒具を着用した「比較的低体温症発生のリスクが低い」層（たとえば防寒具を着用して津波避難ビルに避難した避難者等）についても、速やかな救助及び暖の取れる環境への搬送が不可欠であると言える。

二つ目は、「低体温下における意識低下」である。

ヒトの体温が35℃を下がると意識障害が生じてくることが知られている。（中略）しかし、この低体温がラットにとっての凍死に関係する温度であるか、グルタミン酸低下と凍死の意識障害との関係に直接的な説明となるのかは、さらに実験例を増やして検討する必要があると考える。

現在、低体温症要対処者は血中グルタミン酸濃度の低下により意識低下が発生すると考えられているものの、上述のとおり、実験結果としてはグルタミン酸濃度低下と意識低下において、直接的な因果関係が説明されていない。つまり、低体温症による意識障害のリスクを軽減するには、投薬等ではなく、そもそも低体温症を防ぐための適切な防寒を行い、防寒が困難な被災者については、可及的速やかに救助することが不可欠であると言える。

(2) 岡山県の早春室内での凍死例

石川ら³⁶⁾は、屋内における凍死例を取りまとめている。本事例によると、死亡推定日の気温は最低気温 6.1℃～8.4℃、最高気温 17.5℃～20.1℃、平均気温 12.2～12.3℃程度であった。この状況について、石川らは、「月中旬という比較的日中は温暖になりつつある時期ではあるが、最低温度が 5℃近くになる夜間ではたとえ室内であったとしても、気候条件としては凍死が発生しても矛盾はない」とした。

また、低体温症をきたす環境条件や個体（身体）側の要因として、Table. 2.13 に示す項目が知られている。石川らの解剖結果では、飲酒・るい瘦（脂肪組織が病的に減少した極度の低体重状態）等の個人的要因も凍死が誘因であったと結論付けている。

Table. 2.13 低体温症をきたす要因³⁶⁾

A.寒冷曝露から逃れられない因子	B.凍死の促進因子
遭難	外気温が低い（氷点下である必要はない）
疾病や外相による意識障害	通気性がよい
酩酊による睡眠や意識消失	身体や着衣が濡れている等放熱が激しい
精神病	過労
老人性認知症	低栄養
慢性薬物中毒による幻覚	老齡
知覚鈍麻	

本解剖では、「凍死は全異状死体数の 0.4%を占める程度であり温暖な岡山県内においては比較的稀な死因」としつつも、飢餓等の別の誘因により凍死が発生した事実がある。災害時においても、寒冷環境下で食料が不足した空腹状態に陥る可能性は十分にあり得る。そうした場合、本研究における低体温症要対処者数よりもさらに多くの要対処者が発生する可能性があることは留意しておく必要がある。

(3) 東京都における凍死症例

田中ら³⁷⁾は、1978年より1982年までの東京都監察医務院の記録による凍死症例83件について調査を実施している。調査の結果、個人特性としては、40歳代・50歳代の男子の凍死割合が多く、発生状況としては、酩酊状態が全体の51%を占めていた。また、浮浪者が屋外で低体温症から凍死に至る例も多い。

季節別にみると、12～2月に凍死症例数が多く、全体の約77%を占めている（Fig. 2.7左図）。また、ほとんどの症例は気温11℃以下において発生し、屋外では気温0～5℃での発生が多くなっている（Fig. 2.7右図）。ただし、酩酊状態の場合は、15～19℃といった場合にも凍死がみられた。一方で、気温の高い5～9月には凍死はみられなかった。

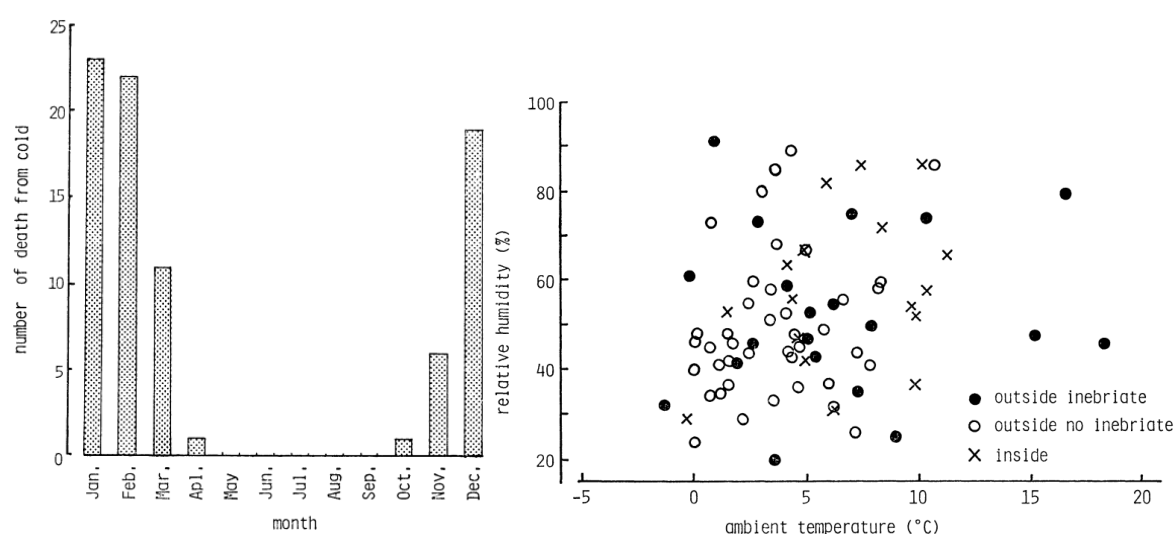


Fig. 2.7 月別凍死症例数（左図）及び外気温湿度と凍死症例数との関係（右図）³⁷⁾

月別の凍死例分布及び外気温と凍死症例数の特徴より、本研究でも厳冬期の10℃以下を対象として低体温症の検討を行うことが適切であると判断した。

ただし、酩酊状態においては、やや暖かい気象状況でも凍死者が発生している等、個人の体温調整機能が凍死に大きく影響を与えている事実を突きつける調査結果であると感じる。

このような個人の状況については、被害想定に含めることは適切ではないものの、実災害時には、早急な救助や対応が必要となる重要な事項である。

第2章 「先行研究・既往災害研究」の参考文献

- 1 気象庁: 昭和 57 年 (1982 年) 浦河沖地震調査報告, 験震時報, 第 47 巻, p1-58, 1982, 2025.04.01 現在
<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/kenshin/vol47p001.pdf>
- 2 気象庁: 昭和 58 年 (1983 年) 日本海中部地震, 2025.04.01 現在
https://www.jma-net.go.jp/akita/data/saigai/saigai_tyubu.html
- 3 気象庁: 昭和 59 年 (1984 年) 長野県西部地震, 2025.04.01 現在
<https://www.data.jma.go.jp/nagano/shosai/kazan/1984naganoseibu.html>
- 4 佐々木克芳: 昭和 59 年長野県西部地震災害—よみがえる御岳—, 砂防学会誌, 1997 年 49 巻 5 号 p.57-59_2
DOI: https://doi.org/10.11475/sabo1973.49.5_57
- 5 中村雅基, 勝間田明男, 他: 平成 5 年 (1993 年) 釧路沖地震の地震活動について, 験震時報第 58 巻, p11-48, 1994, 2025.04.01 現在
<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/kenshin/vol58p011.pdf>
- 6 気象庁: 平成 5 年 (1993 年) 北海道南西沖地震, 2025.04.01 現在
<https://www.jma-net.go.jp/sapporo/jishin/nanseioki.html>
- 7 気象庁: 平成 6 年 (1994 年) 三陸はるか沖地震, 2025.04.01 現在
https://www.data.jma.go.jp/morioka/saigai/saigai_haruka.html
- 8 内閣府: 「阪神・淡路大震災」特設サイト, 2025.04.01 現在
https://www.data.jma.go.jp/egev/data/1995_01_17_hyogonanbu/index.html
- 9 内閣府: 2000 年 (平成 12 年) 鳥取県西部地震, 2025.04.01 現在
https://www.bousai.go.jp/kaigirep/houkokusho/hukkousesaku/saigaitaiou/output_html_1/ca_se200004.html
- 10 内閣府: 2001 年 (平成 13 年) 芸予地震, 2025.04.01 現在
https://www.bousai.go.jp/kaigirep/houkokusho/hukkousesaku/saigaitaiou/output_html_1/ca_se200101.html
- 11 気象庁: 平成 15 年 (2003 年) 十勝沖地震, 2025.04.01 現在
<https://www.data.jma.go.jp/kushiro/bosai/earthquake/tokachi2003/tokachi2003.html>
- 12 気象庁: 平成 16 年 (2004 年) 新潟県中越地震, 2025.04.01 現在
https://www.data.jma.go.jp/niigata/menu/2024project/chuetsu_main.html
- 13 内閣府 (防災担当): 2007 年 (平成 19 年) 能登半島地震・石川県, 2025.04.01 現在
https://www.bousai.go.jp/kaigirep/houkokusho/hukkousesaku/saigaitaiou/output_html_1/ca_se200701.html
- 14 気象庁: 新潟県災害デジタルアーカイブ, 新潟県中越沖地震, 2025.04.01 現在
<https://www.pref.niigata.lg.jp/site/saigai-archive/tyuetsuoki-jishin.html>
- 15 一般社団法人消防防災科学センター: 岩手・宮城内陸地震平成 20 年 8 月末豪雨編, 2025.04.01 現在
https://www.isad.or.jp/information_provision/information_provision/h21/
- 16 地震本部: 超巨大地震 (東北地方太平洋沖型), 2025.04.01 現在
https://www.jishin.go.jp/regional_seismicity/rs_kaiko/rs_tohokuoki_eq-type/
- 17 熊本県知事公室危機管理防災課: 熊本災害デジタルアーカイブ, 2025.04.01 現在
<https://www.kumamoto-archive.jp/>
- 18 気象庁: 平成 30 年北海道胆振東部地震, 2025.04.01 現在
https://www.jma-net.go.jp/sapporo/jishin/iburi_tobu.html
- 19 内閣府 (防災担当): 令和 6 年能登半島地震による被害状況等について(令和 7 年 3 月 11 日現在), 2025.04.01 現在
https://www.bousai.go.jp/updates/r60101notojishin/r60101notojishin/pdf/r60101notojishin_56.pdf

- 20 気象庁, 過去の気象データ検索, 2024.05.06 現在
https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php?prec_no=14&block_no=47412&year=&month=&day=&view=
- 21 門廻, 今村: IV-1, 東日本大震災における宮城県での死因体系化の試み, 土木学会東北支部技術研究発表会, 2019.
- 22 Furukawa H, Kudo D, et al.: Hypothermia in victims of the great East Japan earth quake: a survey in Miyagi prefecture. Disaster Med Public Health Prep., 8(5), 379-389, 2014.
 DOI: <https://doi.org/10.1017/dmp.2014.70>
- 23 函館市: 函館大火, 函館市市政ポータルサイト, 2025.08.01 現在
<https://www.city.hakodate.hokkaido.jp/docs/2014012200615/>
- 24 中央防災会議日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震対策検討ワーキンググループ: 日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震対策検討ワーキンググループ, 第 6 回ワーキンググループ, 被害想定手法について (案) (積雪寒冷特有の影響を踏まえた被害想定手法), 2025.04.01 現在
https://www.bousai.go.jp/jishin/nihonkaiko_chishima/WG/index.html
- 25 上越タウンジャーナル: 車で川に転落 36 歳男性這い上がれず凍死か, 2013.02.09., 2025.06.01 現在.
<https://www.joetsutj.com/articles/52017745>
- 26 日本経済新聞: 北海道の暴風雪、死者 8 人に車立ち往生や凍死, 2013.03.03., 2025.06.01 現在
https://www.nikkei.com/article/DGXNASFK03017_T00C13A3000000/
- 27 埼玉新聞: 女性遺体、民家の庭に...身元判明 凍死の可能性 買い物に行った母親「帰ってこない」と息子が届け出／県警, 2019.12.26., 2025.06.01 現在
<https://www.saitama-np.co.jp/articles/3355/postDetail>
- 28 TBS NEWS DIG: 横転した車内で死亡していた男性 死因は凍死 石川・加賀市, 2024.01.18., 2025.06.01 現在
<https://newsdig.tbs.co.jp/articles/-/950036?display=1>
- 29 共同通信社: 北ア爺ヶ岳で大学生 3 人遭難 「低体温症の症状」と通報、長野, 2024.12.31., 2025.06.01 現在
<https://news.yahoo.co.jp/articles/b359616c940a150220352d4c42074c77d70ec2c6>
- 30 神戸新聞: 神戸市北区の死体遺棄事件 遺体は容疑者の 72 歳母親と判明 死因は低体温症か, 2025.5.21., 2025.06.01 現在
<https://www.kobe-np.co.jp/news/jiken/202505/0019011127.shtml>
- 31 新潟日報: 新潟県南魚沼市のスキー場近くで発見の死亡男性、身元が判明 死因は低体温症, 2025.2.15., 2025.06.01 現在
<https://www.niigata-nippo.co.jp/articles/-/556960>
- 32 厚生労働省: 職場のあんぜんサイト, 労働災害事例, 2025.06.01 現在
https://anzeninfo.mhlw.go.jp/anzen_pg/SAI_DET.aspx?joho_no=101559
- 33 久保田洋介, 亀山元信, 村田祐二, 庄子賢, 野上慶彦, 鈴木惇子: 偶発性低体温症の 3 例, 仙台市立病院医誌, 28, 99-100, 2008, 2025.06.01 現在
<https://hospital.city.sendai.jp/pdf/p099-100%2028.pdf>
- 34 菊嶋修示, 伊藤英利, 兼坂茂: 症例報告 緊急搬送された偶発性低体温症の 6 症例, 昭和医学会誌, 第 72 巻, 第 4 号, 503-508, 2012, 2025.06.01 現在
https://www.istage.jst.go.jp/article/jsma/72/4/72_503/pdf-char/ja
- 35 塩野: 積雪寒冷地での凍死の法医病態学的研究と診断確率, 課題番号 13670414, 平成 13 年度～15 年度 科学研究費補助金, 基盤研究(C)(2), 研究結果報告書, 2004.06., 2025.04.01 現在
https://amcor.asahikawa-med.ac.jp/modules/xoonips/download.php/k-205.pdf?file_id=2895
- 36 石川隆紀, 宮石智, 土井裕輔, 高田智世, 今林貴代美, 稲垣幸代, 吉留敬, 山本雄二, 石津日出雄: 岡山県下で起きた早春室内での凍死例, 2025.04.01 現在
https://ousar.lib.okayama-u.ac.jp/files/public/1/13580/20160527194857712706/114_303.pdf
- 37 田中正敏, 徳留省悟, 大中忠勝, 藤井幸雄: 東京都における凍死症例の検討, 日本生気象学会

雑誌, 25 卷 3 号, p.119-127, 1988.12.

DOI: <https://doi.org/10.11227/seikisho1966.25.119>

3. 人的被害想定手法の現状

各都道府県や政令指定都市は、自治体の地理的特徴等を踏まえて、独自の被害想定手法を取り入れていることがある。

本章では、人的被害推定について、複数の自治体の被害想定手法について情報収集及び整理を行い、人的被害推定手法の現状を理解するとともに、その課題について認識する。

3.1. 建物被害による死傷者数

本節では、積雪寒冷地である北海道及び青森県、岩手県、宮城県、秋田県、山形県、福島県の東北6県について、建物被害に伴う人的被害推定手法、津波被害に伴う人的被害推定手法及び低体温症に伴う人的被害推定手法を調査し、手法の整理結果を掲載し、さらに人的被害想定手法の現状の課題を確認する。

3.1.1. 北海道¹⁾

北海道では、田畑・岡田（2007）²⁾の手法を採用している。

(1) 人的被害想定の流れ

木造建物の死者数の評価手法は、死者発生に強く関係のある住宅の崩壊形態（損傷度）を考慮し、対象建物周辺の全壊率という地域性を考慮している田畑・岡田(2007)²⁾の手法を用いる。非木造建物の死者数の評価手法は、中央防災会議(2006)³⁾の全壊棟数と建築物倒壊による死者数の関係式を適用する。

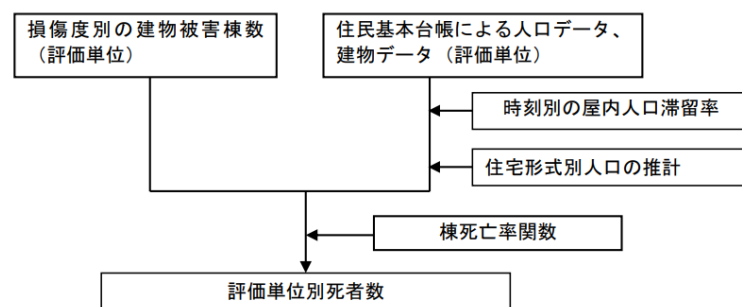


Fig. 3.1 建物倒壊による死者数の算定の流れ¹⁾

負傷者数・重傷者数の評価手法は、阪神・淡路大震災における建物被害率と負傷者率との関係及び負傷者に占める重傷者の割合（重傷者比率）を用いた大阪府の手法(1997)⁴⁾を適用する。

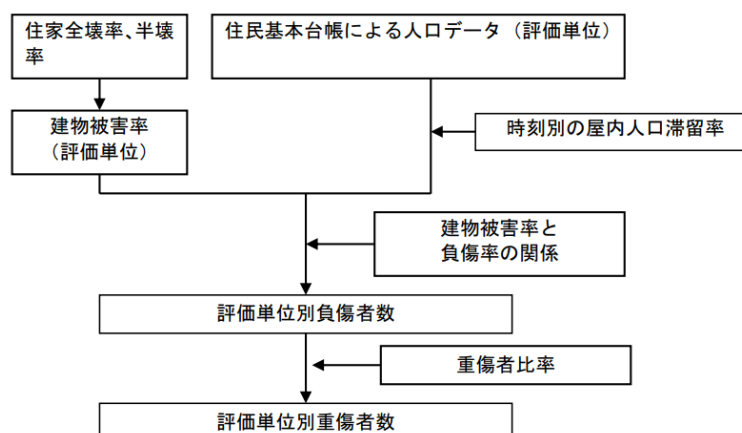


Fig. 3.2 建築物倒壊による負傷者数・重傷者数の算定の流れ¹⁾

(2) 建物倒壊に伴う人的被害推定手法

北海道の採用した田畑・岡田(2007)²⁾の手法による木造建物内死者数推定は、式(3-1)で表される推定式を用いる。構造別・建て方別の人口を求めたうえで、構造別・建て方別の棟死亡率を用いて、建物倒壊に伴う死者数を推定する。

$$Dr(x,y) = ae^{bx} + cxy^2 \quad (3-1)$$

x : 損傷度 (Damage Index) で 0.6 未満の半壊以下では死者は発生しないとする

y : 周辺全壊率

a 、 b 、 c : 木造低層建物棟死亡率関数パラメータ (Table. 3.1)

破壊パターンとダメージレベルと損傷度の関係については、Fig. 3.3 に示す。

Table. 3.1 木造低層建物棟死亡率関数パラメータ²⁾

住宅形式	木造独立	木造集合 (長屋・共同建)
a	0.0104	0.000580
b	6.68	9.32
c	11.0	6.69

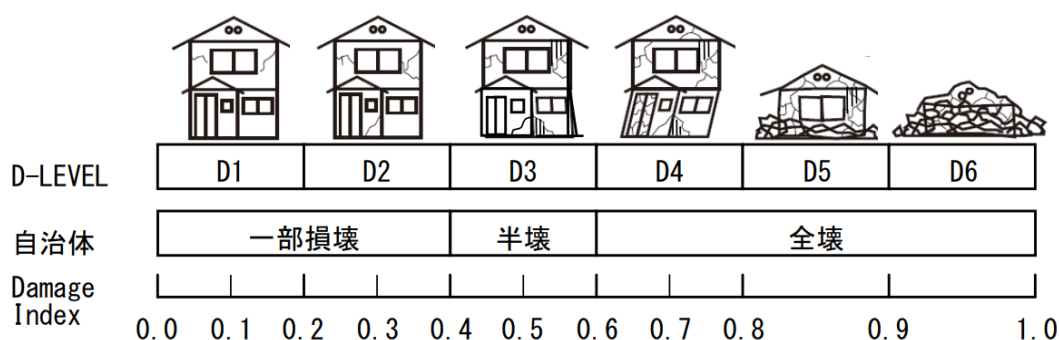


Fig. 3.3 破壊パターンとダメージレベルと損傷度の関係²⁾

非木造建物における死者数については、中央防災会議(2006)の手法³⁾を用い、全壊棟数に係数と建物内滞留率を掛けることで算定する。

$$\text{非木造建物被害による死者数} = 0.003 \times \text{非木造建物全壊棟数} \times \text{建物内滞留率} \quad (3-2)$$

負傷者数・重症者数の推定については、大阪府の手法(1997)⁴⁾による建物被害率と負傷者率との関係から算定する。

$$\text{負傷者数} = \text{負傷者率} \times (\text{人口} \times \text{住家内滞留率}) \quad (3-3)$$

$$\text{負傷者率} = 0.12 \times \text{建物被害率} \quad (0 \leq \text{建物被害率} < 0.25) \quad (3-4)$$

$$\text{負傷者率} = 0.07 - 0.16 \times \text{建物被害率} \quad (0.25 \leq \text{建物被害率} < 0.375) \quad (3-5)$$

$$\text{負傷者率} = 0.01 \quad (0.375 \leq \text{建物被害率}) \quad (3-6)$$

$$\text{建物被害率} = \text{全壊率} + \text{半壊率} \times 1/2 \quad (3-7)$$

重傷者数は、負傷者に占める重傷者の割合 (重傷者比率) から算定する。

$$\text{重傷者比率} = 0.10 \quad (0 \leq \text{建物被害率} < 0.10) \quad \text{-(3-8)}$$

$$\text{重傷者比率} = 0.15 - 0.5 \times \text{建物被害率} \quad (0.10 \leq \text{建物被害率} < 0.20) \quad \text{-(3-9)}$$

$$\text{重傷者比率} = 0.05 \quad (0.20 \leq \text{建物被害率}) \quad \text{-(3-10)}$$

以上より、重傷者数及び軽傷者数は以下で算定する。

$$\text{重傷者数} = \text{重傷者比率} \times \text{負傷者数} \quad \text{-(3-11)}$$

$$\text{軽傷者数} = \text{負傷者数} - \text{重傷者数} \quad \text{-(3-12)}$$

(3) 本手法における課題

北海道の手法では、木造建物の建物被害に伴う人的被害について構造別・建て方別の棟死亡率を用いており、建物の被害程度を反映した被害想定である。また、積雪荷重を考慮しており、厳冬期災害への適用も可能であると言える。

一方で負傷者については、既往地震における実績に基づいた建物被害率と負傷者率との関係や負傷者に占める重傷者の割合等を用いており、建物の被害程度を反映するには至っておらず、また、負傷者の負傷程度についても触れられていない。そのため、負傷者の削減や負傷による避難困難者についての検討に用いるには、データの粒度が十分とは言えない。

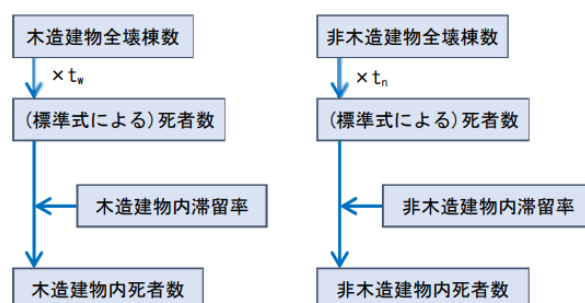
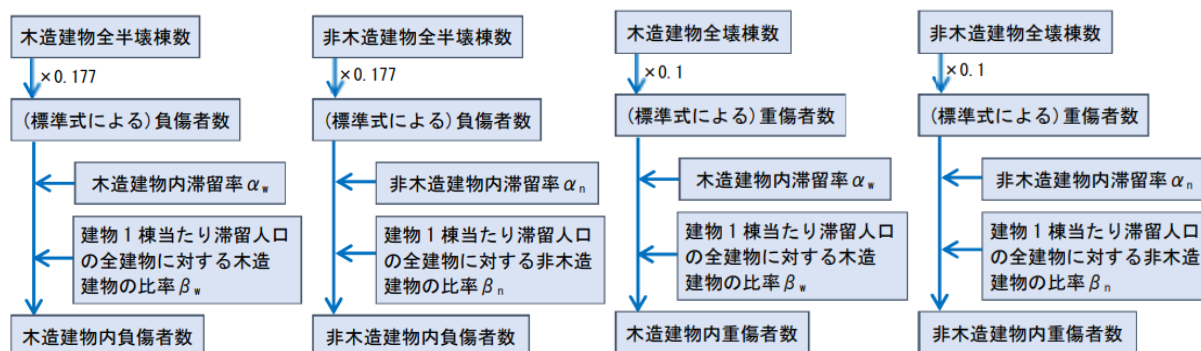
3.1.2. 青森県⁵⁾・岩手県⁶⁾・宮城県⁷⁾・秋田県⁸⁾・福島県⁹⁾

青森県及び岩手県では、揺れによる建物被害と人口データから死者数、負傷者数、重傷者数を想定する中央防災会議(2012¹⁰⁾,2013¹¹⁾)の手法を採用している。

(1) 人的被害想定の流れ・算定手法

以下は、青森県被害想定記載の人的被害に関する一文及び岩手県被害想定記載の算定フローである。

建物倒壊による人的被害は、建物被害棟数と人口データをもとに死者数・負傷者数・重傷者を算出する。死者数は建物の全壊棟数から、負傷者数・重傷者（負傷者数の内数）は、全半壊棟数から算出する。

Fig. 3.4 建物倒壊による死者数の算定フロー^{10, 11)}Fig. 3.5 建物倒壊による負傷者数・重症者数の算定フロー^{10, 11)}

3. 人的被害想定手法の現状

算定式は中央防災会議(2012,2013)の手法^{10,11)}より、以下の式を採用している。

$$\text{死者数} = \text{木造建物死者数} + \text{非木造建物死者数} \quad \text{-(3-13)}$$

$$\text{木造建物内死者数} = t_w \times \text{揺れによる木造全壊棟数} \times \alpha_w \quad \text{-(3-14)}$$

$$\text{非木造建物内死者数} = t_n \times \text{揺れによる非木造全壊棟数} \times \alpha_n \quad \text{-(3-15)}$$

$$\text{木造建物における負傷者数} = 0.177 \times \text{揺れによる木造全半壊棟数} \times \alpha_w \times \beta_w \quad \text{-(3-16)}$$

$$\text{非木造建物における負傷者数} = 0.177 \times \text{揺れによる非木造全半壊棟数} \times \alpha_n \times \beta_n \quad \text{-(3-17)}$$

$$\text{木造建物における重傷者数} = 0.1 \times \text{揺れによる木造全半壊棟数} \times \alpha_w \times \beta_w \quad \text{-(3-18)}$$

$$\text{非木造建物における重傷者数} = 0.1 \times \text{揺れによる非木造全半壊棟数} \times \alpha_n \times \beta_n \quad \text{-(3-19)}$$

α_w : 木造建物内滞留率

α_n : 非木造建物内滞留率

β_w : 建物 1 棟当たり滞留人口の全建物に対する木造建物の比率

β_n : 建物 1 棟当たり滞留人口の全建物に対する非木造建物の比率

t_w : 0.0676

$$t_n = 0.00840 \times \frac{P_{n0}}{B_n} \div \frac{P_{w0}}{B_w} \quad \text{-(3-20)}$$

P_{w0} : 夜間人口 (木造)

P_{n0} : 夜間人口 (非木造)

B_w : 建物棟数 (木造)

B_n : 建物棟数 (非木造)

(2) 本手法における課題

式(3-13)～(3-20)で示したとおり、当該県の被害想定では、建物被害に一定の係数をかけることで死負傷者を算定する手法である。この方法では、建物倒壊による建物内被災者の状況や被災者の負傷程度、避難可否等については評価することが出来ない。

これは、被害想定において、地域特性や世帯・個人特性を十分には考慮できていないことを示しており、地域ごとの特性を踏まえたきめ細やかな対応が必要となる減災施策に取り入れるには、評価が十分ではないと考えられる。

福島県の被害想定においては、屋内収容物による人的被害についても評価しているが、建物被害に伴う死傷者と区別せず内数として取り扱われており、屋内被害者における詳細な被害状況の把握には至っていない。

3.1.3. 山形県¹²

(1) 人的被害想定の流れ・算定手法

山形県の被害想定手法も、算定方針としては、建物内滞留人口、建物全壊率を用いた算定を行っており、基本的には中央防災会議(2013)の手法¹⁰⁾と同様である。

ただし、そこに乗じる係数は、阪神・淡路大震災における建物被害と死者の発生の関係から確率統計的な手法により決定したものであり、前項までとは異なる。

$$\text{木造建物死者数} = \text{木造建物内滞留人口} \times 0.0359 \times \text{木造建物全壊率} \quad \text{-(3-21)}$$

非木造についても非木造建物内滞留人口、非木造建物全壊率を用いて計算する。パラメータについても同様に、阪神・淡路大震災における建物被害と死者の発生の関係から確率統計的な手法により作成したものである。

$$\text{非木造建物死者数} = \text{非木造建物内滞留人口} \times 0.0073 \times \text{非木造建物全壊率} \quad \text{-(3-22)}$$

これらを用いて、全死者数の算定は以下の式(3-23)で算定されている。

$$\text{全死者数} = \text{木造建物死者数} + \text{非木造建物死者数} + \text{火災死者数} \quad \text{-(3-23)}$$

なお、火災死者数について、本研究では取り扱っていないが、以下の式(3-24)で算定する。

$$\text{火災死者数} = 0.14 \times \text{焼失棟数} \times \text{発災時人口} / \text{夜間人口} \quad \text{-(3-24)}$$

負傷者数については、過去の地震被害事例を幅広く取り入れて推定を試みた太田ら¹³⁾により、死者数と負傷者数との関係を整理し、以下の式(3-25)を採用している。

$$\log I = 0.667 \times \log D + 1.667 \quad \text{-(3-25)}$$

D : 負傷者数

I : 死者数

(2) 本手法における特徴・課題

3.1.2.と同様に、建物被害に一定の係数をかけることで死負傷者を算定する手法であるため、建物倒壊による建物内被災者の状況や被災者の負傷程度、避難可否等については評価することが出来ない。よって、地域特性や世帯・個人特性を十分には考慮できず、地域ごとの特性を踏まえたきめ細やかな対応が必要となる減災施策に取り入れるには、評価が十分ではないと考えられる。

また、木造建物の全壊率において積雪を考慮した一定の補正はなされており、冬期の被害を考慮できているものの、低体温症や凍死についても言及されておらず、厳冬期災害における二次災害についてまでは考慮できていない。

3.2. 関連死に関する被害想定

本節では、災害関連死を被害想定に取り入れている内閣府中央防災会議（2025）¹⁴⁾と神奈川県（2025）¹⁵⁾について情報収集し整理した結果を掲載する。

更に、札幌市¹⁶⁾における凍死者の推定及び青森県、岩手県の低体温症者についても災害関連死の一部として情報収集を行い、本節に整理した。

3.2.1. 内閣府¹⁴⁾・神奈川県¹⁵⁾

(1) 災害関連死の基本的な考え方・算定手法

内閣府¹⁴⁾では、災害関連死について、東日本大震災の岩手県・宮城県や、令和6年能登半島地震の石川県における災害関連死者数と最大避難者数の関係を実績ベースで整理している。

結果、東日本大震災（岩手県・宮城県）における災害関連死者数と最大避難者数の関係に基づくと、避難者1万人あたり約40人の災害関連死が発生するものと推計されている。さらに令和6年能登半島地震のように、復旧や応援等が大幅に遅れることにより、被災者が十分な支援等を受けられなかった場合、災害関連死は増加し、**Fig. 3.6**のように避難者1万人あたり約80人の災害関連死が発生する可能性が示唆されている。

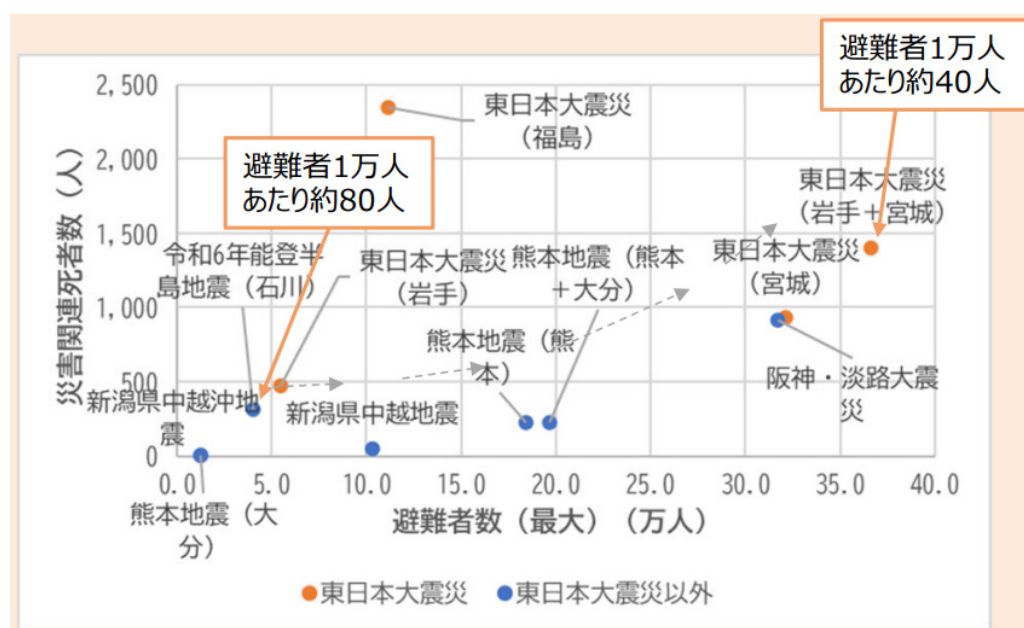


Fig. 3.6 避難者数と災害関連死者数の相関関係¹⁴⁾

なお、災害関連死の発生要因は、内閣府¹⁴⁾によると以下が挙げられる。

- ・ 地震や津波等のストレスに伴う、肉体・精神的負担
- ・ 避難所における生活や避難所等への移動中の肉体・精神的疲労
- ・ 病院の機能停止や交通事情等による初期治療の遅れ、既往症の増悪 等

また、推計結果については以下の2点に留意が必要である。

- ・ 南海トラフ巨大地震による影響は超広域・長期間にわたる可能性がある中で、上記の定量的な推計では評価しきれないような災害関連死の増大要因も考え得る。
- ・ 災害関連死の認定に関する基準等が自治体によって異なる点が災害関連死者数の統計データに影響している可能性がある。

(2) 内閣府・神奈川県における災害関連死推定の課題

東日本大震災以降、災害関連死についても注目が集まり、既往災害における関連死のデータより一定の相関関係が見受けられたことは、被災者支援の必要性を示唆するものであると言える。

しかしながら、十分なデータがないことより、相関関係においても、東北地方太平洋沖地震とそれ以外の地震で乖離が見受けられる。また、先述のとおり、災害関連死の認定に関する基準が定まっていないため、統計データの精度が十分でないことも課題として挙げられる。

さらに、その因子や条件も様々な個々の死を「災害関連死」と一括りにしてしまうと、減災施策に落とし込めなくなるということも懸念される。災害関連死の全体数を把握する上では、この相関関係を活用することは有用であるが、減災という視点で見ると慎重に扱う必要がある。

3.2.2. 札幌市¹⁶⁾

札幌市では、被害想定に凍死者を考慮した推定を導入している。ここでは、凍死者推定の方針と推定手法について整理し、その課題について論ずる。

(1) 災害関連死（凍死）の基本的な考え方・算定手法

札幌市の被害想定における凍死は以下の2通りの条件で想定されている。

- a. 冬季における自力脱出困難者（以下、要救助者）が発災後2時間以内で死亡すると仮定
要救助者は全員凍死とする。これはスイス山岳救助隊が「雪崩における埋没者を助け出す制限時間を90分」としていることに基づくものであり、阪神・淡路大震災の事例からも2時間が閾値であると見られることによる。
- b. 翌日以降に救助された要救助者が、夏であれば生存するが冬では凍死すると仮定
まず、発災後24時間以内に60%が救助される（兵庫県南部地震の実績に基づく）。ここで、救助されなかった被災者のうち、19%は夏であれば生存者として救助されるが冬期は寒冷環境に曝されたことにより凍死すると考える。よって、冬期には要救助者全体の7.6%が凍死者として扱われる。

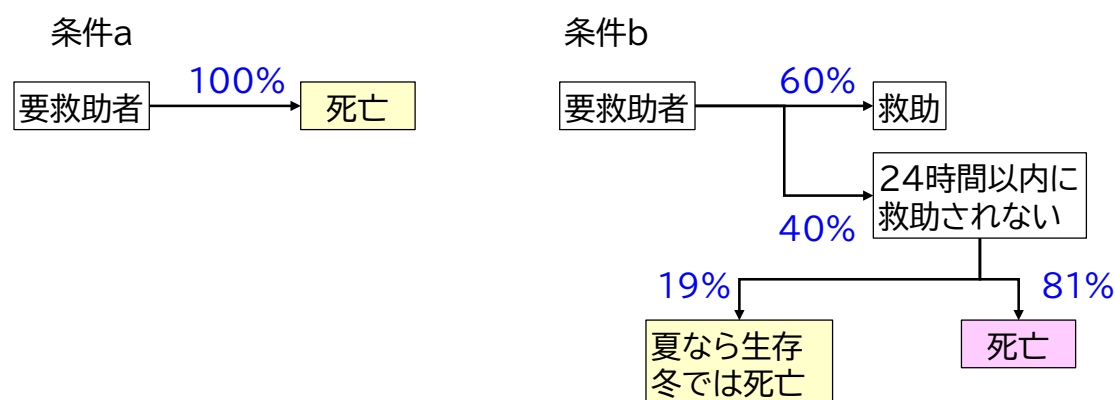


Fig. 3.7 条件 a, b における要救助者の凍死者¹⁶⁾

(2) 札幌市における災害関連死推定の課題

札幌市は、積雪寒冷地である上に、人口 100 万人を超える大都市である。そのため、積雪や救助に時間がかかる可能性が高いため、凍死者についての検討が行われている。しかし、凍死については、24 時間を境に凍死するか否かを判定する二項定理的な評価手法であり、救助の優先順位検討やその他事前対策等の減災施策に活用するには十分とはいえない。また、冬季における要救助者の凍死までの制限時間について、前例が少ないものの山岳救助隊の事例をそのまま採用した点等は、やや過剰な設定であるともとらえられる。

以上のように、凍死について先進的に導入を試みた事例であるものの、その推定手法については、更なる高度化・精度向上が見込まれるものであると考える。

3.2.3. 青森県¹⁷⁾・岩手県¹⁸⁾

岩手県の被害想定⁶⁾においては、低体温症について以下の記載がある。低体温症について一定の考慮はなされているものの、津波避難時に津波に巻き込まれ濡れた被災者のみを対象とした二項定理的な評価となっており、被災者の状況や気候までを考慮した定量的な評価にまでは至っていない。青森県⁵⁾についても、同様に津波避難時に津波に巻き込まれ濡れた被災者のみを対象とした二項定理的な評価にとどまっていた。

<岩手県の被害想定における低体温症についての記載>

津波に巻き込まれた場合に、溺死等で死亡しなかった場合にも、負傷者（重傷、軽傷）は発生する。重傷者は自力では動けない状態であると仮定すると、濡れた状態のまま救助されるまでの数時間程度そのままの状態の可能性がある。気温がマイナス数℃以下となる地域では、濡れたままの状態におかれると、冷たい水に浸水している場合と同様に低体温症等のリスクが高まり、短時間で死亡する可能性があると考えられる。気温がマイナス数℃以下となる地域において、津波に巻き込まれ濡れたままの状態で動けない重傷者は、より短時間で低体温症等になり、救助が間に合わずに死亡するものとした。

宮城県、秋田県、福島県については、低体温症や凍死について定量的な評価についての記載は見られなかった。

第3章 「人的被害想定手法の現状」の参考文献

- 1 北海道危機対策局危機対策課：想定地震・被害想定, 2018.02., 2025.04 現在
https://www.pref.hokkaido.lg.jp/sm/ktk/jishin_sotei.html
- 2 田畑直樹・岡田成幸・高井伸雄：建物損傷度関数と棟死亡率関数の地震防災への利用法—人命損失に着目した木造低層建物の被害率関数の作成と震害予測例—, 日本建築学会構造系論文集, 第 611 号, pp.39-46, 2007.1.
DOI: https://doi.org/10.3130/aijs.72.39_1
- 3 中央防災会議・日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会：第 17 回日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に係る被害想定手法について, 2006.1., 2025.01 現在
https://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/senmon/nihonkaiko_chisimajishin/17/index.html
- 4 大阪府：大阪府地震被害想定調査報告書、1997., 2025.01 現在
<https://www.pref.osaka.lg.jp/documents/6985/01.pdf>
- 5 青森県防災危機管理課防災企画グループ：令和 3 年度青森県地震・津波被害想定調査（太平洋側海溝型地震）, 2022.03., 2025.04 現在
<https://www.pref.aomori.lg.jp/soshiki/kikikanri/bousai/R3AssumedSurvey.html>
- 6 岩手県復興防災部防災課：岩手県地震・津波被害想定調査, 2022.09., 2025.04 現在
<https://www.pref.iwate.jp/kurashikankyou/anzenanshin/bosai/jishintsunami/1059428.html>
- 7 宮城県防災会議地震対策等専門部会：第五次地震被害想定調査, 2023.11., 2025.04 現在
<https://www.pref.miyagi.jp/soshiki/bousai/ks-gozihigai-top.html>
- 8 秋田県総務部総合防災課：秋田県地震被害想定調査の結果について, 2013.08., 2025.04 現在
<https://www.pref.akita.lg.jp/pages/archive/7470>
- 9 福島県危機管理部：福島県地震・津波被害想定調査結果について, 2022.11., 2025.04 現在
<https://www.pref.fukushima.lg.jp/site/bousai/higaisoutei.html>
- 10 中央防災会議南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ：南海トラフの巨大地震建物被害・人的被害の被害想定項目及び手法の概要, 2012.08., 2025.04 現在
https://www.bousai.go.jp/jishin/syuto/taisaku_wg/
- 11 中央防災会議首都直下地震対策検討ワーキンググループ：首都直下地震の被害想定項目及び手法の概要～人的・物的被害～, 2013.12., 2025.04 現在
https://www.bousai.go.jp/jishin/syuto/taisaku_wg/
- 12 山形県防災くらし安心部：これまでに実施した被害想定調査結果について, 2006.03., 2025.04 現在
<https://www.pref.yamagata.jp/020072/bosai/kochibou/bousaijouhou/jishintsunami/earthquake/higaisouteihoukokusyo.html>
- 13 太田裕, 後藤俊典, 大橋ひとみ：地震時の負傷者発生予測に関する実験式の一構成, 地震, 第 36 巻 3 号, pp.463-466, 1983.
DOI: https://doi.org/10.4294/zisin1948.36.3_463
- 14 中央防災会議南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ：（参考）被害想定手法の概要, 2025.03., 2025.04 現在
https://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku_wg_02/index.html
- 15 神奈川県くらし安全防災局：地震被害想定調査, 2025.03., 2025.04 現在
<https://www.pref.kanagawa.jp/docs/j8g/cnt/f5151/p15579.html>
- 16 札幌市危機管理局：札幌市の地震被害想定, 2021.03., 2025.04 現在
<https://www.city.sapporo.jp/kikikanri/torikumi/higaisoutei/higaisoutei.html>
- 17 青森県防災危機管理課防災企画グループ：令和 3 年度青森県地震・津波被害想定調査（太平洋側海溝型地震）, 2022.03., 2025.04 現在
<https://www.pref.aomori.lg.jp/soshiki/kikikanri/bousai/R3AssumedSurvey.html>
- 18 岩手県復興防災部防災課：岩手県地震・津波被害想定調査, 2022.09., 2025.04 現在
<https://www.pref.iwate.jp/kurashikankyou/anzenanshin/bosai/jishintsunami/1059428.html>

4. 低体温症発症者数推定手法の構築

本章では、低体温症発症者の推定手法の構築について、寒冷指標の導入及び着衣の違い等による低体温症発生リスクの検証を記す。また、構築した低体温症発症者推定手法における個人特性についても検討したため、検討結果についてもあわせて掲載する。

4. 1. 低体温症発症者の推定手法

4. 1. 1. 寒冷指標の導入

(1) 平均体温と低体温

私たち人間の通常体温は凡そ 36～37 度程度となっており、一般にこれより低い体温は低体温とされる。軽度の低体温症は 32～35 度程度を指し、身体の震えや思考力・判断力の低下が現れる。28～32 度程度となると、意識障害が現れるとともに筋肉の硬直などが見られ、呼吸や脈が弱くなり危険な状態となる。28 度以下となると重度の低体温症とされ、昏睡状態で凍死に至る危険な状態とされる。**Fig. 4.1** は、一般財団法人海技振興センター¹⁾を参考に低体温症の発症時の体温と症状を整理したものである。

本研究では、行動不能状態として軽度～中等度、心肺停止として重度低体温症を対象とする。

体温	32℃～ 35℃	28℃～ 32℃	28℃以下
程度	軽度低体温症	中等度低体温症	重度低体温症
症状	<ul style="list-style-type: none"> ・ 身体の震え ・ 思考力・判断力の低下 ・ 立つことが困難 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 意識障害 ・ 寝たまま動かない ・ 筋肉の硬直 ・ 呼吸・脈拍の低下 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 昏睡状態 ・ 意識消失 <p>※蘇生の可能性あり</p>

Fig. 4.1 偶発性低体温症の発症体温と症状¹⁾

(2) 体内蓄熱量

偶発性低体温症は、身体から熱を損失することに起因する。そのため、身体運動等により身体から発する熱量（体内発熱量）と熱の損失を抑制する衣服等の熱抵抗に、気温や風速等の外的要因を考慮し、限界損失熱量と比較することで偶発性低体温症発症リスクを評価する。

まず、単位時間当たりの代謝量 $M[W/m^2]$ は、本研究における寒冷曝露条件においても適用可能な低体温症評価モデルとして、海洋環境曝露下を対象として構築された村山ら²⁾の手法を用いて、式(4-1)とした。ここに、エネルギー代謝率 RMR は池尻ら³⁾に従う。活動時代謝量が基礎代謝量の何倍にあたるかを意味しており、安静時代謝量を除去して計算される。また、一般的に安静時代謝量が基礎代謝量 BMR の約 1.2 倍である。よって、エネルギー代謝率 RMR に 1.2 を加え、基礎代謝量に乗することで、エネルギー代謝率より単位時間当たりの代謝量に変換が可能である。

$$M = 1.163(RMR + 1.2) \times 1.0 \times 60/A \quad \text{---(4-1)}$$

RMR : 1 分あたりのエネルギー代謝率[N.D]

1.163 : 重量単位を SI 単位に変換するため、1[kcal/h]=1.163[W]

A : 日本人の平均体表面積として 1.63m²

60/ A : 日本人の基礎代謝を **Table. 4.1** より 36.7kcal/m²/h とし、36.7×1.63=59.821≒60[kcal/h]

Table. 4.1 日本人の基礎新陳代謝量（労研値）

年齢[歳]	男性[kcal/m ² /h]	女性[kcal/m ² /h]
12～13	43.2	43.8
14	41.1	39.7
15	38.2	36.3
16	38.6	36.2
17～	36.7	34.8

RMR は安静時の代謝量に対する活動量別の代謝量 M_a [W/m²]を用い、さらに一般的に安静時代謝量が基礎代謝量 BMR [W/m²]の約 1.2 倍であることを考慮すると、式(4-2)で表現される。

$$RMR = \frac{M_a - BMR \times 1.2}{BMR} = \frac{M_a}{BMR} - 1.2 \quad -(4-2)$$

$\frac{M_a}{BMR}$ ：身体活動の強度 METs⁴⁾であり、活動代謝量/基礎代謝量

体内蓄熱量において、村山ら^{2,5,6)}は、海洋曝露環境下の作業における人体の熱量について、環境気温、輻射に影響する水温、湿度、風速等の環境要因と、衣服の熱抵抗および透湿抵抗、代謝熱量に影響する作業量、発汗などによる身体の濡れ率等の人体の温熱要因を用いて、人体の体内蓄熱量を評価している。ここで、体内蓄熱量とは体内に蓄えられる熱エネルギー量を指す。これは、代謝などにより体内で産生される熱生産量と体外に放出される熱放散量の差によって決まり、熱放散量が熱生産量を上回り、体内蓄熱量が減少すると体温が低下する。

ここに、式(4-1)を考慮して、人体の蓄熱量 S [W/m²]を式(4-3)で示す。

$$S = M\{(1 - \varepsilon) - 1.7 \times 10^{-5}(5,867 - \psi_a P_a) - 0.0014(34.0 - T_a)\} - 0.0165\alpha(0.06 + 0.94W_{rsw})h_c \times F_{pcl}(P_{sk} - \psi_a P_a) - h(T_{sk} - T_0)F_{cl} \quad -(4-3)$$

ε ：代謝熱量と作業量の比で表される作業効率であり、西ら⁷⁾により、 $\varepsilon = 0.18$

ψ_a ：相対湿度。低温で湿度が蓄熱量に与える影響は少なく $\psi_a = 0.6$

P_a ：環境温度における飽和水蒸気圧[Pa]

T_a ：環境温度[°C]

α ：衣服を通した蒸発潜熱の放出修正係数で $\alpha = 0.25$

h ：総合熱伝達率 $h = h_c + h_r$

h_r ：放射熱伝達率 $h_r = 4.625$

T_0 ：作用温度[°C]。建物被害発生時は外気が流れ込み、屋外環境と同程度となるとして、 $T_0 = T_a$
熱生産量とは基礎代謝や運動、食事誘発性熱産生等によって産生される体内のすべての熱によるものであり、式(4-3)において、 $M(1 - \varepsilon)$ で示される。

熱放散量とは皮膚や呼吸などを通じて体外に放出される熱の総和で、全熱放散量の約 95%が輻射、伝導、蒸発等によるものであり、その比は約 10:8:5 となる⁸⁾。式(4-3)においては、呼吸気道からの蒸発潜熱と対流熱放散として $M\{1.7 \times 10^{-5}(5,867 - \psi_a P_a) + 0.0014(34.0 - T_a)\}$ 、皮膚表面

4. 低体温症発症者推定手法の構築

からの蒸発放熱として $0.0165\alpha(0.06 + 0.94W_{rsW})h_c \times F_{pcl}(P_{sk} - \psi_a P_a)$ 、さらに、衣服を通じての対流熱伝達と放射熱伝達として $h(T_{sk} - T_0)F_{cl}$ 、でそれぞれ示されている。

皮膚表面温度 T_{sk} [°C]は、Burton⁹⁾により提案された衣服の伝熱効率と総合熱伝達率を用いて式(4-4)で表す。なお、本導出式は、村山ら⁵⁾に従い、近似式を導入した。

$$T_{sk} = 36.3 - 0.055\beta h F_{cl}(36.3 - T_0) \quad -(4-4)$$

$$F_{cl} = \frac{1}{1 + 0.155 \times h \times I_{clo}} \quad -(4-5)$$

I_{clo} : 衣服の熱抵抗値[clo]、 $\beta = 1/(1 + 0.05hF_{cl})$

P_{sk} [Pa]は平均皮膚温度における飽和水蒸気圧で、式(4-6)による。

$$P_{sk} = 1,000 \cdot (a_{sk}T_{sk} + b_{sk}) \quad -(4-6)$$

a_{sk} と b_{sk} : 平均表皮温度における飽和水蒸気圧の線形近似に関する係数であり、 $a_{sk} = 0.314$ 及び $b_{sk} = -5.23$ とする。

低温下における皮膚表面からの温熱性の発汗等による身体の濡れ面積率 W_{rsW} は、松岡¹⁰⁾によって式(4-7)で表される。

$$W_{rsW} = \frac{(T_{sk} - 32.5)a + 0.5}{2.5a(35.5 - T_{sk})} \quad (0 \leq W_{rsW} \leq 1) \quad -(4-7)$$

a : 風速に僅かながら依存する係数であり、 $a = 0.7$

W_{rsW} : 気温 0°C以下かつ衣服の伝熱効率 $I_{clo} \leq 1.5$ において、風速に関わらず影響が微小であり、 $W_{rsW} = 0$ と扱うことができる。

流熱伝達率 h_c [W・m⁻²・°C⁻¹]は西ら¹¹⁾により、式(4-8)で算出される。

$$h_c = 8.61V_{fw}^{0.53} + 1.98V_a^{0.86} \quad -(4-8)$$

V_a : 風速[m/s]であり、 V_{fw} は風上方向の歩行速度[m/s]

本研究では歩行速度は考慮せず、 $V_{fw} = 0$

衣服の透湿度効率である F_{pcl} は、式(4-9)で示される。

$$F_{pcl} = \frac{1}{1 + 0.143h_c I_{clo}} \quad -(4-9)$$

なお、DLEについては、環境条件として、次の範囲での適用が推奨¹²⁾されている。

- ・ $T_a \leq 10.0^\circ\text{C}$
- ・ $0.4\text{m/s} \leq V_a \leq 18.0\text{m/s}$
- ・ $I_{clo} \geq 0.5\text{clo}$

提案関数においても、同範囲での適用を推奨するものとする。

(3) 限界滞在可能時間

筆者ら¹³⁾は、上述の結果を用いて、低体温症発症者の評価指標として、寒冷環境における限界曝露時間 DLE_F (Duration Limited Exposure in Frigid Environment)[h]を、式(4-10)で定義した。

$$DLE_F = DLE_B + DLE_C \quad -(4-10)$$

DLE_B : Duration Limited Exposure of a Body Rigidity (行動不能までの限界曝露時間) [h]

DLE_C : Duration Limited Exposure of a Cardiopulmonary Arrest (行動不能時間から心肺停止までの限界曝露時間) [h]

なお、低体温症の評価として中等度低体温症については、その判断に医療的な観点での見解が必要であるため、行動不能までの限界曝露時間を適用するだけでは、その評価が困難である。よって、本研究ではまず、心肺停止となる重度低体温症を対象としている。

DLE_B 及び DLE_C は、熱損失の限界値を表す指標 Q_{lim} (limit value for body heat loss)を用いて式(4-11)で表す。

$$DLE_{B,C} = \frac{Q_{lim_{B,C}}}{S} \quad -(4-11)$$

Q_{lim_B} : 行動不能までの熱損失限界値[kJ/m²]

Q_{lim_C} : 行動不能時間から心肺停止までの熱損失限界値[kJ/m²]

(4) 状況毎の熱損失限界値

衣服の熱抵抗の過不足については、Holmer¹⁴⁾により定義され、Olesen¹⁵⁾らにより Fig. 4.2 で代謝熱量 M 、作用温度 $T_0(=T_a)$ 及び衣服の熱抵抗 I_{clo} の間の関係が示されている、必要着衣量指数 IREQ (Required Clothing Insulation)を用いて評価した。

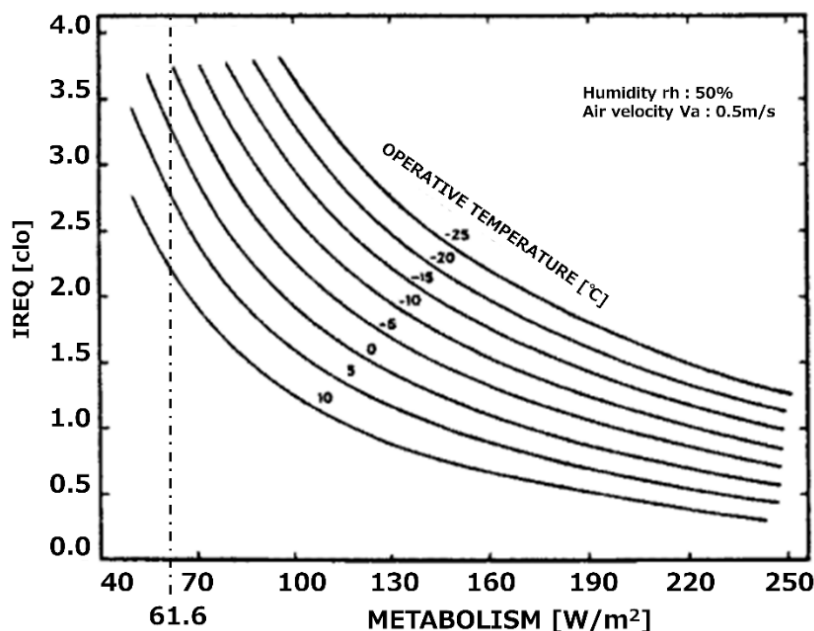


Fig. 4.2 身体の活動、作用温度と必要着衣量指数の関係
(B. W. Olesen¹⁵⁾ に著者一部加筆)

Q_{lim} 導出においては、被災者はその場に座り込んで移動等ができない状況を仮定しており、その際の代謝熱量はおおよそ 61.6 W/m^2 となる。

この時、 $V_a = 0.5 \text{ m/s}$ の微風環境下において、 $I_{clo} = 3.0$ で $T_a = 4.0$ 、 $I_{clo} = 2.5$ で $T_a = 8.0$ 程度が、対象衣服における熱抵抗の不足が生じる閾値となる。

本研究では、 $I_{clo} < 2.0$ とし、IREQの検証を省略した。これは、被害想定では、日常生活を送っている際に被災した者を対象とするため、極端な防寒具を着用していないことを根拠としている。また、 Q_{lim} は、ISO11079¹⁶⁾において、ある環境下において推奨される滞在に係る最大熱損失の限界値として 144 kJ/m^2 、激しい不快を感じる熱損失限界値として 174.5 kJ/m^2 に設定されている。

Q_{limB} を決定するため、説明変数を $1/S$ 、目的変数を各遭難者の行動不能までの時間として回帰分析を行った。式(4-11)より、回帰分析の切片は0とする。

内閣府¹⁷⁾は、「山岳遭難における体感温度と寒冷曝露から心肺停止時間」(Fig. 4.3)を掲載しており、この分析結果と式(4-3)を用いて、「行動不能までの限界曝露時間 DLE_B (Duration Limited Exposure of a Body Rigidity)」関数を構築する。

なお、簡易体感温度 -30°C 、寒冷曝露から心肺停止までの時間が2時間弱とされている標本については、外れ値として比較対象からは除外する。遭難時の風速は、 8m/s から 15m/s と仮定して、平均の 11.5m/s を採用した。また、内閣府の分析結果は山岳遭難における分析結果であるため、検証には、対象者が極寒地仕様の防寒着($I_{clo} = 3.0$ 相当)を着用した場合の DLE_B を採用するとともに、身体活動については、(遭難により動けず)座り込んだ状況として、代謝量 $M_a = 1.2$ を採用した。つまり、式(4-3)において環境温度 T_a 以外を固定することで、同服装、同身体活動下において、風速が同じ場合における行動不能までの熱損失限界値を回帰分析にて評価した。

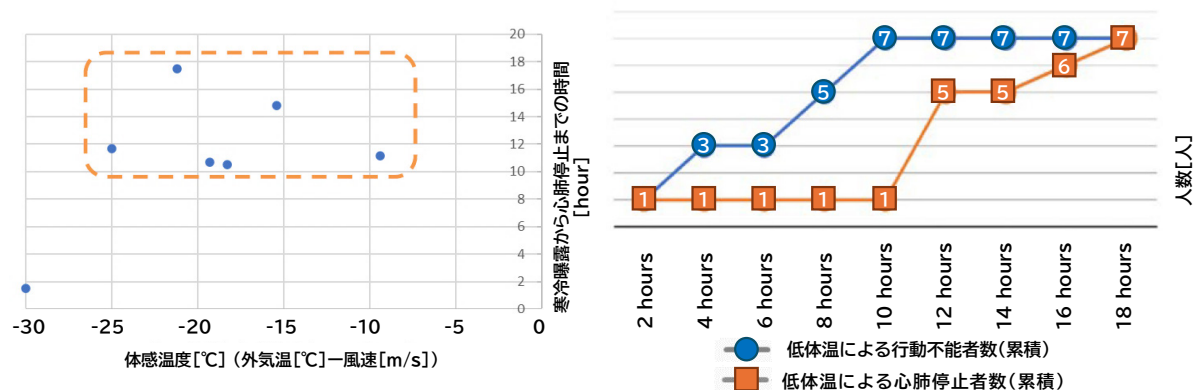


Fig. 4.3 山岳遭難における体感温度と寒冷曝露から行動不能・心肺停止時間¹⁷⁾

回帰分析の結果、重相関 $R = 0.9764$ 、 P -値 $= 0.0001621 < 0.05$ であり、回帰係数より、 $Q_{limB} = -227.5$ となった。式(4-11)及び Q_{limB} を用いて、 DLE_B 関数を構築した。 DLE_B 関数(黒点線)と、内閣府¹⁷⁾による寒冷曝露から行動不能までの猶予時間(■印)との関係をFig. 4.4に、パラメータセットをTable. 4.2に示す。

Table. 4.2 冬期・山岳遭難を想定したパラメータ

Index	Value	Remarks
M_a	1.2	(遭難により動けず) 座り込んだ状況
I_{clo}	3.0	登山用 (極寒地使用) の防寒着を着用

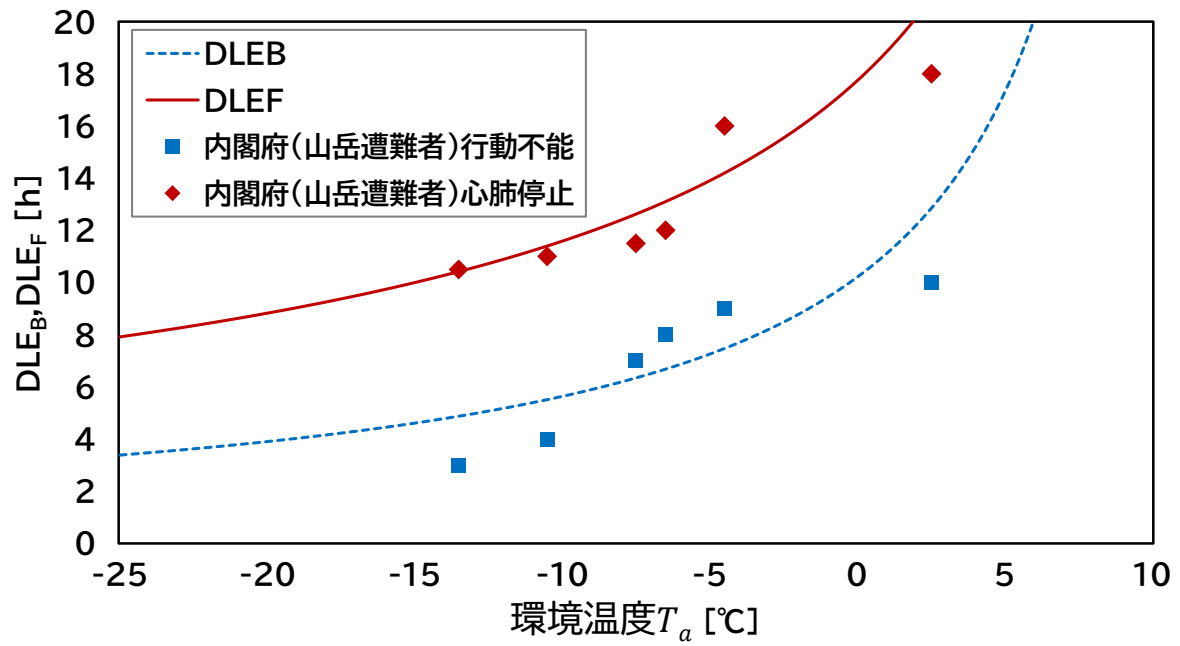


Fig. 4.4 DLE_B 関数 (黒点線) DLE_F 関数 (黒線) と寒冷曝露から心肺停止までの時間

次に、以下の原則に従って Q_{limC} 、 DLE_C を算出した。

人体は低体温症に陥り行動不能状態となると、交感神経の働きが急激に低下し、体温維持が困難となる。この時、代謝熱量 $M = 0$ と仮定して、心肺停止時間を推定する。

いま、偶発性低体温症ガイドライン 2018¹⁸⁾等を参照すると、低体温に陥った者は、体温が 32°C を下回ると行動不能に陥る。この時、低体温症による行動不能状態から心肺停止までの時間を対象とする。

前述の Q_{limB} 算出と同様に、説明変数を $1/S$ 、目的変数を各遭難者の行動不能から心肺停止までの時間として回帰分析を行った。結果、重相関 $R = 0.9723$ 、 $P - \text{値} = 0.000242 < 0.05$ であり、回帰係数より $Q_{limC} = -482.8$ 、式(4-11)より DLE_C 関数を構築した。

さらに、構築した DLE_B と DLE_C を用いて、式(4-10)より DLE_F を算出した。

$$\text{(再掲)} \quad DLE_F = DLE_B + DLE_C \quad \text{---(4-10)}$$

限界曝露時間を示す提案関数 DLE_F は、**Fig. 4.4**より、実データをよく表現していると言える。

ただし、ここで示した Q_{limB} 及び Q_{limC} は、日本人の平均的な体格に基づいて算出した熱損失の限界値である。他国でこの計算式を使用する場合、各国の平均体格に基づいて体表面積 A を変更した上で、 Q_{limB} 及び Q_{limC} を再計算する必要があることに留意する。

Table. 4.3 (参考) 本節パラメータによる気温・ I_{clo} ごとのDLE (1/7)

Ta,Iclo	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0
-25.0	2.21	2.42	2.64	2.85	3.07	3.29	3.51	3.73	3.95	4.18	4.40	4.63	4.86	5.08	5.31	5.55	5.78	6.01	6.25	6.48	6.72	6.96	7.20	7.45	7.69	7.94	8.19	8.44	8.69
-24.9	2.22	2.43	2.64	2.86	3.08	3.30	3.52	3.74	3.96	4.19	4.41	4.64	4.87	5.09	5.32	5.56	5.79	6.02	6.26	6.50	6.74	6.98	7.22	7.46	7.71	7.95	8.20	8.45	8.70
-24.8	2.22	2.43	2.65	2.86	3.08	3.30	3.52	3.75	3.97	4.19	4.42	4.65	4.87	5.10	5.33	5.57	5.80	6.04	6.27	6.51	6.75	6.99	7.23	7.48	7.72	7.97	8.22	8.47	8.72
-24.7	2.22	2.44	2.65	2.87	3.09	3.31	3.53	3.75	3.98	4.20	4.43	4.66	4.88	5.11	5.35	5.58	5.81	6.05	6.28	6.52	6.76	7.00	7.25	7.49	7.74	7.98	8.23	8.49	8.74
-24.6	2.23	2.44	2.66	2.88	3.09	3.31	3.54	3.77	3.98	4.21	4.44	4.66	4.89	5.12	5.36	5.59	5.82	6.06	6.30	6.53	6.77	7.02	7.26	7.50	7.75	8.00	8.25	8.50	8.76
-24.5	2.23	2.45	2.66	2.88	3.10	3.32	3.54	3.77	3.99	4.22	4.44	4.67	4.90	5.13	5.37	5.60	5.83	6.07	6.31	6.55	6.79	7.03	7.27	7.52	7.77	8.02	8.27	8.52	8.77
-24.4	2.24	2.45	2.67	2.89	3.11	3.33	3.55	3.77	4.00	4.23	4.45	4.68	4.91	5.14	5.38	5.61	5.85	6.08	6.32	6.56	6.80	7.04	7.29	7.53	7.78	8.03	8.28	8.54	8.79
-24.3	2.24	2.46	2.67	2.89	3.11	3.33	3.56	3.78	4.01	4.23	4.46	4.69	4.92	5.15	5.39	5.62	5.86	6.09	6.33	6.57	6.81	7.06	7.30	7.55	7.80	8.05	8.30	8.55	8.81
-24.2	2.25	2.46	2.68	2.90	3.12	3.34	3.56	3.79	4.01	4.24	4.47	4.70	4.93	5.16	5.40	5.63	5.87	6.11	6.35	6.59	6.83	7.07	7.32	7.56	7.81	8.06	8.32	8.57	8.83
-24.1	2.25	2.47	2.68	2.90	3.12	3.35	3.57	3.80	4.02	4.25	4.48	4.71	4.94	5.17	5.41	5.64	5.88	6.12	6.36	6.60	6.84	7.09	7.33	7.58	7.83	8.08	8.33	8.59	8.84
-24.0	2.25	2.47	2.69	2.91	3.13	3.35	3.58	3.80	4.03	4.26	4.49	4.72	4.95	5.18	5.42	5.65	5.89	6.13	6.37	6.61	6.85	7.10	7.35	7.59	7.84	8.10	8.35	8.60	8.86
-23.9	2.26	2.48	2.69	2.91	3.14	3.36	3.58	3.81	4.04	4.27	4.50	4.74	4.97	5.20	5.44	5.68	5.91	6.15	6.39	6.64	6.88	7.13	7.37	7.62	7.87	8.13	8.38	8.64	8.90
-23.8	2.26	2.48	2.70	2.92	3.14	3.37	3.59	3.82	4.05	4.27	4.50	4.74	4.97	5.20	5.44	5.68	5.91	6.15	6.39	6.64	6.88	7.13	7.37	7.62	7.87	8.13	8.38	8.64	8.91
-23.7	2.27	2.48	2.70	2.93	3.15	3.37	3.60	3.82	4.05	4.28	4.51	4.75	4.98	5.21	5.45	5.69	5.93	6.17	6.41	6.65	6.90	7.14	7.39	7.64	7.89	8.14	8.40	8.66	8.91
-23.6	2.27	2.49	2.71	2.93	3.15	3.38	3.60	3.83	4.06	4.29	4.52	4.75	4.99	5.22	5.46	5.70	5.94	6.18	6.42	6.66	6.91	7.16	7.40	7.65	7.91	8.16	8.42	8.67	8.93
-23.5	2.28	2.49	2.71	2.94	3.16	3.39	3.61	3.84	4.07	4.30	4.53	4.76	5.00	5.23	5.47	5.71	5.95	6.19	6.43	6.68	6.92	7.17	7.42	7.67	7.92	8.18	8.43	8.69	8.95
-23.4	2.28	2.50	2.72	2.94	3.17	3.39	3.62	3.85	4.08	4.31	4.54	4.77	5.01	5.24	5.48	5.72	5.96	6.20	6.45	6.69	6.94	7.18	7.43	7.68	7.94	8.19	8.45	8.71	8.97
-23.3	2.28	2.50	2.72	2.95	3.17	3.40	3.63	3.85	4.08	4.32	4.55	4.78	5.02	5.25	5.49	5.73	5.97	6.21	6.46	6.70	6.95	7.20	7.45	7.70	7.95	8.21	8.47	8.73	8.99
-23.2	2.29	2.51	2.73	2.95	3.18	3.40	3.63	3.86	4.09	4.32	4.56	4.79	5.03	5.26	5.50	5.74	5.98	6.23	6.47	6.72	6.96	7.21	7.46	7.72	7.97	8.23	8.48	8.74	9.01
-23.1	2.29	2.51	2.74	2.96	3.18	3.41	3.64	3.87	4.10	4.33	4.57	4.80	5.04	5.28	5.51	5.75	6.00	6.24	6.48	6.73	6.98	7.23	7.48	7.73	7.99	8.24	8.50	8.76	9.02
-23.0	2.30	2.52	2.74	2.97	3.19	3.42	3.65	3.88	4.11	4.34	4.58	4.81	5.05	5.29	5.53	5.77	6.01	6.25	6.50	6.74	6.99	7.24	7.49	7.75	8.00	8.26	8.52	8.78	9.04
-22.9	2.30	2.52	2.75	2.98	3.20	3.42	3.65	3.88	4.12	4.35	4.58	4.82	5.06	5.30	5.54	5.78	6.02	6.26	6.51	6.76	7.01	7.26	7.51	7.76	8.02	8.28	8.54	8.80	9.06
-22.8	2.31	2.53	2.75	2.98	3.20	3.43	3.66	3.89	4.12	4.36	4.59	4.84	5.08	5.32	5.56	5.80	6.04	6.29	6.54	6.78	7.03	7.27	7.52	7.77	8.03	8.29	8.55	8.81	9.08
-22.7	2.31	2.53	2.76	2.98	3.21	3.44	3.67	3.90	4.13	4.37	4.60	4.84	5.08	5.32	5.56	5.80	6.04	6.29	6.54	6.78	7.03	7.27	7.52	7.77	8.03	8.29	8.55	8.81	9.10
-22.6	2.32	2.54	2.76	2.99	3.22	3.45	3.68	3.91	4.14	4.38	4.61	4.85	5.09	5.33	5.57	5.81	6.06	6.30	6.55	6.80	7.05	7.30	7.55	7.81	8.07	8.33	8.59	8.85	9.12
-22.5	2.32	2.54	2.77	2.99	3.22	3.45	3.68	3.92	4.15	4.38	4.62	4.86	5.10	5.34	5.58	5.82	6.07	6.31	6.56	6.81	7.06	7.31	7.57	7.83	8.08	8.34	8.61	8.87	9.14
-22.4	2.32	2.55	2.77	3.00	3.23	3.46	3.69	3.92	4.16	4.39	4.63	4.87	5.11	5.35	5.59	5.84	6.09	6.33	6.58	6.83	7.08	7.33	7.58	7.84	8.10	8.36	8.62	8.89	9.15
-22.3	2.33	2.55	2.78	3.01	3.23	3.47	3.70	3.93	4.17	4.40	4.64	4.88	5.12	5.36	5.60	5.85	6.09	6.34	6.59	6.84	7.09	7.34	7.60	7.86	8.12	8.38	8.64	8.91	9.17
-22.2	2.33	2.56	2.78	3.01	3.24	3.47	3.70	3.94	4.17	4.41	4.65	4.89	5.13	5.37	5.61	5.86	6.10	6.35	6.60	6.85	7.11	7.36	7.62	7.87	8.13	8.39	8.66	8.92	9.19
-22.1	2.34	2.56	2.79	3.02	3.25	3.48	3.71	3.95	4.18	4.42	4.66	4.90	5.14	5.38	5.63	5.87	6.12	6.37	6.62	6.87	7.12	7.37	7.63	7.89	8.15	8.41	8.68	8.94	9.21
-22.0	2.34	2.57	2.80	3.02	3.25	3.49	3.72	3.95	4.19	4.43	4.67	4.91	5.15	5.39	5.64	5.88	6.13	6.38	6.63	6.88	7.13	7.39	7.65	7.91	8.17	8.43	8.69	8.96	9.23
-21.9	2.35	2.57	2.80	3.03	3.26	3.49	3.73	3.96	4.20	4.44	4.68	4.92	5.16	5.40	5.65	5.89	6.14	6.39	6.64	6.89	7.15	7.40	7.66	7.92	8.18	8.45	8.71	8.98	9.25
-21.8	2.35	2.58	2.81	3.04	3.27	3.50	3.73	3.97	4.21	4.45	4.69	4.93	5.17	5.41	5.66	5.91	6.15	6.40	6.66	6.91	7.16	7.42	7.68	7.94	8.20	8.46	8.73	9.00	9.27
-21.7	2.36	2.58	2.81	3.04	3.27	3.51	3.74	3.98	4.22	4.46	4.70	4.94	5.18	5.42	5.67	5.92	6.17	6.42	6.67	6.92	7.18	7.43	7.69	7.95	8.22	8.48	8.75	9.02	9.29
-21.6	2.36	2.59	2.82	3.05	3.28	3.51	3.75	3.99	4.22	4.46	4.70	4.95	5.19	5.44	5.68	5.93	6.18	6.43	6.68	6.94	7.19	7.45	7.71	7.97	8.23	8.50	8.77	9.04	9.31
-21.5	2.37	2.59	2.82	3.05	3.29	3.52	3.76	3.99	4.23	4.47	4.71	4.96	5.20	5.45	5.69	5.94	6.19	6.44	6.70	6.95	7.21	7.47	7.73	7.99	8.25	8.52	8.78	9.05	9.33
-21.4	2.37	2.60	2.83	3.06	3.29	3.53	3.76	4.00	4.24	4.48	4.72	4.97	5.21	5.46	5.71	5.95	6.20	6.46	6.71	6.97	7.22	7.48	7.74	8.00	8.27	8.53	8.80	9.07	9.35
-21.3	2.38	2.60	2.83	3.07	3.30	3.54	3.77	4.01	4.25	4.49	4.73	4.98	5.22	5.47	5.72	5.97	6.22	6.47	6.72	6.98	7.24	7.50	7.76	8.02	8.29	8.55	8.82	9.09	9.37
-21.2	2.38	2.61	2.84	3.07	3.31	3.54	3.78	4.02	4.26	4.50	4.74	4.99	5.23	5.48	5.73	5.98	6.23	6.48	6.74	6.99	7.25	7.51	7.77	8.04	8.30	8.57	8.84	9.11	9.39
-21.1	2.39	2.61	2.85	3.08	3.31	3.55	3.79	4.03	4.27	4.51	4.75	5.00	5.24	5.49	5.74	5.99	6.24	6.50	6.75	7.01	7.27	7.53	7.79	8.05	8.32	8.59	8.86	9.13	9.41
-21.0	2.39	2.62	2.85	3.08	3.32	3.56	3.80	4.04	4.28	4.52	4.76	5.01	5.25	5.50	5.75	6.00	6.26	6.51	6.77	7.02	7.28	7.54	7.81	8.07	8.34	8.61	8.88	9.15	9.43
-20.9	2.40	2.63	2.86	3.09	3.33	3.57	3.81	4.05	4.29	4.54	4.78	5.03	5.28	5.53	5.78	6.03	6.28	6.54	6.79	7.05	7.31	7.57	7.84	8.10	8.37	8.64	8.91	9.19	9.47
-20.8	2.40	2.63	2.86	3.10	3.33	3.57	3.81	4.05	4.29	4.54	4.78	5.03	5.28	5.53	5.78	6.03	6.28	6.54	6.79	7.05	7.31	7.57	7.84	8.10	8.37	8.64	8.91	9.19	9.47
-20.7	2.40	2.64	2.87	3.10	3.34	3.58	3.82	4.06	4.30	4.55	4.79	5.04	5.29	5.54	5.79	6.04	6.29												

Table. 4.3 (参考) 本節パラメータによる気温・ I_{clo} ごとのDLE (2/7)

$T_a \backslash I_{clo}$	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0
-20.0	2.44	2.67	2.91	3.15	3.39	3.63	3.87	4.12	4.36	4.61	4.86	5.11	5.36	5.62	5.87	6.13	6.39	6.65	6.91	7.17	7.44	7.70	7.97	8.24	8.51	8.79	9.07	9.35	9.63
-19.9	2.44	2.68	2.92	3.15	3.40	3.64	3.88	4.13	4.37	4.62	4.87	5.12	5.38	5.63	5.88	6.14	6.40	6.66	6.92	7.19	7.45	7.72	7.99	8.26	8.53	8.81	9.09	9.37	9.65
-19.8	2.45	2.68	2.92	3.16	3.40	3.65	3.89	4.14	4.38	4.63	4.88	5.13	5.39	5.64	5.90	6.15	6.41	6.67	6.94	7.20	7.47	7.74	8.01	8.28	8.55	8.83	9.11	9.39	9.67
-19.7	2.45	2.69	2.93	3.17	3.41	3.65	3.90	4.14	4.39	4.64	4.89	5.14	5.40	5.65	5.91	6.17	6.43	6.69	6.95	7.22	7.48	7.75	8.02	8.29	8.57	8.85	9.13	9.41	9.69
-19.6	2.46	2.70	2.94	3.17	3.42	3.66	3.91	4.15	4.40	4.65	4.90	5.15	5.41	5.66	5.92	6.18	6.44	6.70	6.97	7.23	7.50	7.77	8.04	8.31	8.59	8.87	9.15	9.43	9.71
-19.5	2.46	2.70	2.94	3.18	3.42	3.67	3.91	4.16	4.41	4.66	4.91	5.17	5.42	5.68	5.93	6.19	6.45	6.72	6.98	7.25	7.52	7.78	8.06	8.33	8.61	8.88	9.16	9.45	9.73
-19.4	2.47	2.71	2.95	3.19	3.43	3.68	3.92	4.17	4.42	4.67	4.92	5.18	5.43	5.69	5.95	6.21	6.47	6.73	7.00	7.26	7.53	7.80	8.07	8.35	8.62	8.90	9.18	9.47	9.75
-19.3	2.47	2.71	2.95	3.19	3.44	3.68	3.93	4.18	4.43	4.68	4.94	5.19	5.44	5.70	5.96	6.22	6.48	6.75	7.01	7.28	7.55	7.82	8.09	8.37	8.64	8.92	9.20	9.49	9.78
-19.2	2.48	2.72	2.96	3.20	3.45	3.69	3.94	4.19	4.44	4.69	4.94	5.20	5.45	5.71	5.97	6.23	6.50	6.76	7.03	7.29	7.56	7.84	8.11	8.38	8.66	8.94	9.22	9.51	9.80
-19.1	2.49	2.72	2.96	3.21	3.45	3.70	3.95	4.20	4.45	4.70	4.95	5.21	5.47	5.72	5.98	6.25	6.51	6.77	7.04	7.31	7.58	7.85	8.13	8.40	8.68	8.96	9.24	9.53	9.82
-19.0	2.49	2.73	2.97	3.21	3.46	3.71	3.96	4.21	4.46	4.71	4.96	5.22	5.48	5.74	6.00	6.26	6.52	6.79	7.06	7.33	7.60	7.87	8.14	8.42	8.70	8.98	9.26	9.55	9.84
-18.9	2.50	2.74	2.98	3.22	3.47	3.71	3.96	4.21	4.47	4.72	4.97	5.23	5.49	5.75	6.01	6.27	6.54	6.80	7.07	7.34	7.61	7.89	8.16	8.44	8.72	9.00	9.28	9.57	9.86
-18.8	2.50	2.74	2.98	3.23	3.47	3.72	3.97	4.22	4.48	4.73	4.99	5.24	5.50	5.76	6.02	6.29	6.55	6.82	7.09	7.36	7.63	7.90	8.18	8.46	8.74	9.02	9.31	9.59	9.88
-18.7	2.51	2.75	2.99	3.23	3.48	3.73	3.98	4.23	4.49	4.74	5.00	5.25	5.51	5.77	6.04	6.30	6.57	6.83	7.10	7.37	7.65	7.92	8.20	8.48	8.76	9.04	9.33	9.61	9.90
-18.6	2.51	2.75	3.00	3.24	3.49	3.74	3.99	4.24	4.49	4.75	5.01	5.26	5.52	5.79	6.05	6.31	6.58	6.85	7.12	7.39	7.66	7.94	8.21	8.49	8.78	9.06	9.35	9.63	9.93
-18.5	2.52	2.76	3.00	3.25	3.50	3.75	4.00	4.25	4.50	4.76	5.02	5.28	5.54	5.80	6.06	6.33	6.59	6.86	7.13	7.40	7.68	7.95	8.23	8.51	8.80	9.08	9.37	9.66	9.95
-18.4	2.52	2.76	3.01	3.26	3.50	3.75	4.01	4.26	4.51	4.77	5.03	5.29	5.55	5.81	6.07	6.34	6.61	6.88	7.15	7.42	7.70	7.97	8.25	8.53	8.81	9.10	9.39	9.68	9.97
-18.3	2.53	2.77	3.02	3.26	3.51	3.76	4.01	4.27	4.52	4.78	5.04	5.30	5.56	5.82	6.09	6.35	6.62	6.89	7.16	7.44	7.71	7.99	8.27	8.55	8.83	9.12	9.41	9.70	9.99
-18.2	2.53	2.78	3.02	3.27	3.52	3.77	4.02	4.28	4.53	4.79	5.05	5.31	5.57	5.84	6.10	6.37	6.64	6.91	7.18	7.45	7.73	8.01	8.29	8.57	8.85	9.14	9.43	9.72	10.01
-18.1	2.54	2.78	3.03	3.28	3.53	3.78	4.03	4.29	4.54	4.80	5.06	5.32	5.58	5.85	6.11	6.38	6.65	6.92	7.19	7.47	7.75	8.02	8.30	8.59	8.87	9.16	9.45	9.74	10.04
-18.0	2.54	2.79	3.03	3.28	3.53	3.79	4.04	4.30	4.55	4.81	5.07	5.33	5.60	5.86	6.13	6.40	6.67	6.94	7.21	7.49	7.76	8.04	8.32	8.61	8.89	9.18	9.47	9.76	10.06
-17.9	2.55	2.79	3.04	3.29	3.54	3.79	4.05	4.31	4.56	4.82	5.08	5.34	5.61	5.87	6.14	6.41	6.68	6.95	7.23	7.50	7.78	8.06	8.34	8.63	8.91	9.20	9.49	9.79	10.08
-17.8	2.55	2.80	3.05	3.30	3.55	3.80	4.06	4.31	4.57	4.83	5.09	5.36	5.62	5.89	6.15	6.42	6.69	6.97	7.24	7.52	7.80	8.08	8.36	8.64	8.93	9.22	9.51	9.81	10.10
-17.7	2.56	2.81	3.05	3.30	3.56	3.81	4.07	4.32	4.58	4.84	5.10	5.37	5.63	5.90	6.17	6.44	6.71	6.98	7.26	7.53	7.81	8.10	8.38	8.66	8.95	9.24	9.53	9.83	10.13
-17.6	2.57	2.81	3.06	3.31	3.56	3.82	4.08	4.33	4.59	4.85	5.12	5.38	5.65	5.91	6.18	6.45	6.72	7.00	7.27	7.55	7.83	8.11	8.40	8.68	8.97	9.26	9.56	9.85	10.15
-17.5	2.57	2.82	3.07	3.32	3.57	3.83	4.08	4.34	4.60	4.86	5.13	5.39	5.66	5.93	6.19	6.47	6.74	7.01	7.29	7.57	7.85	8.13	8.42	8.70	8.99	9.28	9.58	9.87	10.17
-17.4	2.58	2.82	3.07	3.33	3.58	3.84	4.09	4.35	4.61	4.87	5.14	5.40	5.67	5.94	6.21	6.48	6.75	7.03	7.31	7.58	7.87	8.15	8.43	8.72	9.01	9.30	9.60	9.90	10.20
-17.3	2.58	2.83	3.08	3.33	3.59	3.84	4.10	4.36	4.62	4.89	5.15	5.42	5.68	5.95	6.22	6.49	6.77	7.04	7.32	7.60	7.88	8.17	8.45	8.74	9.03	9.32	9.62	9.92	10.22
-17.2	2.59	2.84	3.09	3.34	3.60	3.85	4.11	4.37	4.63	4.90	5.16	5.43	5.69	5.96	6.24	6.51	6.78	7.06	7.34	7.62	7.90	8.19	8.47	8.76	9.05	9.35	9.64	9.94	10.24
-17.1	2.59	2.84	3.09	3.35	3.60	3.86	4.12	4.38	4.64	4.91	5.17	5.44	5.71	5.98	6.25	6.52	6.80	7.08	7.35	7.64	7.92	8.20	8.49	8.78	9.07	9.37	9.66	9.96	10.27
-17.0	2.60	2.85	3.10	3.36	3.61	3.87	4.13	4.39	4.65	4.92	5.18	5.45	5.72	5.99	6.26	6.54	6.81	7.09	7.37	7.65	7.94	8.22	8.51	8.80	9.09	9.39	9.69	9.99	10.29
-16.9	2.60	2.85	3.11	3.36	3.62	3.88	4.14	4.40	4.66	4.93	5.19	5.46	5.73	6.00	6.28	6.55	6.83	7.11	7.39	7.67	7.95	8.24	8.53	8.82	9.11	9.41	9.71	10.01	10.31
-16.8	2.61	2.86	3.11	3.37	3.63	3.89	4.15	4.41	4.67	4.94	5.21	5.47	5.75	6.02	6.29	6.57	6.84	7.12	7.40	7.69	7.97	8.26	8.55	8.84	9.13	9.43	9.73	10.03	10.34
-16.7	2.62	2.87	3.12	3.38	3.64	3.89	4.16	4.42	4.68	4.95	5.22	5.49	5.76	6.03	6.31	6.58	6.86	7.14	7.42	7.70	7.99	8.28	8.57	8.86	9.15	9.45	9.75	10.05	10.36
-16.6	2.62	2.87	3.13	3.38	3.64	3.90	4.17	4.43	4.69	4.96	5.23	5.50	5.77	6.04	6.32	6.60	6.87	7.15	7.44	7.72	8.01	8.30	8.59	8.88	9.18	9.47	9.77	10.08	10.38
-16.5	2.63	2.88	3.13	3.39	3.65	3.91	4.17	4.44	4.70	4.97	5.24	5.51	5.78	6.06	6.33	6.61	6.89	7.17	7.45	7.74	8.03	8.31	8.61	8.90	9.20	9.49	9.80	10.10	10.41
-16.4	2.63	2.89	3.14	3.40	3.66	3.92	4.18	4.45	4.72	4.98	5.25	5.52	5.80	6.07	6.35	6.63	6.91	7.19	7.47	7.76	8.04	8.33	8.63	8.92	9.22	9.52	9.82	10.12	10.43
-16.3	2.64	2.89	3.15	3.41	3.67	3.93	4.19	4.46	4.73	4.99	5.26	5.54	5.81	6.08	6.36	6.64	6.92	7.20	7.49	7.77	8.06	8.35	8.65	8.94	9.24	9.54	9.84	10.15	10.45
-16.2	2.64	2.90	3.16	3.41	3.68	3.94	4.20	4.47	4.74	5.01	5.28	5.55	5.82	6.10	6.38	6.66	6.94	7.22	7.50	7.79	8.08	8.37	8.67	8.96	9.26	9.56	9.86	10.17	10.48
-16.1	2.65	2.91	3.16	3.42	3.68	3.95	4.21	4.48	4.75	5.02	5.29	5.56	5.84	6.11	6.39	6.67	6.95	7.24	7.52	7.81	8.10	8.39	8.68	8.98	9.28	9.58	9.89	10.19	10.50
-16.0	2.66	2.91	3.17	3.43	3.69	3.96	4.22	4.49	4.76	5.03	5.30	5.57	5.85	6.13	6.40	6.69	6.97	7.25	7.54	7.83	8.14	8.43	8.72	9.02	9.32	9.63	9.93	10.24	10.55
-15.9	2.66	2.92	3.18	3.44	3.70	3.96	4.23	4.50	4.77	5.04	5.31	5.59	5.86	6.14	6.42	6.70	6.98	7.27	7.56	7.84	8.14	8.45	8.74	9.04	9.34	9.65	9.96	10.26	10.58
-15.8	2.67	2.92	3.18	3.45	3.71	3.97	4.24	4.51	4.78	5.05	5.32	5.60	5.88	6.15	6.43	6.72	7.00	7.28	7.57	7.86	8.16	8.45	8.74	9.04	9.34	9.65	9.96	10.26	10.58
-15.7	2.67	2.93	3.19	3.45	3.72	3.98	4.25	4.52	4.79	5.06	5.34	5.61	5.89																

Table. 4.3 (参考) 本節パラメータによる気温・ I_{clo} ごとのDLE (3/7)

Ta\Iclo	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0
-15.0	2.72	2.98	3.24	3.51	3.78	4.05	4.32	4.59	4.87	5.14	5.42	5.70	5.98	6.27	6.55	6.84	7.13	7.42	7.71	8.01	8.31	8.61	8.91	9.21	9.52	9.83	10.14	10.46	10.78
-14.9	2.72	2.98	3.25	3.52	3.78	4.06	4.33	4.60	4.88	5.15	5.43	5.71	6.00	6.28	6.57	6.86	7.15	7.44	7.73	8.03	8.33	8.63	8.93	9.23	9.54	9.85	10.17	10.48	10.80
-14.8	2.73	2.99	3.26	3.52	3.79	4.06	4.34	4.61	4.89	5.17	5.45	5.73	6.01	6.30	6.58	6.87	7.16	7.45	7.75	8.05	8.34	8.65	8.95	9.26	9.56	9.88	10.19	10.51	10.83
-14.7	2.73	3.00	3.26	3.53	3.80	4.07	4.35	4.62	4.90	5.18	5.46	5.74	6.02	6.31	6.60	6.89	7.18	7.47	7.77	8.06	8.36	8.67	8.97	9.28	9.59	9.90	10.21	10.53	10.85
-14.6	2.74	3.01	3.27	3.54	3.81	4.08	4.36	4.63	4.91	5.19	5.47	5.75	6.04	6.32	6.61	6.90	7.19	7.49	7.79	8.08	8.38	8.69	8.99	9.30	9.61	9.92	10.24	10.56	10.88
-14.5	2.75	3.02	3.28	3.55	3.82	4.09	4.37	4.64	4.92	5.20	5.47	5.75	6.05	6.34	6.63	6.92	7.21	7.51	7.80	8.10	8.40	8.71	9.01	9.32	9.63	9.95	10.26	10.58	10.91
-14.4	2.75	3.02	3.29	3.56	3.83	4.10	4.38	4.65	4.93	5.21	5.50	5.78	6.07	6.35	6.64	6.94	7.23	7.52	7.82	8.12	8.42	8.73	9.03	9.34	9.66	9.97	10.29	10.61	10.93
-14.3	2.76	3.03	3.29	3.56	3.84	4.11	4.39	4.67	4.95	5.23	5.51	5.79	6.08	6.37	6.66	6.95	7.25	7.54	7.84	8.14	8.44	8.75	9.06	9.37	9.68	9.99	10.31	10.63	10.96
-14.2	2.77	3.03	3.30	3.57	3.85	4.12	4.40	4.68	4.96	5.24	5.52	5.81	6.10	6.38	6.67	6.97	7.26	7.56	7.86	8.16	8.46	8.77	9.08	9.39	9.70	10.02	10.34	10.66	10.98
-14.1	2.77	3.04	3.31	3.58	3.85	4.13	4.41	4.69	4.97	5.25	5.54	5.82	6.11	6.40	6.69	6.98	7.28	7.58	7.88	8.18	8.48	8.79	9.10	9.41	9.72	10.04	10.36	10.68	11.01
-14.0	2.78	3.05	3.32	3.59	3.86	4.14	4.42	4.70	4.98	5.26	5.55	5.84	6.12	6.41	6.71	7.00	7.30	7.59	7.90	8.20	8.50	8.81	9.12	9.43	9.75	10.07	10.39	10.71	11.04
-13.9	2.79	3.06	3.33	3.60	3.87	4.15	4.43	4.71	4.99	5.28	5.56	5.85	6.14	6.43	6.72	7.02	7.31	7.61	7.91	8.22	8.52	8.83	9.14	9.46	9.77	10.09	10.41	10.74	11.06
-13.8	2.79	3.06	3.33	3.61	3.88	4.16	4.44	4.72	5.00	5.29	5.57	5.86	6.15	6.44	6.74	7.03	7.33	7.63	7.93	8.24	8.54	8.85	9.16	9.48	9.79	10.11	10.44	10.76	11.09
-13.7	2.80	3.07	3.34	3.61	3.89	4.17	4.45	4.73	5.01	5.30	5.59	5.88	6.17	6.46	6.75	7.05	7.35	7.65	7.95	8.26	8.56	8.87	9.19	9.50	9.82	10.14	10.46	10.79	11.12
-13.6	2.81	3.08	3.35	3.62	3.90	4.18	4.46	4.74	5.03	5.31	5.60	5.89	6.18	6.47	6.77	7.07	7.37	7.67	7.97	8.28	8.58	8.89	9.21	9.52	9.84	10.16	10.49	10.81	11.14
-13.5	2.81	3.08	3.36	3.63	3.91	4.19	4.47	4.75	5.04	5.33	5.61	5.90	6.20	6.49	6.79	7.08	7.38	7.69	7.99	8.30	8.60	8.92	9.23	9.55	9.87	10.19	10.51	10.84	11.17
-13.4	2.82	3.09	3.36	3.64	3.92	4.20	4.48	4.76	5.05	5.34	5.63	5.92	6.21	6.51	6.80	7.10	7.40	7.70	8.01	8.32	8.63	8.94	9.25	9.57	9.89	10.21	10.54	10.87	11.20
-13.3	2.82	3.10	3.37	3.65	3.93	4.21	4.49	4.78	5.06	5.35	5.64	5.93	6.23	6.52	6.82	7.12	7.42	7.72	8.03	8.34	8.65	8.96	9.27	9.59	9.91	10.24	10.56	10.89	11.23
-13.2	2.83	3.10	3.38	3.66	3.94	4.22	4.50	4.79	5.07	5.36	5.65	5.95	6.24	6.54	6.83	7.13	7.44	7.74	8.05	8.36	8.67	8.98	9.30	9.62	9.94	10.26	10.59	10.92	11.25
-13.1	2.84	3.11	3.39	3.67	3.95	4.23	4.51	4.80	5.09	5.38	5.67	5.96	6.26	6.55	6.85	7.15	7.45	7.76	8.07	8.38	8.69	9.00	9.32	9.64	9.96	10.29	10.62	10.95	11.28
-13.0	2.84	3.12	3.40	3.67	3.96	4.24	4.52	4.81	5.10	5.39	5.68	5.97	6.27	6.57	6.87	7.17	7.47	7.78	8.09	8.40	8.71	9.02	9.34	9.66	9.99	10.31	10.64	10.97	11.31
-12.9	2.85	3.13	3.40	3.68	3.97	4.25	4.53	4.82	5.11	5.40	5.69	5.99	6.29	6.58	6.88	7.19	7.49	7.80	8.11	8.42	8.73	9.05	9.36	9.69	10.01	10.34	10.67	11.00	11.34
-12.8	2.86	3.13	3.41	3.69	3.97	4.26	4.55	4.84	5.12	5.41	5.71	6.00	6.30	6.60	6.90	7.20	7.51	7.82	8.13	8.44	8.75	9.07	9.39	9.71	10.03	10.36	10.69	11.03	11.36
-12.7	2.87	3.14	3.42	3.70	3.98	4.27	4.56	4.84	5.14	5.43	5.72	6.02	6.32	6.62	6.92	7.22	7.53	7.83	8.14	8.46	8.77	9.09	9.41	9.73	10.06	10.39	10.72	11.05	11.39
-12.6	2.87	3.15	3.43	3.71	3.99	4.28	4.57	4.86	5.15	5.44	5.74	6.03	6.33	6.63	6.93	7.24	7.54	7.85	8.16	8.48	8.79	9.11	9.43	9.76	10.08	10.41	10.75	11.08	11.42
-12.5	2.88	3.16	3.44	3.72	4.00	4.29	4.58	4.87	5.16	5.45	5.75	6.05	6.35	6.65	6.95	7.26	7.56	7.87	8.18	8.50	8.82	9.13	9.46	9.78	10.11	10.44	10.77	11.11	11.45
-12.4	2.89	3.16	3.44	3.73	4.01	4.30	4.59	4.88	5.17	5.47	5.76	6.06	6.36	6.66	6.97	7.27	7.58	7.89	8.20	8.52	8.84	9.16	9.48	9.81	10.13	10.46	10.80	11.14	11.48
-12.3	2.89	3.17	3.45	3.74	4.02	4.31	4.60	4.89	5.19	5.48	5.78	6.08	6.38	6.68	6.98	7.29	7.60	7.91	8.22	8.54	8.86	9.18	9.50	9.83	10.16	10.49	10.83	11.16	11.51
-12.2	2.90	3.18	3.46	3.75	4.03	4.32	4.61	4.90	5.20	5.49	5.79	6.09	6.39	6.70	7.00	7.31	7.62	7.93	8.24	8.56	8.88	9.20	9.53	9.85	10.18	10.52	10.85	11.19	11.53
-12.1	2.91	3.19	3.47	3.75	4.04	4.33	4.62	4.92	5.21	5.51	5.81	6.11	6.41	6.71	7.02	7.33	7.64	7.95	8.26	8.58	8.90	9.22	9.55	9.88	10.21	10.54	10.88	11.22	11.56
-12.0	2.91	3.19	3.48	3.76	4.05	4.34	4.63	4.93	5.22	5.52	5.82	6.12	6.42	6.73	7.04	7.34	7.66	7.97	8.29	8.60	8.92	9.25	9.57	9.90	10.23	10.57	10.91	11.25	11.59
-11.9	2.92	3.20	3.49	3.77	4.06	4.35	4.64	4.94	5.24	5.53	5.84	6.14	6.44	6.75	7.05	7.36	7.67	7.99	8.31	8.62	8.95	9.27	9.60	9.93	10.26	10.60	10.93	11.28	11.62
-11.8	2.93	3.21	3.49	3.78	4.07	4.36	4.66	4.95	5.25	5.55	5.85	6.15	6.46	6.76	7.07	7.38	7.69	8.01	8.33	8.65	8.97	9.29	9.62	9.95	10.29	10.62	10.96	11.30	11.65
-11.7	2.93	3.22	3.50	3.79	4.08	4.37	4.67	4.96	5.26	5.56	5.86	6.17	6.47	6.78	7.09	7.40	7.71	8.03	8.35	8.67	8.99	9.32	9.65	9.98	10.31	10.65	10.99	11.33	11.68
-11.6	2.94	3.23	3.51	3.80	4.09	4.38	4.68	4.98	5.27	5.57	5.88	6.18	6.49	6.80	7.11	7.42	7.73	8.05	8.37	8.69	9.01	9.34	9.67	10.00	10.34	10.68	11.02	11.36	11.71
-11.5	2.95	3.23	3.52	3.81	4.10	4.40	4.69	4.99	5.29	5.59	5.89	6.20	6.50	6.81	7.12	7.44	7.75	8.07	8.39	8.71	9.04	9.36	9.69	10.03	10.36	10.70	11.04	11.39	11.74
-11.4	2.96	3.24	3.53	3.82	4.11	4.41	4.70	5.00	5.30	5.60	5.91	6.21	6.52	6.83	7.14	7.45	7.77	8.09	8.41	8.73	9.06	9.39	9.72	10.05	10.39	10.73	11.07	11.42	11.77
-11.3	2.96	3.25	3.54	3.83	4.12	4.42	4.71	5.01	5.31	5.62	5.92	6.23	6.54	6.85	7.16	7.47	7.79	8.11	8.43	8.75	9.08	9.41	9.74	10.08	10.42	10.76	11.10	11.45	11.80
-11.2	2.97	3.26	3.55	3.84	4.13	4.43	4.73	5.03	5.33	5.63	5.94	6.24	6.55	6.86	7.18	7.49	7.81	8.13	8.45	8.78	9.10	9.43	9.77	10.10	10.44	10.78	11.13	11.48	11.83
-11.1	2.98	3.27	3.56	3.85	4.14	4.44	4.74	5.04	5.34	5.64	5.95	6.26	6.57	6.88	7.19	7.51	7.83	8.15	8.47	8.80	9.13	9.46	9.79	10.13	10.47	10.81	11.16	11.51	11.86
-11.0	2.99	3.27	3.56	3.86	4.15	4.45	4.75	5.05	5.35	5.66	5.96	6.27	6.58	6.90	7.21	7.53	7.85	8.17	8.49	8.82	9.15	9.48	9.82	10.15	10.49	10.84	11.19	11.54	11.89
-10.9	2.99	3.28	3.57	3.87	4.16	4.46	4.76	5.06	5.37	5.67	5.98	6.29	6.60	6.91	7.23	7.55	7.87	8.19	8.52	8.84	9.17	9.51	9.84	10.18	10.52	10.87	11.21	11.56	11.92
-10.8	3.00	3.29	3.58	3.88	4.17	4.47	4.77	5.08	5.38	5.69	5.99	6.30	6.62	6.93	7.25	7.57	7.89	8.21	8.54	8.86	9.20	9.53	9.87	10.21	10.55	10.89			

Table. 4.3 (参考) 本節パラメータによる気温・ I_{clo} ごとのDLE (4/7)

$T_a \cdot I_{clo}$	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0
-10.0	3.06	3.36	3.65	3.96	4.26	4.56	4.87	5.18	5.49	5.80	6.12	6.43	6.75	7.07	7.40	7.72	8.05	8.38	8.71	9.05	9.39	9.73	10.07	10.42	10.77	11.12	11.48	11.84	12.20
-9.9	3.07	3.36	3.66	3.97	4.27	4.57	4.88	5.19	5.50	5.82	6.13	6.45	6.77	7.09	7.42	7.74	8.07	8.40	8.73	9.07	9.41	9.75	10.10	10.44	10.79	11.15	11.51	11.87	12.23
-9.8	3.08	3.37	3.67	3.98	4.28	4.59	4.89	5.21	5.52	5.83	6.15	6.47	6.79	7.11	7.43	7.76	8.09	8.42	8.76	9.09	9.43	9.78	10.12	10.47	10.82	11.18	11.54	11.90	12.26
-9.7	3.08	3.38	3.68	3.99	4.29	4.60	4.91	5.22	5.53	5.85	6.16	6.48	6.80	7.13	7.45	7.78	8.11	8.44	8.78	9.12	9.46	9.80	10.15	10.50	10.85	11.21	11.57	11.93	12.29
-9.6	3.09	3.39	3.69	4.00	4.30	4.61	4.92	5.23	5.55	5.86	6.18	6.50	6.82	7.15	7.47	7.80	8.13	8.47	8.80	9.14	9.48	9.83	10.17	10.53	10.88	11.24	11.60	11.96	12.33
-9.5	3.10	3.40	3.70	4.01	4.31	4.62	4.93	5.25	5.56	5.88	6.20	6.52	6.84	7.16	7.49	7.82	8.15	8.49	8.83	9.16	9.51	9.85	10.20	10.55	10.91	11.27	11.63	11.99	12.36
-9.4	3.11	3.41	3.71	4.02	4.32	4.63	4.95	5.26	5.57	5.89	6.21	6.53	6.86	7.18	7.51	7.84	8.17	8.51	8.85	9.19	9.53	9.88	10.23	10.58	10.94	11.29	11.66	12.02	12.39
-9.3	3.12	3.42	3.72	4.03	4.33	4.65	4.96	5.27	5.59	5.91	6.23	6.55	6.87	7.20	7.53	7.86	8.20	8.53	8.87	9.21	9.56	9.90	10.25	10.61	10.96	11.32	11.69	12.05	12.42
-9.2	3.12	3.43	3.73	4.04	4.35	4.66	4.97	5.29	5.60	5.92	6.24	6.57	6.89	7.22	7.55	7.88	8.22	8.55	8.89	9.24	9.58	9.93	10.28	10.64	10.99	11.35	11.72	12.09	12.46
-9.1	3.13	3.43	3.74	4.05	4.36	4.67	4.98	5.30	5.62	5.94	6.26	6.58	6.91	7.24	7.57	7.90	8.24	8.58	8.92	9.26	9.61	9.96	10.31	10.66	11.02	11.38	11.75	12.12	12.49
-9.0	3.14	3.44	3.75	4.06	4.37	4.68	5.00	5.31	5.63	5.95	6.28	6.60	6.93	7.26	7.59	7.92	8.26	8.60	8.94	9.29	9.63	9.98	10.34	10.69	11.05	11.41	11.78	12.15	12.52
-8.9	3.15	3.45	3.76	4.07	4.38	4.69	5.01	5.33	5.65	5.97	6.29	6.62	6.95	7.28	7.61	7.94	8.28	8.62	8.96	9.31	9.66	10.01	10.36	10.72	11.08	11.44	11.81	12.18	12.56
-8.8	3.16	3.46	3.77	4.08	4.39	4.71	5.02	5.34	5.66	5.98	6.31	6.64	6.97	7.30	7.63	7.97	8.30	8.64	8.99	9.33	9.68	10.04	10.39	10.75	11.11	11.47	11.84	12.21	12.59
-8.7	3.16	3.47	3.78	4.09	4.40	4.72	5.04	5.36	5.68	6.00	6.33	6.65	6.98	7.32	7.65	7.99	8.33	8.67	9.01	9.36	9.71	10.06	10.42	10.78	11.14	11.51	11.87	12.25	12.62
-8.6	3.17	3.48	3.79	4.10	4.41	4.73	5.05	5.37	5.69	6.02	6.34	6.67	7.00	7.33	7.67	8.01	8.35	8.69	9.04	9.38	9.73	10.09	10.45	10.81	11.17	11.54	11.91	12.28	12.66
-8.5	3.18	3.49	3.80	4.11	4.43	4.74	5.06	5.38	5.71	6.03	6.36	6.69	7.02	7.35	7.69	8.03	8.37	8.71	9.06	9.41	9.76	10.12	10.47	10.83	11.20	11.57	11.94	12.31	12.69
-8.4	3.19	3.50	3.81	4.12	4.44	4.76	5.08	5.40	5.72	6.05	6.38	6.71	7.04	7.37	7.71	8.05	8.39	8.74	9.08	9.43	9.79	10.14	10.50	10.86	11.23	11.60	11.97	12.35	12.72
-8.3	3.20	3.51	3.82	4.13	4.45	4.77	5.09	5.41	5.74	6.06	6.39	6.72	7.06	7.39	7.73	8.07	8.41	8.76	9.11	9.46	9.81	10.17	10.53	10.89	11.26	11.63	12.00	12.38	12.76
-8.2	3.21	3.52	3.83	4.14	4.46	4.78	5.10	5.43	5.75	6.08	6.41	6.74	7.08	7.41	7.75	8.09	8.44	8.78	9.13	9.48	9.84	10.20	10.56	10.92	11.29	11.66	12.03	12.41	12.79
-8.1	3.22	3.53	3.84	4.15	4.47	4.79	5.12	5.44	5.77	6.10	6.43	6.76	7.09	7.43	7.77	8.11	8.46	8.81	9.16	9.51	9.86	10.22	10.59	10.95	11.32	11.69	12.07	12.45	12.83
-8.0	3.22	3.53	3.85	4.17	4.48	4.81	5.13	5.46	5.78	6.11	6.44	6.78	7.11	7.45	7.79	8.14	8.48	8.83	9.18	9.53	9.89	10.25	10.61	10.98	11.35	11.72	12.10	12.48	12.86
-7.9	3.23	3.54	3.86	4.18	4.50	4.82	5.14	5.47	5.80	6.13	6.46	6.80	7.13	7.47	7.81	8.16	8.50	8.85	9.21	9.56	9.92	10.28	10.64	11.01	11.38	11.75	12.13	12.51	12.90
-7.8	3.24	3.55	3.87	4.19	4.51	4.83	5.16	5.48	5.81	6.14	6.48	6.81	7.15	7.49	7.83	8.18	8.53	8.88	9.23	9.59	9.94	10.31	10.67	11.04	11.41	11.79	12.16	12.55	12.93
-7.7	3.25	3.56	3.88	4.20	4.52	4.84	5.17	5.50	5.83	6.16	6.50	6.83	7.17	7.51	7.86	8.20	8.55	8.90	9.26	9.61	9.97	10.33	10.70	11.07	11.44	11.82	12.20	12.58	12.97
-7.6	3.26	3.57	3.89	4.21	4.53	4.86	5.18	5.51	5.84	6.18	6.51	6.85	7.19	7.53	7.88	8.22	8.57	8.93	9.28	9.64	10.00	10.36	10.73	11.10	11.47	11.85	12.23	12.61	13.00
-7.5	3.27	3.58	3.90	4.22	4.55	4.87	5.20	5.53	5.86	6.19	6.53	6.87	7.21	7.55	7.90	8.25	8.60	8.95	9.31	9.66	10.03	10.39	10.76	11.13	11.50	11.88	12.26	12.65	13.04
-7.4	3.28	3.59	3.91	4.23	4.56	4.88	5.21	5.54	5.88	6.21	6.55	6.89	7.23	7.57	7.92	8.27	8.62	8.97	9.33	9.69	10.05	10.42	10.79	11.16	11.54	11.91	12.30	12.68	13.07
-7.3	3.28	3.60	3.92	4.24	4.57	4.90	5.23	5.56	5.89	6.23	6.57	6.91	7.25	7.59	7.94	8.29	8.64	9.00	9.36	9.72	10.08	10.45	10.82	11.19	11.57	11.95	12.33	12.72	13.11
-7.2	3.29	3.61	3.93	4.26	4.58	4.91	5.24	5.57	5.91	6.25	6.58	6.93	7.27	7.61	7.96	8.31	8.67	9.02	9.38	9.74	10.11	10.48	10.85	11.22	11.60	11.98	12.36	12.75	13.14
-7.1	3.30	3.62	3.94	4.27	4.59	4.92	5.26	5.59	5.92	6.26	6.60	6.94	7.29	7.64	7.98	8.34	8.69	9.05	9.41	9.77	10.14	10.50	10.88	11.25	11.63	12.01	12.40	12.79	13.18
-7.0	3.31	3.63	3.95	4.28	4.61	4.94	5.27	5.60	5.94	6.28	6.62	6.96	7.31	7.66	8.01	8.36	8.71	9.07	9.43	9.80	10.16	10.53	10.91	11.28	11.66	12.05	12.43	12.82	13.22
-6.9	3.32	3.64	3.96	4.29	4.62	4.95	5.28	5.62	5.96	6.30	6.64	6.98	7.33	7.68	8.03	8.38	8.74	9.10	9.46	9.82	10.19	10.56	10.94	11.31	11.69	12.08	12.47	12.86	13.25
-6.8	3.33	3.65	3.98	4.30	4.63	4.96	5.30	5.63	5.97	6.31	6.66	7.00	7.35	7.70	8.05	8.40	8.76	9.12	9.48	9.85	10.22	10.59	10.97	11.34	11.73	12.11	12.50	12.89	13.29
-6.7	3.34	3.66	3.99	4.31	4.64	4.98	5.31	5.65	5.99	6.33	6.67	7.02	7.37	7.72	8.07	8.43	8.79	9.15	9.51	9.88	10.25	10.62	11.00	11.38	11.76	12.15	12.54	12.93	13.33
-6.6	3.35	3.67	4.00	4.33	4.66	4.99	5.33	5.67	6.01	6.35	6.69	7.04	7.39	7.74	8.09	8.45	8.81	9.17	9.54	9.90	10.28	10.65	11.03	11.41	11.79	12.18	12.57	12.96	13.36
-6.5	3.36	3.68	4.01	4.34	4.67	5.01	5.34	5.68	6.02	6.37	6.71	7.06	7.41	7.76	8.12	8.47	8.83	9.20	9.56	9.93	10.30	10.68	11.06	11.44	11.82	12.21	12.60	13.00	13.40
-6.4	3.37	3.69	4.02	4.35	4.68	5.02	5.36	5.70	6.04	6.38	6.73	7.08	7.43	7.78	8.14	8.50	8.86	9.22	9.59	9.96	10.33	10.71	11.09	11.47	11.86	12.25	12.64	13.04	13.44
-6.3	3.38	3.70	4.03	4.36	4.70	5.03	5.37	5.71	6.06	6.40	6.75	7.10	7.45	7.80	8.16	8.52	8.88	9.25	9.62	9.99	10.36	10.74	11.12	11.50	11.89	12.28	12.67	13.07	13.47
-6.2	3.38	3.71	4.04	4.37	4.71	5.05	5.39	5.73	6.07	6.42	6.77	7.12	7.47	7.83	8.18	8.55	8.91	9.27	9.64	10.02	10.39	10.77	11.15	11.53	11.92	12.31	12.71	13.11	13.51
-6.1	3.39	3.72	4.05	4.39	4.72	5.06	5.40	5.74	6.09	6.44	6.79	7.14	7.49	7.85	8.21	8.57	8.93	9.30	9.67	10.04	10.42	10.80	11.18	11.57	11.96	12.35	12.75	13.15	13.55
-6.0	3.40	3.73	4.06	4.40	4.74	5.08	5.42	5.76	6.11	6.45	6.81	7.16	7.51	7.87	8.23	8.59	8.96	9.33	9.70	10.07	10.45	10.83	11.21	11.60	11.99	12.38	12.78	13.18	13.59
-5.9	3.41	3.74	4.08	4.41	4.75	5.09	5.43	5.78	6.12	6.47	6.82	7.18	7.53	7.89	8.25	8.62	8.98	9.35	9.72	10.10	10.48	10.86	11.24	11.63	12.02	12.42	12.82	13.22	13.63
-5.8	3.42	3.75	4.09	4.42	4.76	5.10	5.45	5.79	6.14	6.49	6.84	7.20	7.55	7.91															

Table. 4.3 (参考) 本節パラメータによる気温・ I_{clo} ごとのDLE (5/7)

Ta	Iclo	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	
-5.0	3.50	3.84	4.18	4.52	4.87	5.22	5.57	5.93	6.28	6.64	7.00	7.36	7.73	8.10	8.47	8.84	9.21	9.59	9.98	10.36	10.75	11.14	11.53	11.93	12.33	12.74	13.15	13.56	13.97		
-4.9	3.51	3.85	4.19	4.54	4.89	5.24	5.59	5.94	6.30	6.66	7.02	7.38	7.75	8.12	8.49	8.86	9.24	9.62	10.00	10.39	10.78	11.17	11.57	11.97	12.37	12.77	13.18	13.60	14.01		
-4.8	3.52	3.86	4.20	4.55	4.90	5.25	5.60	5.96	6.32	6.68	7.04	7.41	7.77	8.14	8.51	8.89	9.27	9.65	10.03	10.42	10.81	11.20	11.60	12.00	12.40	12.81	13.22	13.64	14.05		
-4.7	3.53	3.87	4.22	4.56	4.91	5.27	5.62	5.98	6.34	6.70	7.06	7.43	7.79	8.17	8.54	8.92	9.29	9.68	10.06	10.45	10.84	11.24	11.63	12.03	12.44	12.85	13.26	13.68	14.09		
-4.6	3.54	3.88	4.23	4.58	4.93	5.28	5.64	5.99	6.35	6.72	7.08	7.45	7.82	8.19	8.56	8.94	9.32	9.70	10.09	10.48	10.87	11.27	11.67	12.07	12.47	12.88	13.30	13.71	14.13		
-4.5	3.55	3.89	4.24	4.59	4.94	5.30	5.65	6.01	6.37	6.74	7.10	7.47	7.84	8.21	8.59	8.97	9.35	9.73	10.12	10.51	10.90	11.30	11.70	12.10	12.51	12.92	13.34	13.75	14.17		
-4.4	3.56	3.91	4.25	4.60	4.96	5.31	5.67	6.03	6.39	6.76	7.12	7.49	7.86	8.24	8.61	8.99	9.38	9.76	10.15	10.54	10.93	11.33	11.73	12.14	12.55	12.96	13.37	13.79	14.22		
-4.3	3.57	3.92	4.27	4.62	4.97	5.33	5.69	6.05	6.41	6.77	7.14	7.51	7.89	8.26	8.64	9.02	9.40	9.79	10.18	10.57	10.97	11.37	11.77	12.17	12.58	13.00	13.41	13.83	14.26		
-4.2	3.58	3.93	4.28	4.63	4.99	5.34	5.70	6.06	6.43	6.79	7.16	7.53	7.91	8.28	8.66	9.05	9.43	9.82	10.21	10.60	11.00	11.40	11.80	12.21	12.62	13.03	13.45	13.87	14.30		
-4.1	3.59	3.94	4.29	4.64	5.00	5.36	5.72	6.08	6.45	6.81	7.18	7.56	7.93	8.31	8.69	9.07	9.46	9.85	10.24	10.63	11.03	11.43	11.84	12.24	12.66	13.07	13.49	13.91	14.34		
-4.0	3.60	3.95	4.30	4.66	5.01	5.37	5.74	6.10	6.47	6.83	7.21	7.58	7.95	8.33	8.71	9.10	9.49	9.87	10.27	10.66	11.06	11.47	11.87	12.28	12.69	13.11	13.53	13.95	14.38		
-3.9	3.61	3.96	4.32	4.67	5.03	5.39	5.75	6.12	6.48	6.85	7.23	7.60	7.98	8.36	8.74	9.12	9.51	9.90	10.30	10.69	11.10	11.50	11.91	12.32	12.73	13.15	13.57	13.99	14.42		
-3.8	3.62	3.97	4.33	4.68	5.04	5.41	5.77	6.14	6.50	6.87	7.25	7.62	8.00	8.38	8.77	9.15	9.54	9.93	10.33	10.73	11.13	11.53	11.94	12.35	12.77	13.19	13.61	14.03	14.46		
-3.7	3.64	3.99	4.34	4.70	5.06	5.42	5.79	6.15	6.52	6.89	7.27	7.65	8.03	8.41	8.79	9.18	9.57	9.96	10.36	10.76	11.16	11.57	11.98	12.39	12.80	13.22	13.65	14.07	14.50		
-3.6	3.65	4.00	4.35	4.71	5.07	5.44	5.80	6.17	6.54	6.92	7.29	7.67	8.05	8.43	8.82	9.21	9.60	9.99	10.39	10.79	11.19	11.60	12.01	12.42	12.84	13.26	13.69	14.11	14.55		
-3.5	3.66	4.01	4.37	4.73	5.09	5.45	5.82	6.19	6.56	6.94	7.31	7.69	8.07	8.46	8.84	9.23	9.63	10.02	10.42	10.82	11.23	11.63	12.05	12.46	12.88	13.30	13.73	14.16	14.59		
-3.4	3.67	4.02	4.38	4.74	5.10	5.47	5.84	6.21	6.58	6.96	7.33	7.71	8.10	8.48	8.87	9.26	9.65	10.05	10.45	10.85	11.26	11.67	12.08	12.50	12.92	13.34	13.77	14.20	14.63		
-3.3	3.68	4.03	4.39	4.75	5.12	5.49	5.86	6.23	6.60	6.98	7.36	7.74	8.12	8.51	8.90	9.29	9.68	10.08	10.48	10.89	11.29	11.70	12.12	12.53	12.95	13.38	13.81	14.24	14.67		
-3.2	3.69	4.05	4.41	4.77	5.13	5.50	5.87	6.25	6.62	7.00	7.38	7.76	8.14	8.53	8.92	9.32	9.71	10.11	10.51	10.92	11.33	11.74	12.15	12.57	12.99	13.42	13.85	14.28	14.71		
-3.1	3.70	4.06	4.42	4.78	5.15	5.52	5.89	6.26	6.64	7.02	7.40	7.78	8.17	8.56	8.95	9.34	9.74	10.14	10.54	10.95	11.36	11.77	12.19	12.61	13.03	13.46	13.89	14.32	14.76		
-3.0	3.71	4.07	4.43	4.80	5.17	5.54	5.91	6.28	6.66	7.04	7.42	7.81	8.19	8.58	8.98	9.37	9.77	10.17	10.58	10.98	11.39	11.81	12.22	12.65	13.07	13.50	13.93	14.36	14.80		
-2.9	3.72	4.08	4.45	4.81	5.18	5.55	5.93	6.30	6.68	7.06	7.44	7.83	8.22	8.61	9.00	9.40	9.80	10.20	10.61	11.02	11.43	11.84	12.26	12.68	13.11	13.54	13.97	14.40	14.84		
-2.8	3.73	4.10	4.46	4.83	5.20	5.57	5.94	6.32	6.70	7.08	7.47	7.85	8.24	8.64	9.03	9.43	9.83	10.23	10.64	11.05	11.46	11.88	12.30	12.72	13.15	13.58	14.01	14.45	14.89		
-2.7	3.75	4.11	4.47	4.84	5.21	5.59	5.96	6.34	6.72	7.10	7.49	7.88	8.27	8.66	9.06	9.46	9.86	10.26	10.67	11.08	11.50	11.91	12.33	12.76	13.19	13.62	14.05	14.49	14.93		
-2.6	3.76	4.12	4.49	4.86	5.23	5.60	5.98	6.36	6.74	7.13	7.51	7.90	8.29	8.69	9.08	9.48	9.89	10.29	10.70	11.12	11.53	11.95	12.37	12.80	13.23	13.66	14.09	14.53	14.97		
-2.5	3.77	4.13	4.50	4.87	5.24	5.62	6.00	6.38	6.76	7.15	7.53	7.93	8.32	8.71	9.11	9.51	9.92	10.32	10.74	11.15	11.57	11.99	12.41	12.84	13.27	13.70	14.13	14.57	15.02		
-2.4	3.78	4.15	4.51	4.89	5.26	5.64	6.02	6.40	6.78	7.17	7.56	7.95	8.34	8.74	9.14	9.54	9.95	10.36	10.77	11.18	11.60	12.02	12.45	12.87	13.30	13.74	14.18	14.62	15.06		
-2.3	3.79	4.16	4.53	4.90	5.28	5.65	6.03	6.42	6.80	7.19	7.58	7.97	8.37	8.77	9.17	9.57	9.98	10.39	10.80	11.22	11.64	12.06	12.48	12.91	13.34	13.78	14.22	14.66	15.10		
-2.2	3.80	4.17	4.54	4.92	5.29	5.67	6.05	6.44	6.82	7.21	7.60	8.00	8.39	8.79	9.20	9.60	10.01	10.42	10.83	11.25	11.67	12.09	12.52	12.95	13.38	13.82	14.26	14.70	15.15		
-2.1	3.81	4.18	4.56	4.93	5.31	5.69	6.07	6.46	6.84	7.23	7.63	8.02	8.42	8.82	9.22	9.63	10.04	10.45	10.87	11.28	11.71	12.13	12.56	12.99	13.42	13.86	14.30	14.75	15.19		
-2.0	3.83	4.20	4.57	4.95	5.33	5.71	6.09	6.48	6.87	7.26	7.65	8.05	8.45	8.85	9.25	9.66	10.07	10.48	10.90	11.32	11.74	12.17	12.60	13.03	13.46	13.90	14.35	14.79	15.24		
-1.9	3.84	4.21	4.58	4.96	5.34	5.72	6.11	6.50	6.89	7.28	7.67	8.07	8.47	8.87	9.28	9.69	10.10	10.51	10.93	11.35	11.78	12.20	12.63	13.07	13.51	13.95	14.39	14.83	15.28		
-1.8	3.85	4.22	4.60	4.98	5.36	5.74	6.13	6.52	6.91	7.30	7.70	8.10	8.50	8.90	9.31	9.72	10.13	10.55	10.97	11.39	11.81	12.24	12.67	13.11	13.55	13.99	14.43	14.88	15.33		
-1.7	3.86	4.24	4.61	4.99	5.38	5.76	6.15	6.54	6.93	7.32	7.72	8.12	8.52	8.93	9.34	9.75	10.16	10.58	11.00	11.42	11.85	12.28	12.71	13.15	13.59	14.03	14.47	14.92	15.37		
-1.6	3.87	4.25	4.63	5.01	5.39	5.78	6.17	6.56	6.95	7.35	7.75	8.15	8.55	8.96	9.37	9.78	10.19	10.61	11.03	11.46	11.89	12.32	12.75	13.19	13.63	14.07	14.52	14.97	15.42		
-1.5	3.89	4.26	4.64	5.02	5.41	5.80	6.19	6.58	6.97	7.37	7.77	8.17	8.58	8.99	9.40	9.81	10.23	10.64	11.07	11.49	11.92	12.35	12.79	13.23	13.67	14.11	14.56	15.01	15.46		
-1.4	3.90	4.28	4.66	5.04	5.43	5.81	6.21	6.60	7.00	7.39	7.79	8.20	8.60	9.01	9.43	9.84	10.26	10.68	11.10	11.53	11.96	12.39	12.83	13.27	13.71	14.16	14.60	15.06	15.51		
-1.3	3.91	4.29	4.67	5.06	5.44	5.83	6.23	6.62	7.02	7.42	7.82	8.22	8.63	9.04	9.45	9.87	10.29	10.71	11.14	11.56	12.00	12.43	12.87	13.31	13.75	14.20	14.65	15.10	15.55		
-1.2	3.92	4.30	4.69	5.07	5.46	5.85	6.24	6.64	7.04	7.44	7.84	8.25	8.66	9.07	9.48	9.90	10.32	10.74	11.17	11.60	12.03	12.47	12.91	13.35	13.79	14.24	14.69	15.14	15.60		
-1.1	3.94	4.32	4.70	5.09	5.48	5.87	6.26	6.66	7.06	7.46	7.87	8.28	8.69	9.10	9.51	9.93	10.35	10.78	11.21	11.64	12.07	12.51	12.95	13.39	13.84	14.28	14.74	15.19	15.65		
-1.0	3.95	4.33	4.72	5.10	5.49	5.89	6.28	6.68	7.08	7.49	7.89	8.30	8.71	9.13	9.54	9.96	10.39	10.81	11.24	11.67	12.11	12.54	12.99	13.43	13.88	14.33	14.78	15.24	15.		

Table. 4.3 (参考) 本節パラメータによる気温・ I_{clo} ごとのDLE (6/7)

Ta\Iclo	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0
0.0	4.08	4.47	4.87	5.27	5.67	6.08	6.49	6.90	7.31	7.73	8.15	8.57	8.99	9.42	9.85	10.28	10.72	11.16	11.60	12.04	12.49	12.94	13.39	13.85	14.31	14.77	15.23	15.70	16.16
0.1	4.09	4.49	4.89	5.29	5.69	6.10	6.51	6.92	7.34	7.76	8.18	8.60	9.02	9.45	9.88	10.32	10.75	11.19	11.64	12.08	12.53	12.98	13.44	13.89	14.35	14.81	15.28	15.74	16.21
0.2	4.10	4.50	4.90	5.31	5.71	6.12	6.53	6.95	7.36	7.78	8.20	8.63	9.05	9.48	9.92	10.35	10.79	11.23	11.67	12.12	12.57	13.02	13.48	13.94	14.40	14.86	15.32	15.79	16.26
0.3	4.12	4.52	4.92	5.32	5.73	6.14	6.55	6.97	7.39	7.81	8.23	8.65	9.08	9.51	9.95	10.38	10.82	11.27	11.71	12.16	12.61	13.06	13.52	13.98	14.44	14.90	15.37	15.84	16.31
0.4	4.13	4.53	4.93	5.34	5.75	6.16	6.57	6.99	7.41	7.83	8.26	8.68	9.11	9.54	9.98	10.42	10.86	11.30	11.75	12.20	12.65	13.11	13.56	14.02	14.49	14.95	15.42	15.88	16.35
0.5	4.15	4.55	4.95	5.36	5.77	6.18	6.60	7.01	7.43	7.86	8.28	8.71	9.14	9.58	10.01	10.45	10.89	11.34	11.79	12.24	12.69	13.15	13.61	14.07	14.53	15.00	15.46	15.93	16.40
0.6	4.16	4.56	4.97	5.38	5.79	6.20	6.62	7.04	7.46	7.88	8.31	8.74	9.17	9.61	10.04	10.49	10.93	11.37	11.82	12.28	12.73	13.19	13.65	14.11	14.58	15.04	15.51	15.98	16.45
0.7	4.17	4.58	4.98	5.39	5.81	6.22	6.64	7.06	7.48	7.91	8.34	8.77	9.20	9.64	10.08	10.52	10.96	11.41	11.86	12.32	12.77	13.23	13.69	14.16	14.62	15.09	15.56	16.03	16.50
0.8	4.19	4.59	5.00	5.41	5.83	6.24	6.66	7.08	7.51	7.94	8.37	8.80	9.23	9.67	10.11	10.55	11.00	11.45	11.90	12.35	12.81	13.27	13.73	14.20	14.67	15.13	15.60	16.08	16.55
0.9	4.20	4.61	5.02	5.43	5.85	6.26	6.68	7.11	7.53	7.96	8.39	8.83	9.26	9.70	10.14	10.59	11.04	11.49	11.94	12.39	12.85	13.31	13.78	14.24	14.71	15.18	15.65	16.12	16.60
1.0	4.22	4.62	5.03	5.45	5.87	6.28	6.71	7.13	7.56	7.99	8.42	8.86	9.29	9.74	10.18	10.62	11.07	11.52	11.98	12.43	12.89	13.36	13.82	14.29	14.76	15.23	15.70	16.17	16.64
1.1	4.23	4.64	5.05	5.47	5.88	6.31	6.73	7.16	7.58	8.02	8.45	8.89	9.32	9.77	10.21	10.66	11.11	11.56	12.02	12.47	12.94	13.40	13.87	14.33	14.80	15.27	15.75	16.22	16.69
1.2	4.24	4.65	5.07	5.48	5.90	6.33	6.75	7.18	7.61	8.04	8.48	8.91	9.36	9.80	10.24	10.69	11.14	11.60	12.06	12.52	12.98	13.44	13.91	14.38	14.85	15.32	15.79	16.27	16.74
1.3	4.26	4.67	5.09	5.50	5.92	6.35	6.77	7.20	7.64	8.07	8.51	8.94	9.39	9.83	10.28	10.73	11.18	11.64	12.09	12.56	13.02	13.49	13.95	14.42	14.90	15.37	15.84	16.32	16.79
1.4	4.27	4.69	5.10	5.52	5.94	6.37	6.80	7.23	7.66	8.10	8.53	8.97	9.42	9.86	10.31	10.76	11.22	11.67	12.13	12.60	13.06	13.53	14.00	14.47	14.94	15.42	15.89	16.37	16.84
1.5	4.29	4.70	5.12	5.54	5.96	6.39	6.82	7.25	7.69	8.12	8.56	9.00	9.45	9.90	10.35	10.80	11.25	11.71	12.17	12.64	13.10	13.57	14.04	14.51	14.99	15.46	15.94	16.41	16.89
1.6	4.30	4.72	5.14	5.56	5.99	6.41	6.84	7.28	7.71	8.15	8.59	9.03	9.48	9.93	10.38	10.84	11.29	11.75	12.21	12.68	13.15	13.62	14.09	14.56	15.03	15.51	15.99	16.46	16.94
1.7	4.32	4.73	5.16	5.58	6.01	6.44	6.87	7.30	7.74	8.18	8.62	9.07	9.51	9.96	10.42	10.87	11.33	11.79	12.25	12.72	13.19	13.66	14.13	14.61	15.08	15.56	16.04	16.51	16.99
1.8	4.33	4.75	5.17	5.60	6.03	6.46	6.89	7.33	7.77	8.21	8.65	9.10	9.54	10.00	10.45	10.91	11.37	11.83	12.29	12.76	13.23	13.70	14.18	14.65	15.13	15.61	16.08	16.56	17.04
1.9	4.35	4.77	5.19	5.62	6.05	6.48	6.91	7.35	7.79	8.23	8.68	9.13	9.58	10.03	10.49	10.94	11.41	11.87	12.33	12.80	13.27	13.75	14.22	14.70	15.18	15.65	16.13	16.61	17.09
2.0	4.36	4.78	5.21	5.64	6.07	6.50	6.94	7.38	7.82	8.26	8.71	9.16	9.61	10.06	10.52	10.98	11.44	11.91	12.38	12.85	13.32	13.79	14.27	14.74	15.22	15.70	16.18	16.66	17.14
2.1	4.38	4.80	5.23	5.66	6.09	6.52	6.96	7.40	7.85	8.29	8.74	9.19	9.64	10.10	10.56	11.02	11.48	11.95	12.42	12.89	13.36	13.84	14.31	14.79	15.27	15.75	16.23	16.71	17.19
2.2	4.39	4.82	5.24	5.68	6.11	6.55	6.99	7.43	7.87	8.32	8.77	9.22	9.68	10.13	10.59	11.05	11.52	11.99	12.46	12.93	13.40	13.88	14.36	14.84	15.32	15.80	16.28	16.76	17.24
2.3	4.41	4.83	5.26	5.70	6.13	6.57	7.01	7.45	7.90	8.35	8.80	9.25	9.71	10.17	10.63	11.09	11.56	12.03	12.50	12.97	13.45	13.93	14.41	14.89	15.37	15.85	16.33	16.81	17.29
2.4	4.42	4.85	5.28	5.72	6.15	6.59	7.03	7.48	7.93	8.38	8.83	9.28	9.74	10.20	10.66	11.13	11.60	12.07	12.54	13.02	13.49	13.97	14.45	14.93	15.41	15.90	16.38	16.86	17.34
2.5	4.44	4.87	5.30	5.74	6.17	6.62	7.06	7.51	7.95	8.41	8.86	9.32	9.77	10.24	10.70	11.17	11.64	12.11	12.58	13.06	13.54	14.02	14.50	14.98	15.46	15.94	16.43	16.91	17.39
2.6	4.45	4.88	5.32	5.76	6.20	6.64	7.08	7.53	7.98	8.43	8.89	9.35	9.81	10.27	10.74	11.21	11.68	12.15	12.62	13.10	13.58	14.06	14.54	15.03	15.51	15.99	16.48	16.96	17.44
2.7	4.47	4.90	5.34	5.78	6.22	6.66	7.11	7.56	8.01	8.46	8.92	9.38	9.84	10.31	10.77	11.24	11.72	12.19	12.67	13.15	13.63	14.11	14.59	15.07	15.56	16.04	16.53	17.01	17.49
2.8	4.49	4.92	5.36	5.80	6.24	6.69	7.13	7.58	8.04	8.49	8.95	9.41	9.88	10.34	10.81	11.28	11.76	12.23	12.71	13.19	13.67	14.15	14.64	15.12	15.61	16.09	16.58	17.06	17.54
2.9	4.50	4.94	5.38	5.82	6.26	6.71	7.16	7.61	8.07	8.52	8.98	9.45	9.91	10.38	10.85	11.32	11.80	12.27	12.75	13.23	13.72	14.20	14.68	15.17	15.66	16.14	16.63	17.11	17.59
3.0	4.52	4.95	5.39	5.84	6.28	6.73	7.18	7.64	8.09	8.55	9.01	9.48	9.95	10.41	10.89	11.36	11.84	12.31	12.79	13.28	13.76	14.25	14.73	15.22	15.70	16.19	16.67	17.16	17.64
3.1	4.53	4.97	5.41	5.86	6.31	6.76	7.21	7.67	8.12	8.58	9.05	9.51	9.98	10.45	10.92	11.40	11.88	12.36	12.84	13.32	13.81	14.29	14.78	15.27	15.75	16.24	16.72	17.21	17.69
3.2	4.55	4.99	5.43	5.88	6.33	6.78	7.24	7.69	8.15	8.61	9.08	9.55	10.01	10.49	10.96	11.44	11.92	12.40	12.88	13.37	13.85	14.34	14.83	15.31	15.80	16.29	16.77	17.26	17.74
3.3	4.57	5.01	5.45	5.90	6.35	6.81	7.26	7.72	8.18	8.64	9.11	9.58	10.05	10.52	11.00	11.48	11.96	12.44	12.92	13.41	13.90	14.39	14.87	15.36	15.85	16.34	16.82	17.31	17.79
3.4	4.58	5.03	5.47	5.92	6.37	6.83	7.29	7.75	8.21	8.68	9.14	9.61	10.08	10.56	11.04	11.52	12.00	12.48	12.97	13.45	13.94	14.43	14.92	15.41	15.90	16.39	16.87	17.36	17.84
3.5	4.60	5.04	5.49	5.94	6.40	6.85	7.31	7.78	8.24	8.71	9.17	9.65	10.12	10.60	11.08	11.56	12.04	12.52	13.01	13.50	13.99	14.48	14.97	15.46	15.95	16.44	16.92	17.41	17.89
3.6	4.62	5.06	5.51	5.97	6.42	6.88	7.34	7.80	8.27	8.74	9.21	9.68	10.16	10.63	11.11	11.60	12.08	12.57	13.06	13.54	14.04	14.53	15.02	15.51	16.00	16.49	16.97	17.46	17.94
3.7	4.63	5.08	5.53	5.99	6.44	6.90	7.37	7.83	8.30	8.77	9.24	9.71	10.19	10.67	11.15	11.64	12.12	12.61	13.10	13.59	14.08	14.57	15.07	15.56	16.05	16.54	17.02	17.51	17.99
3.8	4.65	5.10	5.55	6.01	6.47	6.93	7.39	7.86	8.33	8.80	9.27	9.75	10.23	10.71	11.19	11.68	12.16	12.65	13.14	13.64	14.13	14.62	15.12	15.61	16.10	16.59	17.08	17.56	18.04
3.9	4.67	5.12	5.57	6.03	6.49	6.95	7.42	7.89	8.36	8.83	9.31	9.78	10.26	10.75	11.23	11.72	12.21	12.70	13.19	13.68	14.18	14.67	15.16	15.66	16.15	16.64	17.13	17.61	18.08
4.0	4.69	5.14	5.59	6.05	6.52	6.98	7.45	7.92	8.39	8.86	9.34	9.82	10.30	10.78	11.27	11.76	12.25	12.74	13.23	13.72	14.22	14.72	15.21	15.71	16.20	16.69	17.18	17.66	18.13
4.1	4.70	5.16	5.61	6.08	6.54	7.01	7.47	7.95	8.42	8.90	9.37	9.85	10.3																

Table. 4.3 (参考) 本節パラメータによる気温・ I_{clo} ごとのDLE (7/7)

Ta\Iclo	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0
5.0	4.86	5.33	5.81	6.28	6.76	7.24	7.73	8.21	8.70	9.19	9.69	10.18	10.68	11.18	11.68	12.18	12.68	13.19	13.69	14.20	14.70	15.21	15.71	16.21	16.70	17.19	17.68	18.15	18.62
5.1	4.88	5.35	5.83	6.31	6.79	7.27	7.76	8.24	8.73	9.23	9.72	10.22	10.72	11.22	11.72	12.22	12.73	13.23	13.74	14.25	14.75	15.26	15.76	16.26	16.75	17.24	17.73	18.20	18.67
5.2	4.90	5.37	5.85	6.33	6.81	7.30	7.79	8.28	8.77	9.26	9.76	10.26	10.76	11.26	11.76	12.27	12.77	13.28	13.79	14.30	14.80	15.31	15.81	16.31	16.80	17.29	17.78	18.25	18.72
5.3	4.92	5.40	5.87	6.35	6.84	7.33	7.82	8.31	8.80	9.30	9.79	10.29	10.80	11.30	11.80	12.31	12.82	13.33	13.84	14.34	14.85	15.36	15.86	16.36	16.85	17.34	17.83	18.30	18.77
5.4	4.94	5.42	5.90	6.38	6.87	7.35	7.84	8.33	8.83	9.33	9.83	10.33	10.84	11.34	11.85	12.36	12.86	13.37	13.88	14.39	14.90	15.41	15.91	16.41	16.90	17.39	17.88	18.35	18.81
5.5	4.96	5.44	5.92	6.40	6.89	7.38	7.87	8.37	8.87	9.37	9.87	10.37	10.88	11.38	11.89	12.40	12.91	13.42	13.93	14.44	14.95	15.46	15.96	16.46	16.96	17.44	17.93	18.40	18.86
5.6	4.98	5.46	5.94	6.43	6.92	7.41	7.90	8.40	8.90	9.40	9.90	10.41	10.92	11.42	11.93	12.44	12.96	13.47	13.98	14.49	15.00	15.51	16.01	16.51	17.01	17.49	17.98	18.45	18.91
5.7	5.00	5.48	5.96	6.45	6.94	7.44	7.93	8.43	8.93	9.44	9.94	10.45	10.96	11.47	11.98	12.49	13.00	13.52	14.03	14.54	15.05	15.56	16.06	16.56	17.06	17.54	18.02	18.49	18.95
5.8	5.02	5.50	5.99	6.48	6.97	7.47	7.97	8.47	8.97	9.47	9.98	10.49	11.00	11.51	12.02	12.53	13.05	13.56	14.08	14.59	15.10	15.61	16.11	16.61	17.11	17.59	18.07	18.54	19.00
5.9	5.04	5.52	6.01	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50	9.00	9.51	10.02	10.53	11.04	11.55	12.06	12.58	13.09	13.61	14.12	14.64	15.15	15.66	16.16	16.66	17.16	17.64	18.12	18.59	19.05
6.0	5.06	5.54	6.04	6.53	7.03	7.53	8.03	8.53	9.04	9.54	10.05	10.57	11.08	11.59	12.11	12.62	13.14	13.66	14.17	14.69	15.20	15.71	16.21	16.71	17.21	17.69	18.17	18.64	19.09
6.1	5.08	5.57	6.06	6.55	7.05	7.55	8.06	8.56	9.07	9.58	10.09	10.61	11.12	11.64	12.15	12.67	13.19	13.71	14.22	14.74	15.25	15.76	16.27	16.77	17.27	17.74	18.22	18.68	19.14
6.2	5.10	5.59	6.08	6.58	7.08	7.58	8.09	8.60	9.11	9.62	10.13	10.65	11.16	11.68	12.20	12.72	13.24	13.75	14.27	14.79	15.30	15.81	16.32	16.82	17.31	17.79	18.27	18.73	19.18
6.3	5.12	5.61	6.11	6.61	7.11	7.61	8.12	8.63	9.14	9.65	10.17	10.69	11.20	11.72	12.24	12.76	13.28	13.80	14.32	14.84	15.35	15.86	16.37	16.87	17.36	17.84	18.32	18.78	19.23
6.4	5.14	5.63	6.13	6.63	7.14	7.64	8.15	8.66	9.18	9.69	10.21	10.73	11.25	11.77	12.29	12.81	13.33	13.85	14.37	14.89	15.40	15.91	16.42	16.92	17.41	17.89	18.36	18.82	19.27
6.5	5.16	5.65	6.16	6.66	7.17	7.67	8.18	8.70	9.21	9.73	10.25	10.77	11.29	11.81	12.33	12.86	13.38	13.90	14.42	14.94	15.45	15.96	16.47	16.97	17.46	17.94	18.41	18.87	19.31
6.6	5.18	5.68	6.18	6.69	7.19	7.70	8.22	8.73	9.25	9.77	10.29	10.81	11.33	11.85	12.38	12.90	13.43	13.95	14.47	14.99	15.50	16.02	16.52	17.02	17.51	17.99	18.46	18.92	19.36
6.7	5.20	5.70	6.20	6.71	7.22	7.73	8.25	8.77	9.28	9.80	10.33	10.85	11.37	11.90	12.42	12.95	13.47	14.00	14.52	15.04	15.56	16.07	16.57	17.07	17.56	18.04	18.51	18.96	19.40
6.8	5.22	5.72	6.23	6.74	7.25	7.77	8.28	8.80	9.32	9.84	10.37	10.89	11.42	11.94	12.47	13.00	13.52	14.05	14.57	15.09	15.61	16.12	16.62	17.12	17.61	18.09	18.55	19.01	19.44
6.9	5.24	5.75	6.25	6.77	7.28	7.80	8.31	8.83	9.36	9.88	10.41	10.93	11.46	11.99	12.52	13.04	13.57	14.10	14.62	15.14	15.66	16.17	16.67	17.17	17.66	18.14	18.60	19.05	19.48
7.0	5.26	5.77	6.28	6.79	7.31	7.83	8.35	8.87	9.39	9.92	10.45	10.97	11.50	12.03	12.56	13.09	13.62	14.15	14.67	15.19	15.71	16.22	16.73	17.22	17.71	18.18	18.65	19.09	19.53
7.1	5.28	5.79	6.31	6.82	7.34	7.86	8.38	8.91	9.43	9.96	10.49	11.02	11.55	12.08	12.61	13.14	13.67	14.20	14.72	15.24	15.76	16.27	16.78	17.27	17.76	18.23	18.69	19.14	19.57
7.2	5.31	5.82	6.33	6.85	7.37	7.89	8.41	8.94	9.47	10.00	10.53	11.06	11.59	12.12	12.66	13.19	13.72	14.25	14.77	15.30	15.81	16.32	16.83	17.32	17.81	18.28	18.74	19.18	19.61
7.3	5.33	5.84	6.36	6.88	7.40	7.92	8.45	8.98	9.51	10.04	10.57	11.10	11.64	12.17	12.70	13.24	13.77	14.30	14.82	15.35	15.86	16.38	16.88	17.37	17.86	18.33	18.78	19.22	19.65
7.4	5.35	5.87	6.38	6.90	7.43	7.95	8.48	9.01	9.54	10.08	10.61	11.14	11.68	12.22	12.75	13.29	13.82	14.35	14.88	15.40	15.92	16.43	16.93	17.42	17.90	18.37	18.83	19.27	19.69
7.5	5.37	5.89	6.41	6.93	7.46	7.99	8.52	9.05	9.58	10.12	10.65	11.19	11.73	12.26	12.80	13.33	13.87	14.40	14.93	15.45	15.97	16.48	16.98	17.47	17.95	18.42	18.87	19.31	19.72
7.6	5.39	5.91	6.44	6.96	7.49	8.02	8.55	9.08	9.62	10.16	10.69	11.23	11.77	12.31	12.85	13.38	13.92	14.45	14.98	15.50	16.02	16.53	17.03	17.52	18.00	18.47	18.92	19.35	19.76
7.7	5.42	5.94	6.46	6.99	7.52	8.05	8.59	9.12	9.66	10.20	10.74	11.28	11.82	12.36	12.89	13.43	13.97	14.50	15.03	15.55	16.07	16.58	17.08	17.57	18.05	18.51	18.96	19.39	19.80
7.8	5.44	5.96	6.49	7.02	7.55	8.09	8.62	9.16	9.70	10.24	10.78	11.32	11.86	12.40	12.94	13.48	14.02	14.55	15.08	15.61	16.12	16.63	17.13	17.62	18.10	18.56	19.00	19.43	19.84
7.9	5.46	5.99	6.52	7.05	7.58	8.12	8.66	9.20	9.74	10.28	10.82	11.36	11.91	12.45	12.99	13.53	14.07	14.60	15.13	15.66	16.18	16.68	17.18	17.67	18.14	18.60	19.05	19.47	19.87
8.0	5.49	6.01	6.54	7.08	7.61	8.15	8.69	9.23	9.78	10.32	10.86	11.41	11.95	12.50	13.04	13.58	14.12	14.66	15.19	15.71	16.23	16.74	17.23	17.72	18.19	18.65	19.09	19.51	19.91
8.1	5.51	6.04	6.57	7.11	7.65	8.19	8.73	9.27	9.82	10.36	10.91	11.45	12.00	12.55	13.09	13.63	14.17	14.71	15.24	15.76	16.28	16.79	17.28	17.77	18.24	18.69	19.13	19.55	19.94
8.2	5.53	6.06	6.60	7.14	7.68	8.22	8.76	9.31	9.86	10.40	10.95	11.50	12.05	12.59	13.14	13.68	14.22	14.76	15.29	15.81	16.33	16.84	17.33	17.82	18.29	18.74	19.17	19.58	19.98
8.3	5.56	6.09	6.63	7.17	7.71	8.25	8.80	9.35	9.90	10.44	10.99	11.54	12.09	12.64	13.19	13.73	14.27	14.81	15.34	15.87	16.38	16.89	17.38	17.87	18.33	18.78	19.21	19.62	20.01
8.4	5.58	6.12	6.66	7.20	7.74	8.29	8.84	9.39	9.94	10.49	11.04	11.59	12.14	12.69	13.24	13.78	14.33	14.86	15.39	15.92	16.43	16.94	17.43	17.91	18.38	18.82	19.25	19.66	20.04
8.5	5.60	6.14	6.68	7.23	7.77	8.32	8.87	9.42	9.98	10.53	11.08	11.64	12.19	12.74	13.29	13.83	14.38	14.91	15.45	15.97	16.49	16.99	17.48	17.96	18.42	18.87	19.29	19.69	20.07
8.6	5.63	6.17	6.71	7.26	7.81	8.36	8.91	9.46	10.02	10.57	11.13	11.68	12.24	12.79	13.34	13.89	14.43	14.97	15.50	16.02	16.54	17.04	17.53	18.01	18.47	18.91	19.33	19.73	20.10
8.7	5.65	6.20	6.74	7.29	7.84	8.39	8.95	9.50	10.06	10.61	11.17	11.73	12.28	12.84	13.39	13.94	14.48	15.02	15.55	16.08	16.59	17.09	17.58	18.06	18.51	18.95	19.37	19.76	20.13
8.8	5.68	6.22	6.77	7.32	7.87	8.43	8.98	9.54	10.10	10.66	11.22	11.77	12.33	12.89	13.44	13.99	14.53	15.07	15.60	16.13	16.64	17.14	17.63	18.10	18.56	18.99	19.41	19.80	20.16
8.9	5.70	6.25	6.80	7.35	7.91	8.46	9.02	9.58	10.14	10.70	11.26	11.82	12.38	12.94	13.49	14.04	14.59	15.12	15.66	16.18	16.69	17.19	17.68	18.15	18.60	19.03	19.44	19.83	20.19
9.0	5.73	6.28	6.83	7.38	7.94	8.50	9.06	9.62	10.18	10.75	11.31	11.87	12.43	12.99	13.54	14.09	14.64	15.18	15.71	16.23	16.74	17.24	17.73	18.19	18.64				

4.1.2. 衣服による DLE_B と DLE_F の変化の検証

Table. 4.4 に一例を示す I_{clo} のパラメータを用いて、被害者の衣服による DLE_B と DLE_F の変化を検証した。検証に用いた風速は 11.5m/s とした。

検証に際し、服装による限界値を境に、気温の上昇に伴い限界曝露時間の増加が鈍化する現象を確認するため、本来 $T_a \leq 10.0^\circ\text{C}$ の範囲での適用が推奨されている DLE であるが、 $-25^\circ\text{C} \leq T_a \leq 25.0^\circ\text{C}$ の範囲でグラフを描写している。**Fig. 4.5**に DLE_B の結果を、**Fig. 4.6**に DLE_F の結果を示す。

極寒地仕様の衣服 ($I_{clo} = 3.0$ 程度) では、 10°C 前後で DLE_F の増加が鈍化している。軽装に該当する $I_{clo} = 1.0$ では、 20°C 前後で DLE_F の増加の鈍化が見受けられる。このように、推奨値である $T_a \leq 10.0^\circ\text{C}$ を超過する範囲での適用は、 DLE_F を過小評価してしまう可能性が高いため、以降の被害推定においては、適用推奨範囲を想定する。

具体的な数値を確認すると、気温 0°C における DLE_F は、軽装では 6 時間であるのに対して、コートを着用する等一定程度の防寒対策を実施することで、10 時間程度まで増加する。つまり、厳冬期の被災においては、短時間での低体温症リスクを低下させるために衣服等による防寒を行うことの有効性が定量的に評価され、これは経験的な感覚とも概ね一致する値であると考えられる。

Table. 4.4 衣服の熱抵抗 (I_{clo}) の例

clothing	Thermal Insulation	Insulation of Clothing
nude	0	0
night wear	0.032	0.2
light street clothes	0.16	1.0
winter clothes with coat	0.3	2.0
polar clothes	0.45	3.0

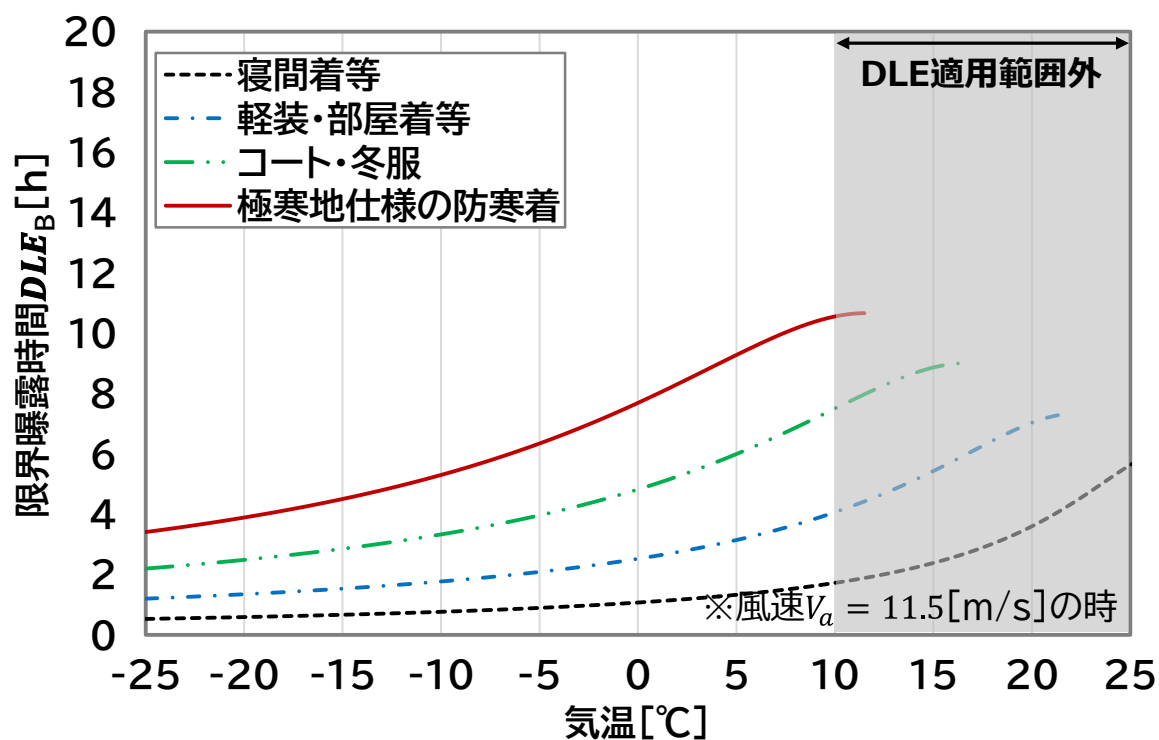


Fig. 4.5 服装による DLE_B の変化

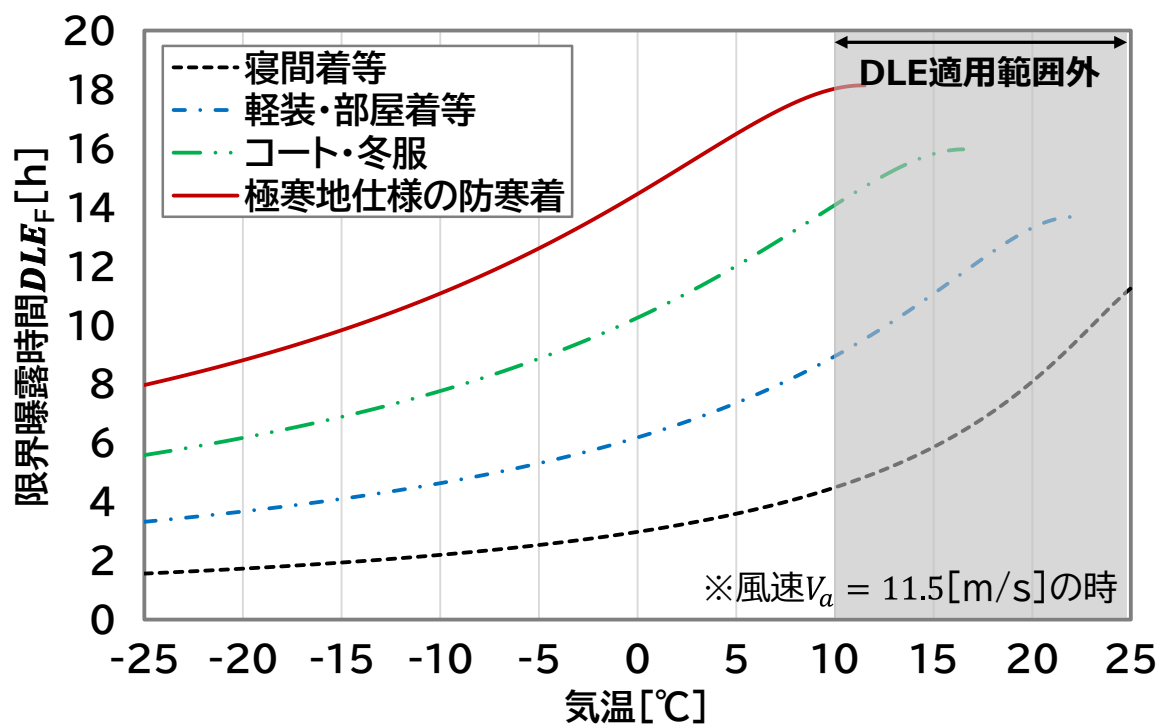


Fig. 4.6 服装による DLE_F の変化

4.2. 低体温症発症者評価関数における個人特性の検証

4.2.1. 低体温症に影響を与える個人特性

前節で提案した評価関数は、平均的な日本人を基にした提案関数である。しかし、より高度な推定を行うにあたっては、個人特性の検討が必要である。

ベルクマンの法則より体重に対する体表面積が小さいほど放熱が少なくなることが知られている。そこで、筆者らは個人特性として、体重と体表面積に影響を与える年齢・性別に着目した。

年齢別、性別の基礎代謝量、身長体重のデータは、総務省¹⁹⁾及び厚労省²⁰⁾を用いた。なお、年齢別・性別体表面積 A_p は藤本ら²¹⁾に倣い、身長 H [cm]、体重 W [kg]を用いて以下のとおりとした。

$$1 \text{ 歳} \sim 5 \text{ 歳} : A_p = 0.038189W^{0.423} * H^{0.362} \quad -(4-12)$$

$$6 \text{ 歳以上} : A_p = 0.008883W^{0.444} * H^{0.663} \quad -(4-13)$$

Table. 4.5 年齢別・性別の個人特性

年齢[歳]	男性				女性			
	基礎代謝 [kcal/d]	身長 [cm]	体重 [kg]	体表面積 [m ²]	基礎代謝 [kcal/d]	身長 [cm]	体重 [kg]	体表面積 [m ²]
0-4	800	91.98	13.18	0.58	750	90.85	13.10	0.58
5-9	1,060	121.38	23.88	0.88	985	120.38	23.24	0.82
10-14	1,425	151.32	43.46	1.32	1,335	148.78	41.56	1.13
15-29	1,565	170.82	64.02	1.70	1,210	157.60	51.10	1.26
30-49	1,530	171.50	71.40	1.79	1,150	158.15	54.95	1.30
50-69	1,400	168.65	69.15	1.75	1,100	155.45	54.95	1.29
70-	1,290	163.10	62.40	1.63	1,020	149.40	51.10	1.24

4.2.2. 個人特性を考慮した低体温症評価関数の構築

個人特性を考慮した低体温症評価関数については、以下の方針で構築を試みた。

まず、式(4-2)において、代謝熱量の年齢・性による差異は基礎代謝比と同等とし、表面積 A_p と基礎代謝比 R_m を用いて式(4-14)とした。基礎代謝比は、15～29歳の基礎代謝を1とした時の各年齢の基礎代謝とする。

$$M = 1.163(MET + 1.2) \times 1.0 \times 60/A \cdot R_m \quad -(4-14)$$

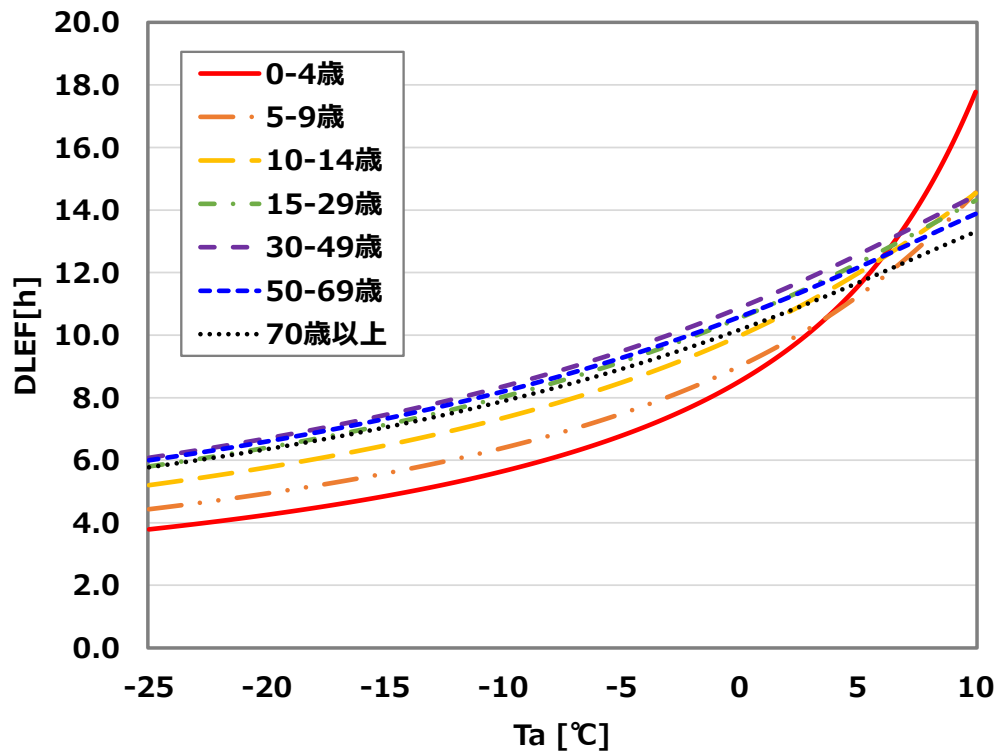
次に、式(4-1)において、熱放散量は体表面積にほぼ比例し、熱産生量は体積（体重）にほぼ比例することから、年齢・性別による差を補正するために、体表面積/体重比 R_{AW} を用いて式(4-15)とした。

$$S = M\{(1 - \varepsilon) - 1.7 \times 10^{-5}(5,867 - \psi_a P_a) - 0.0014(34.0 - T_a)\} \\ - 0.0165\alpha(0.06 + 0.94W_{rsW})h_c \times F_{pcl}(P_{sk} - \psi_a P_a) - h(T_{sk} - T_0)F_{cl} \cdot R_{AW} \quad -(4-15)$$

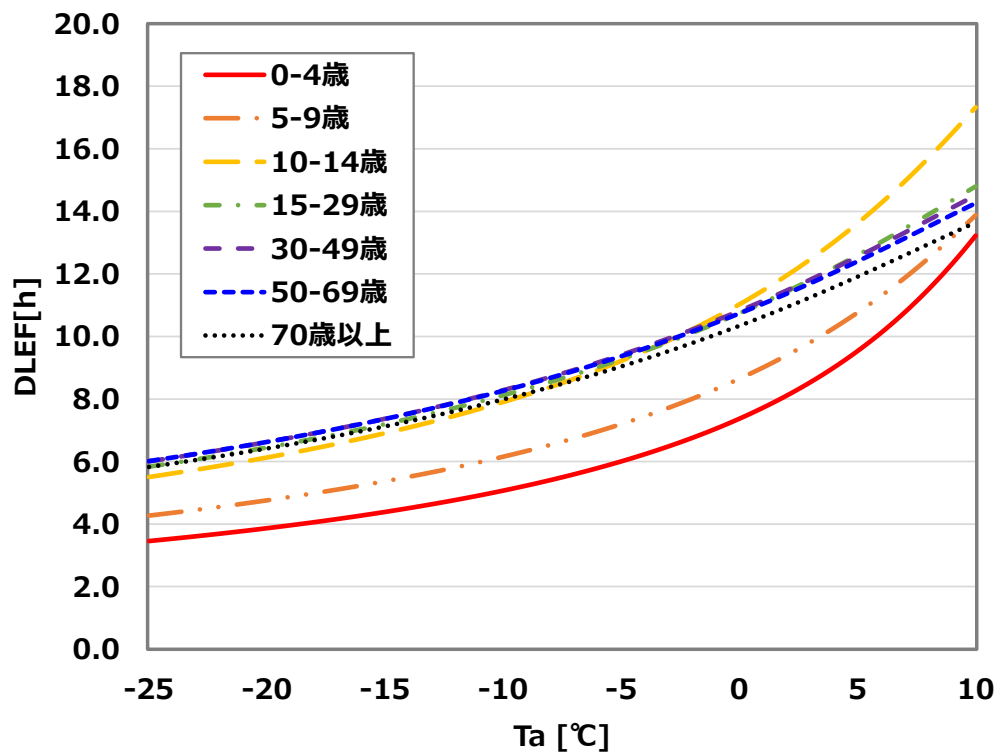
以上をもとに、個人特性に関するケーススタディを行った。採用したケースを **Table. 4.6** に示す。Case1 は体表面積、基礎代謝比、体表面積/体重比を考慮、Case2 は体表面積、基礎代謝比を考慮し、体表面積/体重比を考慮しなかった場合で、いずれも $I_{clo} = 2.0$ 、 $V_a = 7.0$ 、 $MET = 1.2$ とした。**Fig. 4.7**、**Fig. 4.8** は年齢別・性別の DLE_F を示したグラフである。

Table. 4.6 個人特性ケーススタディに採用したケース

Case	代謝熱量		人体の蓄熱量
	体表面積	基礎代謝比	
Case1	考慮する	考慮する	考慮する
Case2	考慮する	考慮する	考慮しない

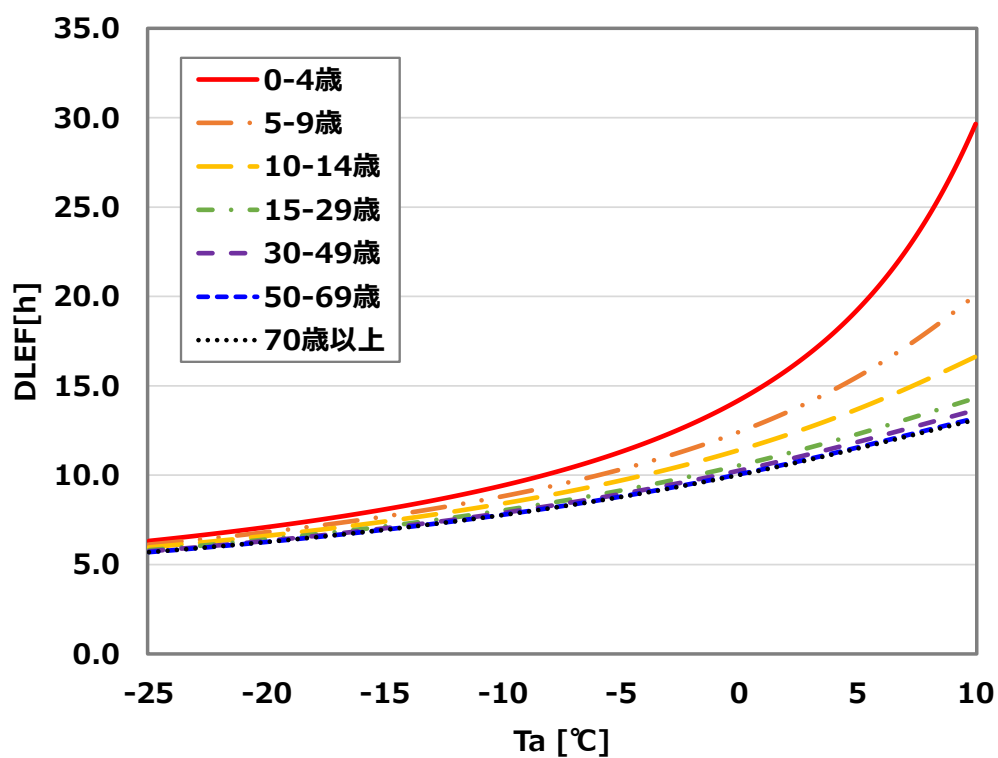


Case1 Male

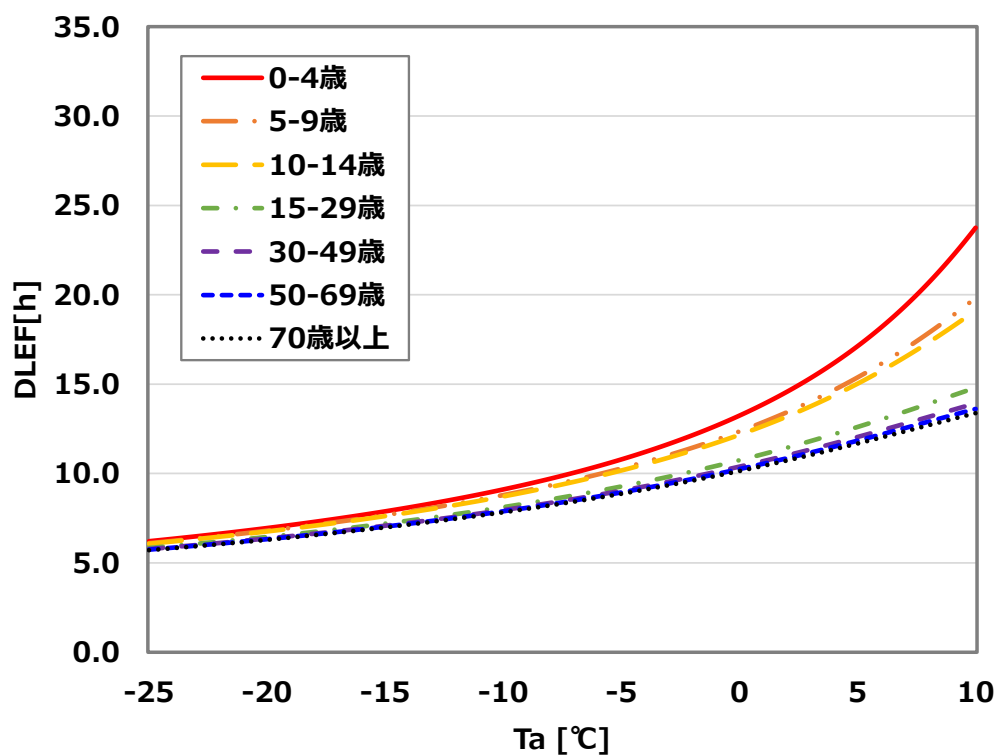


Case1 Female

Fig. 4.7 年齢別・性別の DLE_F (Case1)



Case2 Male



Case2 Female

Fig. 4.8 年齢別・性別の DLE_F (Case2)

4.2.3. 個人特性を考慮した低体温症評価関数の検証

Case1 は、Case2 と比較して 0～14 歳で一定温度以下において DLE_F が急激に短縮されている。これは、体表面積/体重が大きい乳幼児が、厳寒環境において体重に対する熱放散が大きくなることに起因し、ベルクマンの法則の理論と一致する。さらに、女性特有の特徴として 10～14 歳の DLE_F は比較的大きくなる。これは、基礎代謝のピークが男性は 15～29 歳なのに対し、女性は 10～14 歳にピークがあることに起因する。人体蓄熱量における体表面積/体重による補正を行わなかった Case2 では、ベルクマンの法則による補正がかからず、身体の小さな幼少期の子供が最も寒さに強いという結果となり、実情と大きな乖離がある結果となった。

一方で Case1 においては、0℃以上の範囲において、乳幼児が成人よりも寒さに強いという結果が示されている。これは、計算上は正しいものの、実情と乖離があるものととらえ、危険側（実際よりも楽観的）の評価となる可能性があることを示唆する。

以上より、検討した個人特性を考慮した低体温症評価関数の適用は慎重になるべきであるとの結論に至った。また、乳幼児以外の年齢については、いずれも年齢差・性差による差異は軽微であり、適用を見送ることによる弊害は少ない。

4.3. 低体温症発症者数推定の精度検証

第1章で述べた通り、低体温症の発症時刻を踏まえたデータはほとんど蓄積がない。そこで、本研究では、低体温症発症者数推定の精度検証に、令和6年能登半島地震の珠洲市における低体温症・凍死者数を基に検証を行った。NHK²²⁾によると、2024年1月30日時点で、珠洲市における低体温症・凍死者数は15名となっている。建物被害については、石川県災害対策本部の第32回災害対策本部員会議²³⁾にて同年1月31日14時現在に公表された被害等の状況について（第75報）を用いる。ここでは、全壊2,124棟、半壊1,114棟、一部破損1,577棟となっている。負傷者は同じく災対本部員会議²³⁾より重傷者47名、継承者202名とした。また、気象条件は、珠洲市の1月1日16:10～1月2日0:00までの平均気温・風速²⁴⁾を採用した。

閉じ込め者数の推定には、令和5年住宅土地統計調査²⁵⁾の空き家率より0.263、木造住宅率0.96とした。脱出率は四井ら²⁶⁾の分析結果を用いて、Table 4.7のとおりとした。なお、ここでの脱出率は脱出までの時間が短時間となり低体温症に係る影響が軽微となる自力脱出と家族の協力による脱出の合計とした。閉じ込め率は兵庫県南部地震のアンケート調査²⁷⁾による閉じ込め率を用いた。平均世帯人数、男女比等は珠洲市による令和5年版統計値²⁸⁾を採用した。

検証結果をFig. 4.9に示す。おおよそ17時間超で15人（実データ）を超え、52時間後には、ほぼピークに達した。これは、対象を負傷者に絞ったものの、実データをよく表している。また、消防庁災害対策本部による令和6年能登半島地震による被害及び消防機関等の対応状況（第63報）²⁹⁾によると、珠洲市内で1月2日には4名、1月3日には9名の救助が行われている。この被救助者についても考慮しても、本推定手法は一定程度の精度が担保されるものであると言える。

Table. 4.7 脱出率

建物被害	自力脱出	自力+家族
一部破損	0.86	0.98
半壊	0.87	0.98
全壊	0.74	0.97
完全崩壊	0.54	0.73

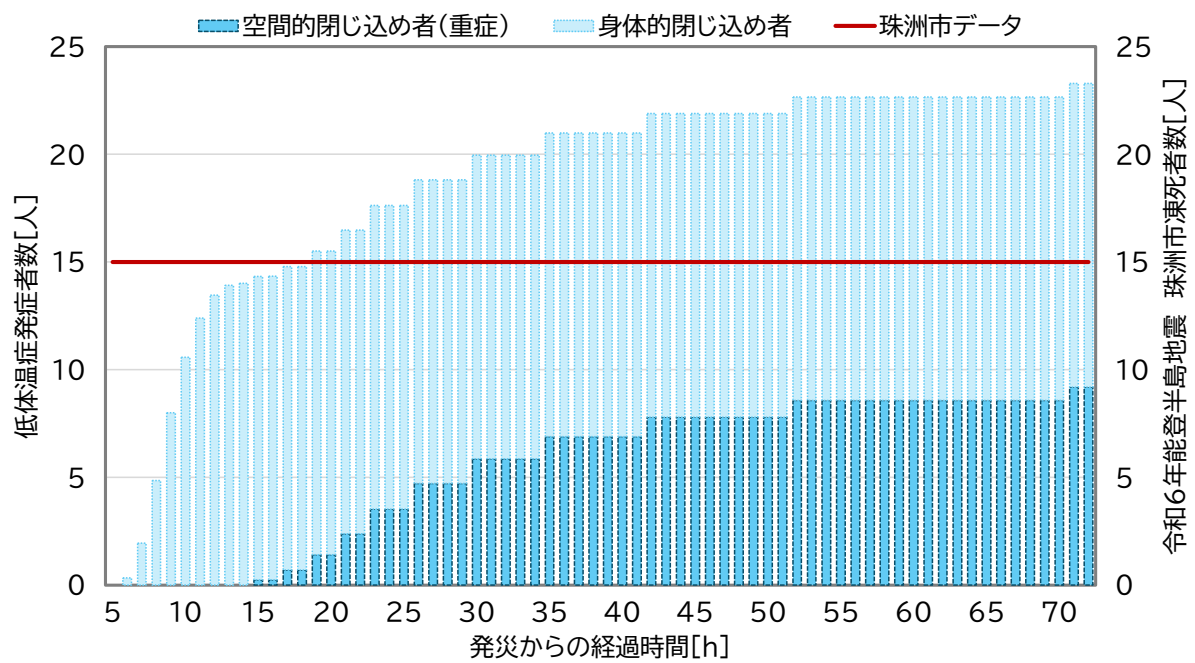


Fig. 4.9 令和6年度能登半島地震の珠洲市における低体温症・凍死者数再現結果

第4章 「低体温症発症者推定手法の構築」の参考文献

- 1 一般財団法人海技振興センター：船員の低体温症対策ガイドブック, 2024.06.03 現在
https://www.maritime-forum.jp/et/pdf/h28_Guidelines_for_Controlling_Hypothermia_at_Sea.jp.pdf
- 2 村山雅己, 中橋美智子: 海洋暴露環境における人体の温熱制御に関する基礎的研究(第1報), 日本造船学会論文集, 1993(173), 433-439, 1993.
DOI: <https://doi.org/10.2534/jjasnaoe1968.1993.433>
- 3 沼尻幸吉: 労働の強さと適正作業量, 労働科学叢書, 第7, 労働科学研究所, 1955
- 4 中江悟司, 吉村栄一, 小野玲: 改定第2版『身体活動のメッツ (METs) 表』成人版, 2023.04.15 現在
https://www.nibn.go.jp/activities/documents/2024Compendium_table_adult_ver1_1_5.pdf
- 5 村山雅己, 中橋美智子: 海洋暴露環境における人体の温熱制御に関する基礎的研究(第2報), 日本造船学会論文集, 1994(176), 525-541, 1994.
DOI: https://doi.org/10.2534/jjasnaoe1968.1994.176_525
- 6 村山雅己, 福地信義, 中橋美智子: 海洋暴露環境における人体の温熱制御に関する基礎的研究(第3報), 日本造船学会論文集, 1995(178), 617-627, 1995.
DOI: https://doi.org/10.2534/jjasnaoe1968.1995.178_617
- 7 Y. Nishi, A.P. Gagge: Humid operative temperature. A biophysical index of thermal sensation and discomfort, J. Physiol. (Paris). 63 (1971) 365-368.
- 8 真島英信: 生理学, 文光堂, 1957 第2版
- 9 A.C. Burton, O.G. Edholm, 'Man in a Cold Environment: Physiological and Pathological Effects of Exposure to Low Temperatures', Facsimile of 1955 Hafner Publishing Co. (Ed.), New York, 1969.
- 10 松岡脩吉: 平均皮膚温と「ぬれ面積」との関係, 第8回人間熱環境シンポジウム報告集, 73-76, 1984.
- 11 Y. Nishi, A.P. Gagge, Direct evaluation of convective heat transfer coefficient by naphthalene sublimation, J. Appl. Physiol. 29 (1970) 830-838.
DOI: <https://doi.org/10.1152/jappl.1970.29.6.830>
- 12 International Organization for Standardization, Ergonomics of the thermal environment – Determination and interpretation of cold stress when using required clothing insulation (IREQ) and local cooling effect, 2007., accessed 15 April 2023.
<https://www.iso.org/standard/38900.html>
- 13 Akito Iida, Tadayoshi Nakashima, Shigeyuki Okada: Development of an estimation method for accidental hypothermia risk due to cold exposure in disasters triggered by earthquakes and tsunamis, International Journal of Disaster Risk Reduction, Volume 96, 1 October 2023, 103999.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2023.103999>
- 14 I. Holmer: Required clothing insulation (IREQ) as an analytical index of cold stress, ASHRAE Trans. 90 (1984) 1116-1128., accessed 15 April 2023.
https://www.techstreet.com/standards/at-84-20-6-required-clothing-insulation-ireq-as-an-analytical-index-of-cold-stress?product_id=1827247
- 15 B.W. Olesen, Y. Hasebe: Thermal Environment and Clothing Comfort, Sen-i Gakkaishi. 43 (1987). Journal of the Society of Fiber Science and Technology P210-P221.
DOI: https://doi.org/10.2115/fiber.43.6_P210
- 16 International Organization for Standardization, Ergonomics of the thermal environment – Determination and interpretation of cold stress when using required clothing insulation (IREQ) and local cooling effect, 2007., accessed 15 April 2023.
<https://www.iso.org/standard/38900.html>
- 17 内閣府 (防災担当), 日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震対策検討ワーキンググループ (第6

-
- 回), 被害想定手法について(案)(積雪寒冷特有の影響を踏まえた被害想定手法)
- 18 SHONAN-AREA MEDICAL CONTROL COUNCIL, 偶発性低体温症ガイドライン 2018, 初版
- 19 総務省統計局: e-Stat, 2024.04.01 現在
<https://www.e-stat.go.jp/dbview?sid=0003224177>
- 20 厚生労働省国立保健医療科学院: e-ヘルスネット, 2024.04.01 現在
<https://www.e-healthnet.mhlw.go.jp/information/exercise/s-02-004.html>
- 21 藤本薫喜, 渡辺孟, 坂本淳, 湯川幸一, 森本和江: 日本人の体表面積に関する研究 第 18 篇 三期にまとめた算出式, 日衛誌 23(5), 443-450, 1968
 DOI: <https://doi.org/10.1265/jjh.23.443>
- 22 NHK: 能登半島地震 死因は「圧死」約 4 割 「低体温症」や「凍死」も, 2024.06.03 現在
<https://www3.nhk.or.jp/news/html/20240131/k10014341451000.html>
- 23 石川県: 災害対策本部員会議, 第 32 回 (1 月 31 日 16 時 00 分), 2025.05.03 現在
<https://www.pref.ishikawa.lg.jp/saigai/documents/0131siryou.pdf>
- 24 気象庁, 過去の気象データ検索, 2024.05.06 現在
https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php?prec_no=14&block_no=47412&year=&month=&day=&view=
- 25 総務省統計局: 令和 5 年住宅・土地統計調査, 2025.05.03 現在
<https://www.stat.go.jp/data/jyutaku/2023/tyousake.html>
- 26 四井早紀, 片寄圭一郎, 村上ひとみ, 中嶋唯貴, 小山真紀: 1995 年兵庫県南部地震における住民の脱出・救出に関する分析, 日本地震工学会第 17 回年次大会梗概集, TS20220236, 1-10, 2022 年 12 月
- 27 村上ひとみ, 竹田宏樹: 1995 年兵庫県南部地震における閉じ込めと人的被害発生に関する樹形モデルー東灘区アンケートデータよりー 東濃地震科学研究報告, 57-76, 2003.
- 28 珠洲市: 令和 5 (2023) 年版 統計すず, 2024.06.03 現在
<https://www.city.suzu.lg.jp/uploaded/attachment/5300.pdf>
- 29 消防庁災害対策本部: 令和 6 年能登半島地震による被害及び消防機関等の対応状況(第 63 報), 2025.05.03 現在
<https://www.fdma.go.jp/disaster/info/items/20240101notohanntoujishinn63.pdf>

5. 低体温症発症者数推定

本章では、第 4 章で構築した低体温症の評価関数を用いて、地震被害想定を踏まえた低体温症発症者数の推定を行う。

5.1. 建物被害に伴う身体的閉じ込め者の偶発性低体温症リスク

5.1.1. 閉じ込めによる低体温症発症者数推定の流れ

本リスク評価における低体温症発症者推定の流れを Fig. 5.1 に示す。

地震被害想定については、北海道¹⁾で採用されている岡田・中嶋²⁾による人的被害推定式に筆者らの提案する低体温症リスクの推定手法を用いることで、建物倒壊に起因する閉じ込め者における低体温症発生者の推定を試みる。

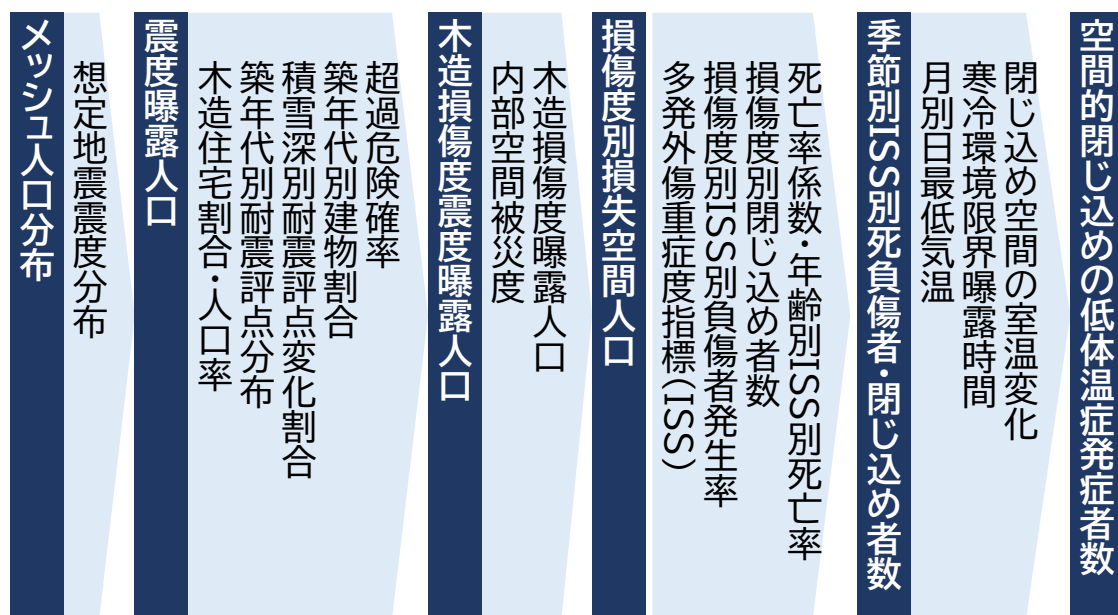


Fig. 5.1 被害想定の流れ

5.1.2. 人的被害推定式の精度検証

本研究にて採用した岡田・中嶋²⁾及び関連する被害推定式については、群馬県³⁾で建物被害について、防災科学技術研究所⁴⁾及び佐伯ら⁵⁾により人的被害について、実データを用いた検証がなされている。

(1) 群馬県による検証結果

群馬県では、木造建物を岡田・中嶋(2008)⁶⁾による計測震度の被害関数で、非木造を中央防災会議(2004)による計測震度の被害関数で推定した検証結果を示している。

検証結果では、消防庁による災害情報の値を用いた比較を行っており、「中嶋・岡田(2008)による全国平均の耐力分布に基づく被害関数は、1995年兵庫県南部地震の被害数は過小評価であるが、他の4つの被害地震の被害数は全体的に過大評価であるものの、今回の中で最も実際の被害数に近い値となっている。」と結論付けている。

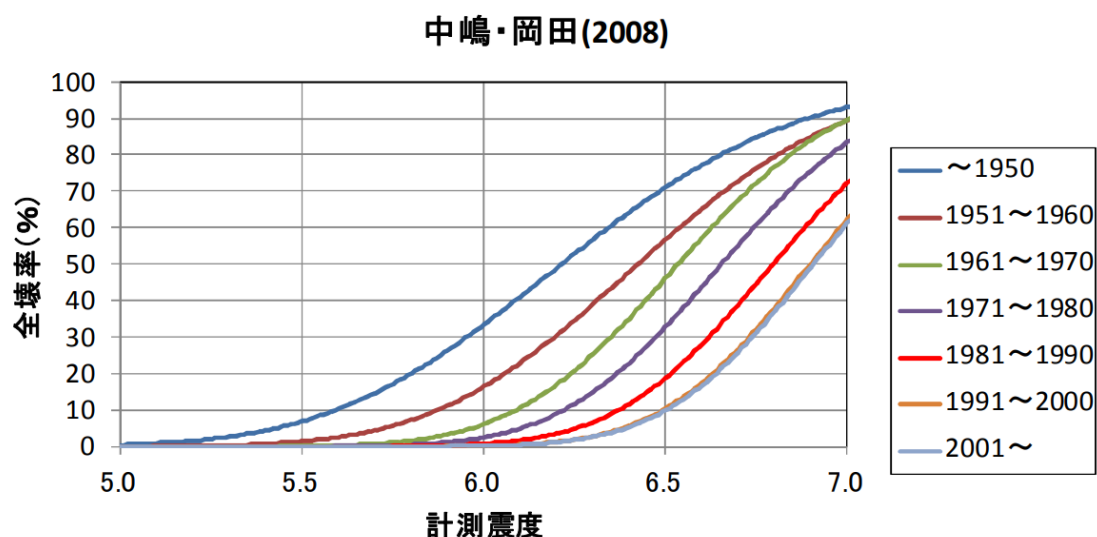


Fig. 5.2 木造建物における計測震度－全壊率の関係

Table. 5.1 5つの被害地震の全壊棟数、全半壊棟数の推定結果と実被害

文献	地震動指標	被災度	兵庫県南部	鳥取県西部	新潟県中越	能登半島	新潟県中越沖
中嶋・岡田 (2008)	計測震度	全壊	57,417	628	6,518	1,135	6,152
		全半壊	150,450	3,490	17,218	3,015	14,046
	実被害	全壊	104,906	435	3,175	686	1,331
		全半壊	249,180	3,536	16,985	2,426	7,039

(2) 防災科学技術研究所及び佐伯らによる検証結果

防災科学技術研究所及び佐伯らは、岡田・中嶋²⁾の手法により算出した結果を、医療分野で活用する重症度・緊急度判断基準⁷⁾(Abbreviated Injury Scale: 以下、AIS) から意思決定や事後の検証を考えると内閣府の被害認定基準(軽傷・重傷・重体)に変換することを提案している。ここに、算出手法自体は岡田・中嶋²⁾の手法を用いており、この検証結果を参照して手法の精度を確認する。

ISS値 (カテゴリ)		人的被害区分	定義
～8	軽症・中等症	軽 傷	内閣府の被害認定基準
8～15	重症	重 傷	内閣府の被害認定基準
16～24	重篤	重 体	トリアージで「赤」相当
25～40	瀕死		
41～75	死亡相当	死 者	内閣府の被害認定基準

※着色部は中嶋・岡田(2015)に算出方法がない人的被害区分

Fig. 5.3 佐伯らにより出力された人的被害区分

Table. 5.2 重傷者・重体者推定パラメータの推定結果

ISS カテゴリ			推定パラメータ			死亡 率 ²⁰⁾
i	ISS 値		軽傷	重傷	重体	
1	1～8	軽症・中等症	83.2%	15.9%	0.9%	0.9%
2	9～15	重症	81.6%	16.2%	12.0%	2.2%
3	16～24	重篤	0.0%	93.1%	93.1%	6.9%
4	25～40	瀕死	0.0%	71.7%	71.7%	28.3%
5	41～	死亡相当	0.0%	38.2%	38.2%	61.8%

※死亡率は外傷データバンク²¹⁾による

人的被害について、佐伯らは「散布図 (Fig. 5.4 左図) を見ると重傷者数の推定結果が実被害の倍以上となっている市区町村が目立つ。これらは熊本地震(本震)の被災地で、これらを除いた散布図 (Fig. 5.4 右図) では多くの市区町村の重傷者数が倍半分の範囲に収まっている。熊本地震(本震)については、前述のとおり前震によって建物外へ避難していたために地震発生時の建物内滞留人口が少なかった可能性が考えられる。このほか、重傷者数の推定結果が倍半分の範囲から大きく外れている市区町村の多くは建物被害の誤差も大きいことから、人的被害推定誤差の原因は建物被害推定の誤差と考えられる。」として、概ね推定精度が良好であると結論付けている。

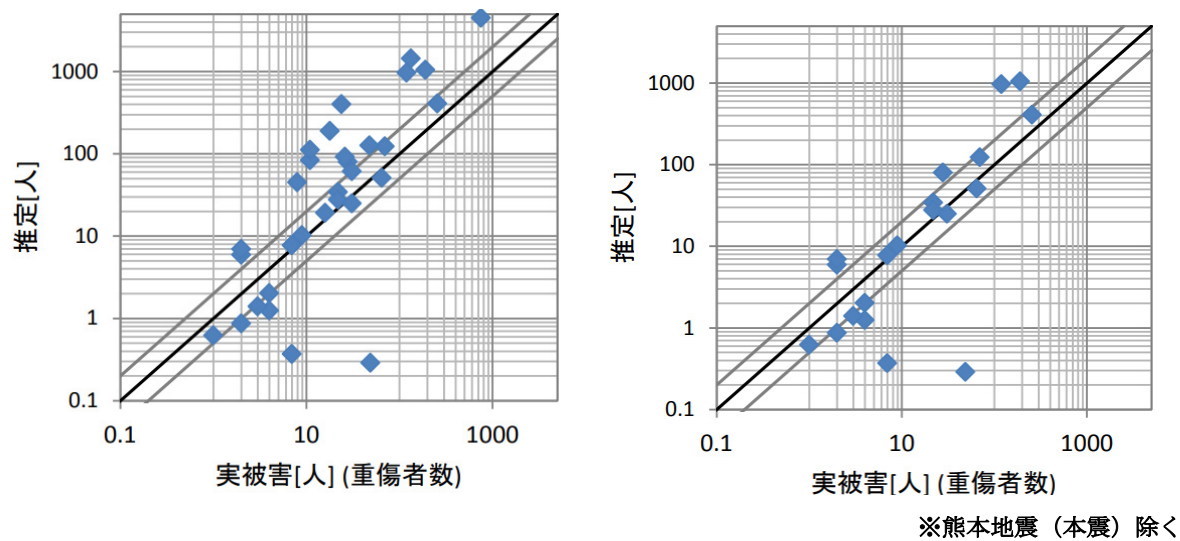


Fig. 5.4 被害関数による建物被害に基づく重傷者数推定結果と実被害の散布図

以上より、岡田・中嶋²⁾の人的被害推定手法の精度は担保されており、本研究においても同手法を採用することとした。

5.1.3. 積雪を考慮した建物損傷に伴う人的被害推定

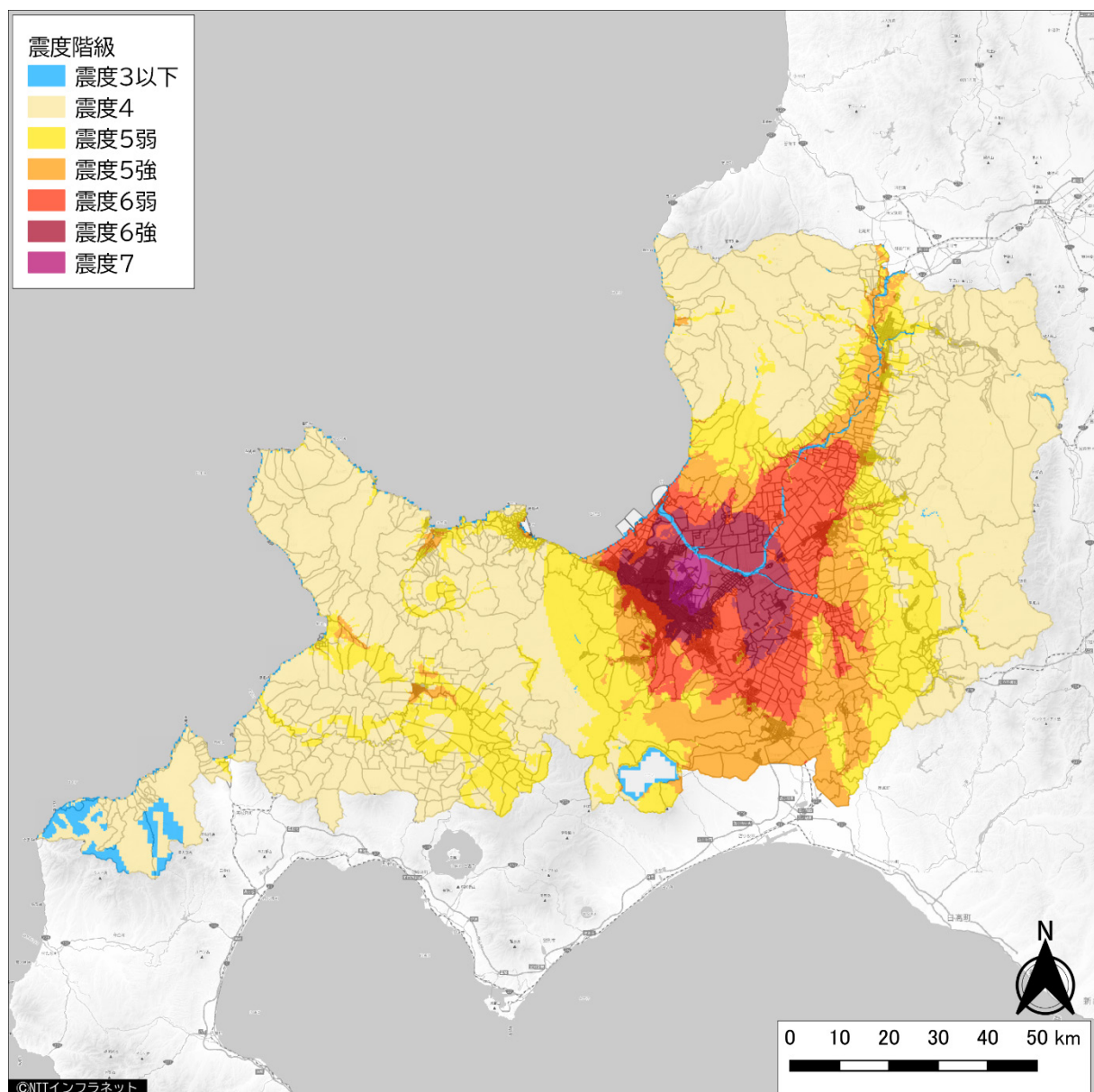
(1) 積雪を考慮した木造損傷度曝露人口の算出

地震時の重傷者や死亡者発生の原因は、震動により木造家屋の構造部材が損傷若しくは破壊され、人体に接触することが大部分を占める。これらが厳冬期に発生した場合、倒壊・損壊した木造建物には外気が流入し、外気と同程度の環境に曝されることとなり、低体温症の発生リスクが格段に高まることが危惧される。

そこで、建物倒壊・損壊による人的被害推定に関して、岡田・中嶋²⁾の評価手法を用いて、250mメッシュ毎の地震による重症度指標⁸⁾（以降、ISS）別人口の算出を行った。地震動については、北海道¹⁾における想定地震から、Table. 5.3 に示す想定地震動を用いた。想定地震の震度分布をFig. 5.5～Fig. 5.19 に示す。また、住宅数・世帯数には令和2年度国勢調査⁹⁾の地域メッシュ（250m×250m）データを用いた。

Table. 5.3 想定地震一覧

商圏	想定地震
札幌商圏	月寒断層、西札幌断層、野幌丘陵断層帯
帯広商圏	十勝平野断層帯、十勝沖
函館商圏	函館平野西縁断層帯、北海道南西沖
旭川商圏	富良野断層帯西部、富良野断層帯東部
釧路商圏	根室沖、十勝沖
北見商圏	標津断層帯
胆振・日高商圏	石狩低地東縁断層帯南部
稚内商圏	サロベツ断層帯、北海道北西沖

Fig. 5.5 月寒断層地震の震度分布¹⁾

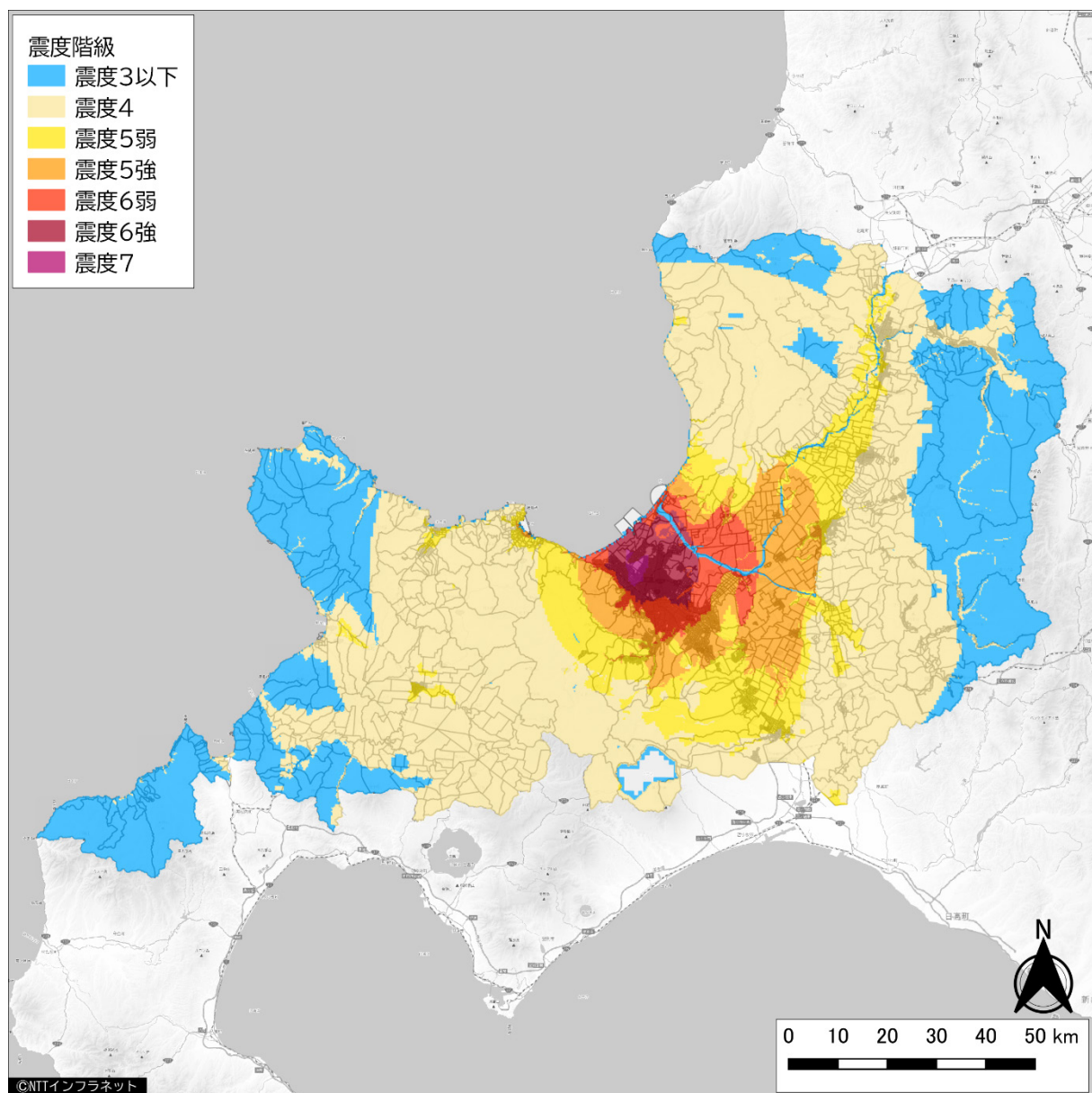
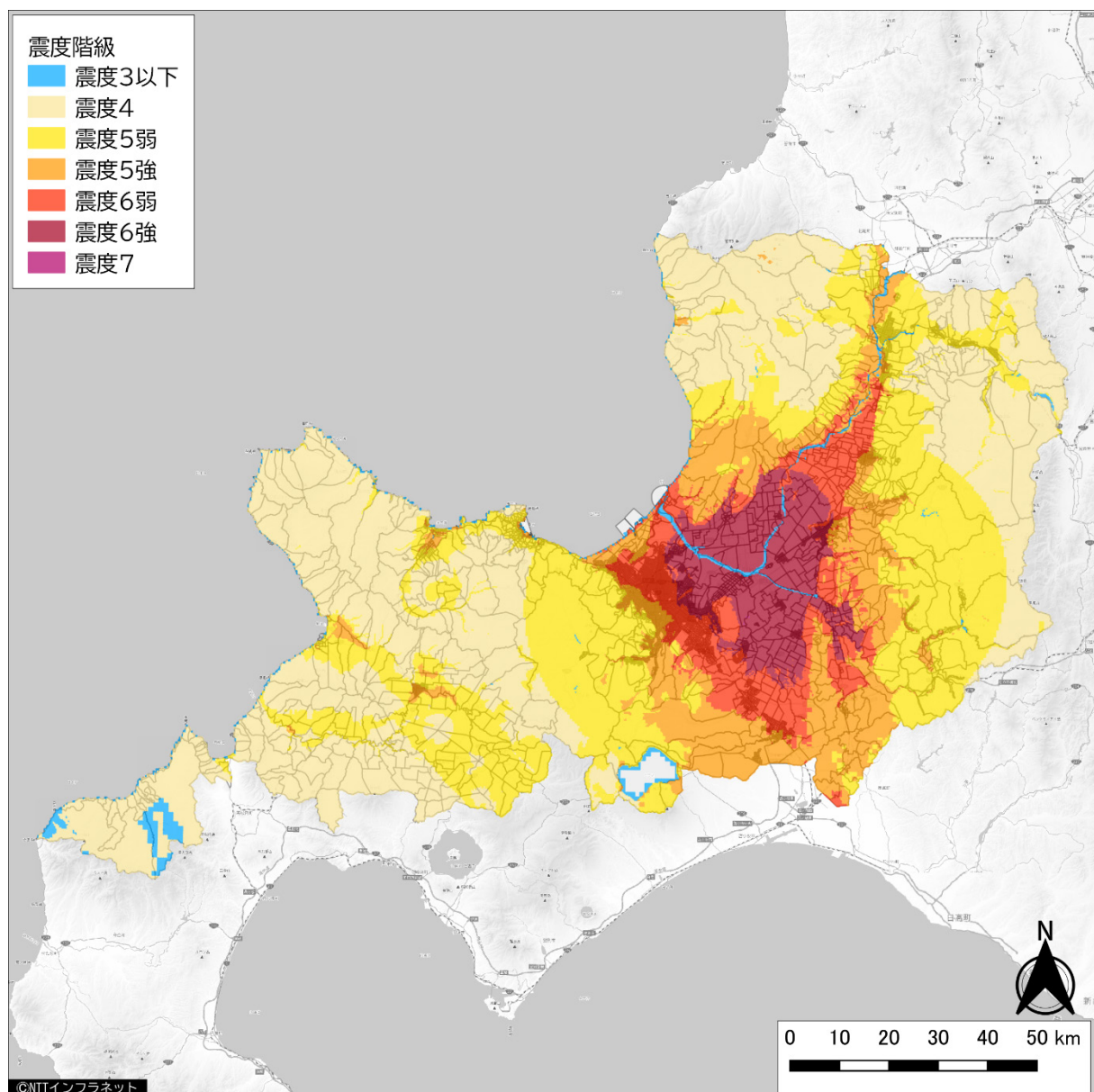


Fig. 5.6 西札幌断層地震の震度分布¹⁾

Fig. 5.7 野幌丘陵断層帯地震の震度分布¹⁾

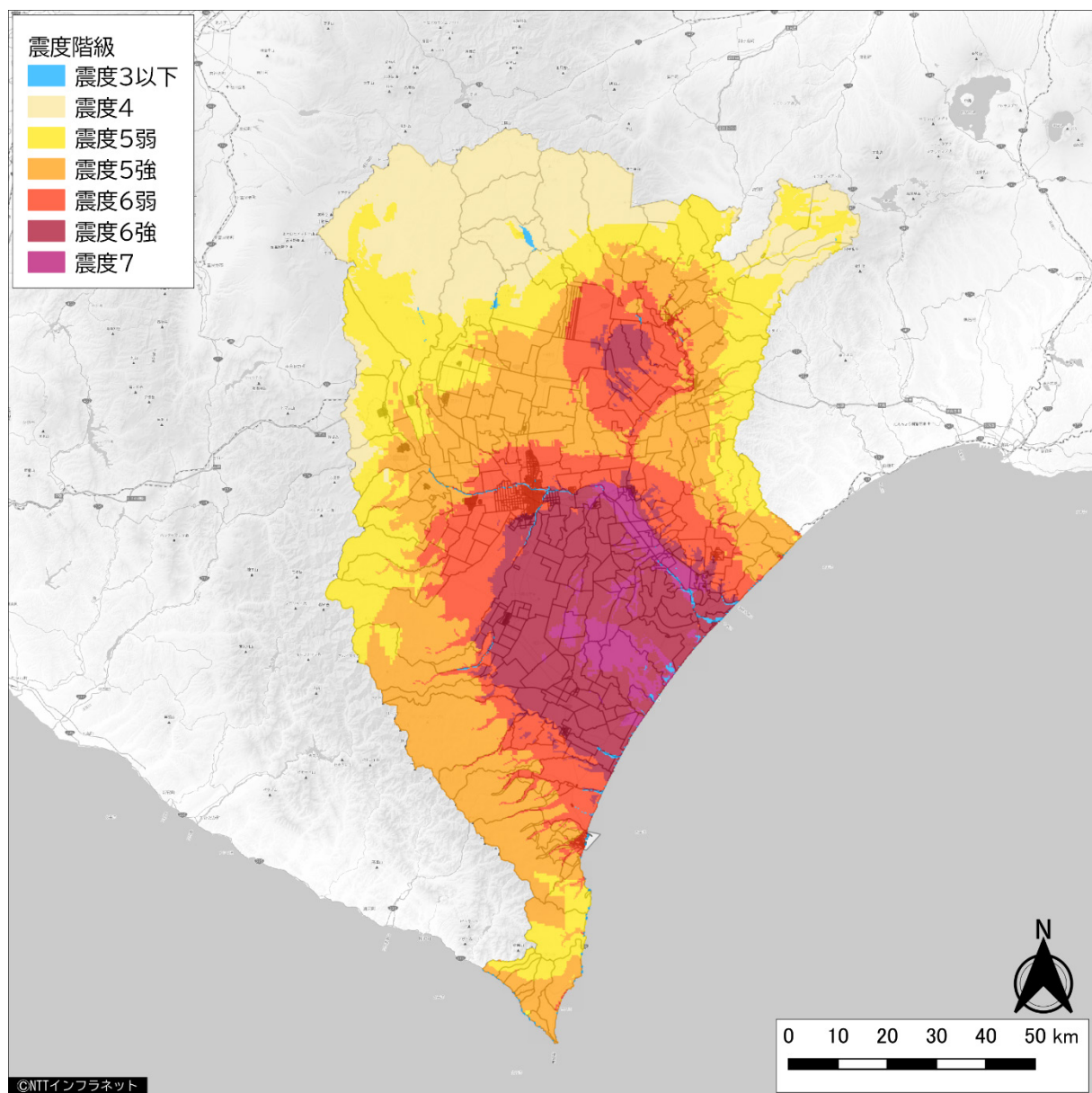
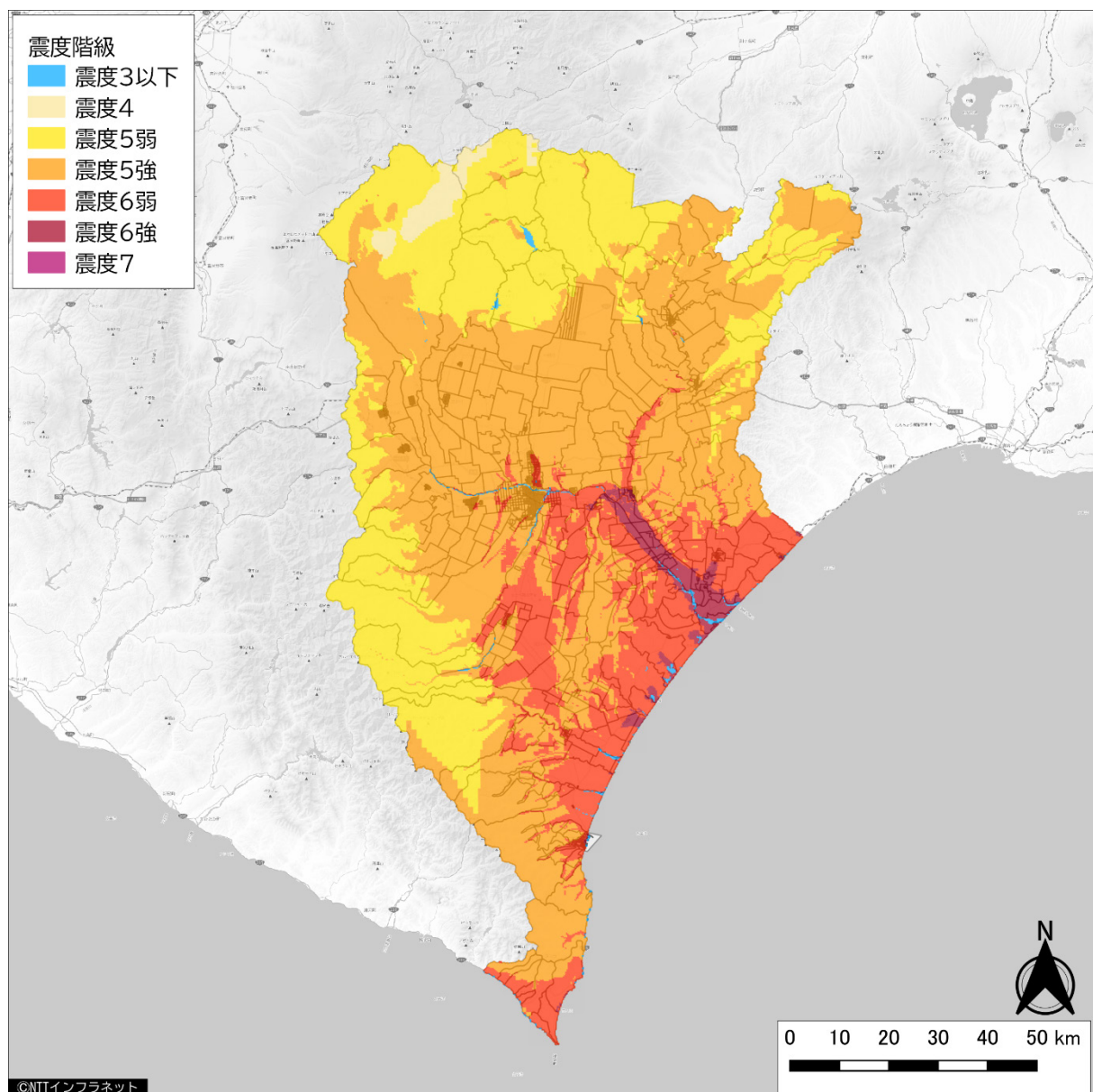


Fig. 5.8 十勝平野断層帯地震の震度分布¹⁾

Fig. 5.9 十勝沖地震の震度分布¹⁾

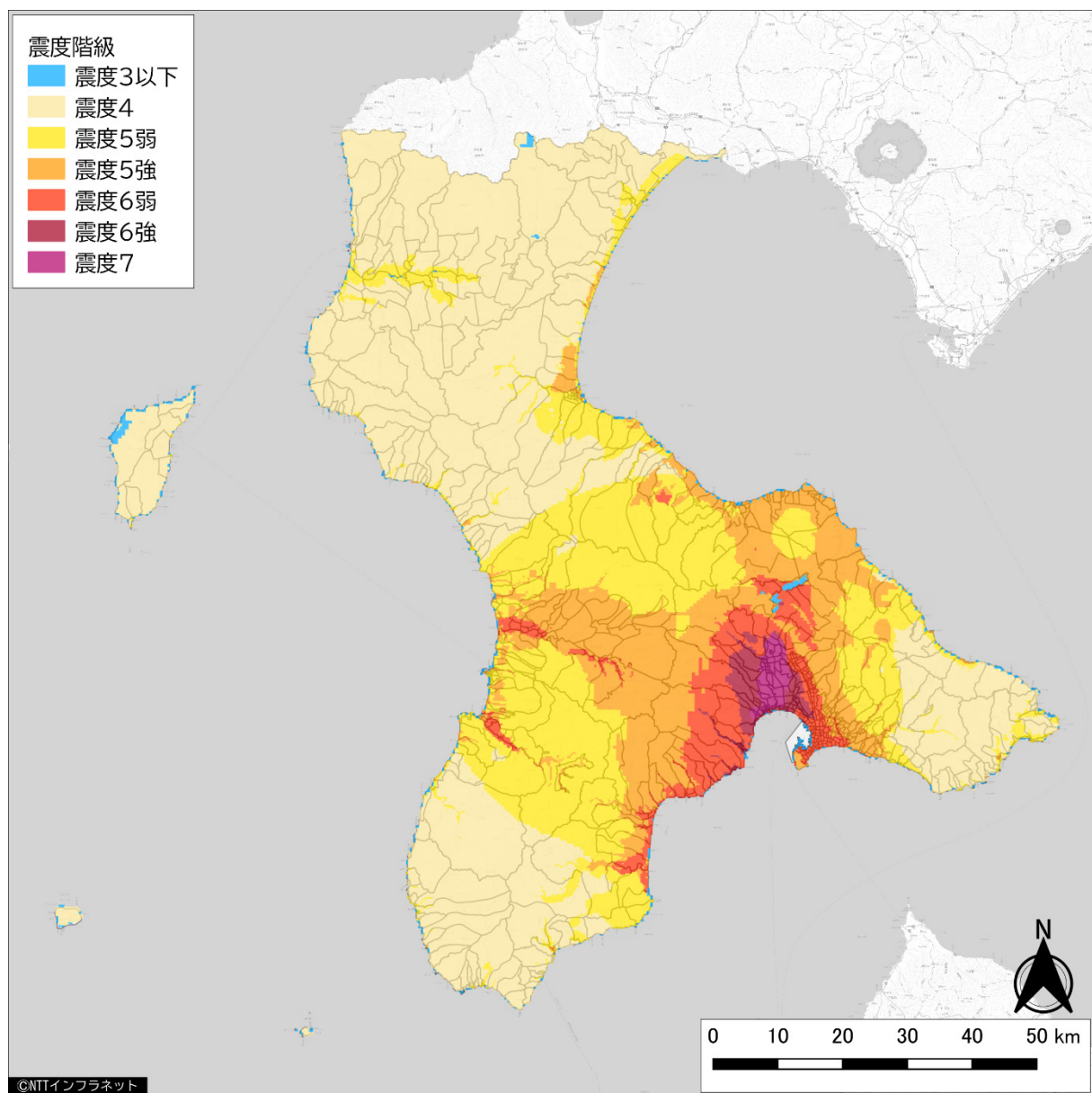
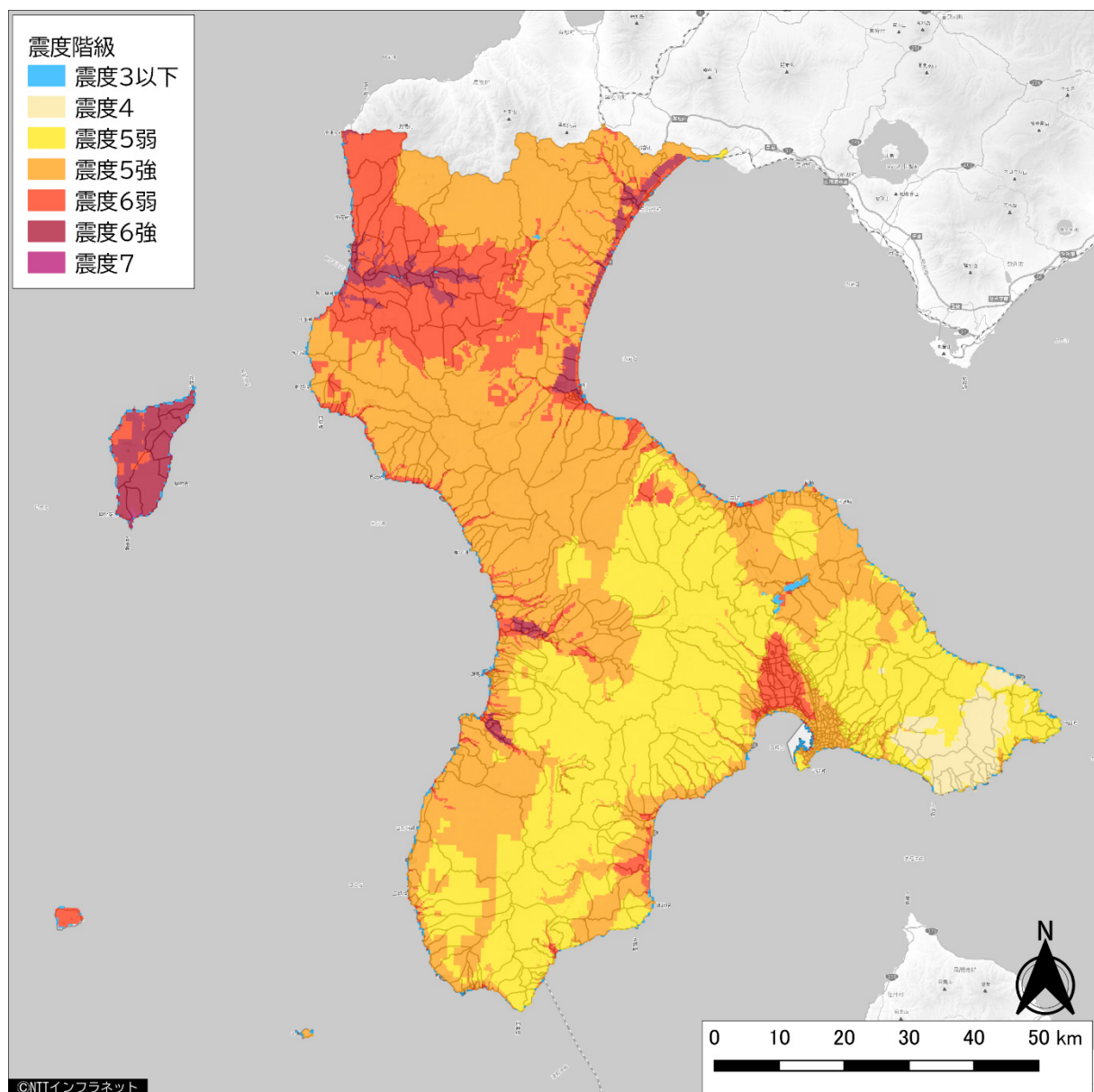


Fig. 5.10 函館平野西縁断層帯地震の震度分布¹⁾

Fig. 5.11 北海道南西沖地震の震度分布¹⁾

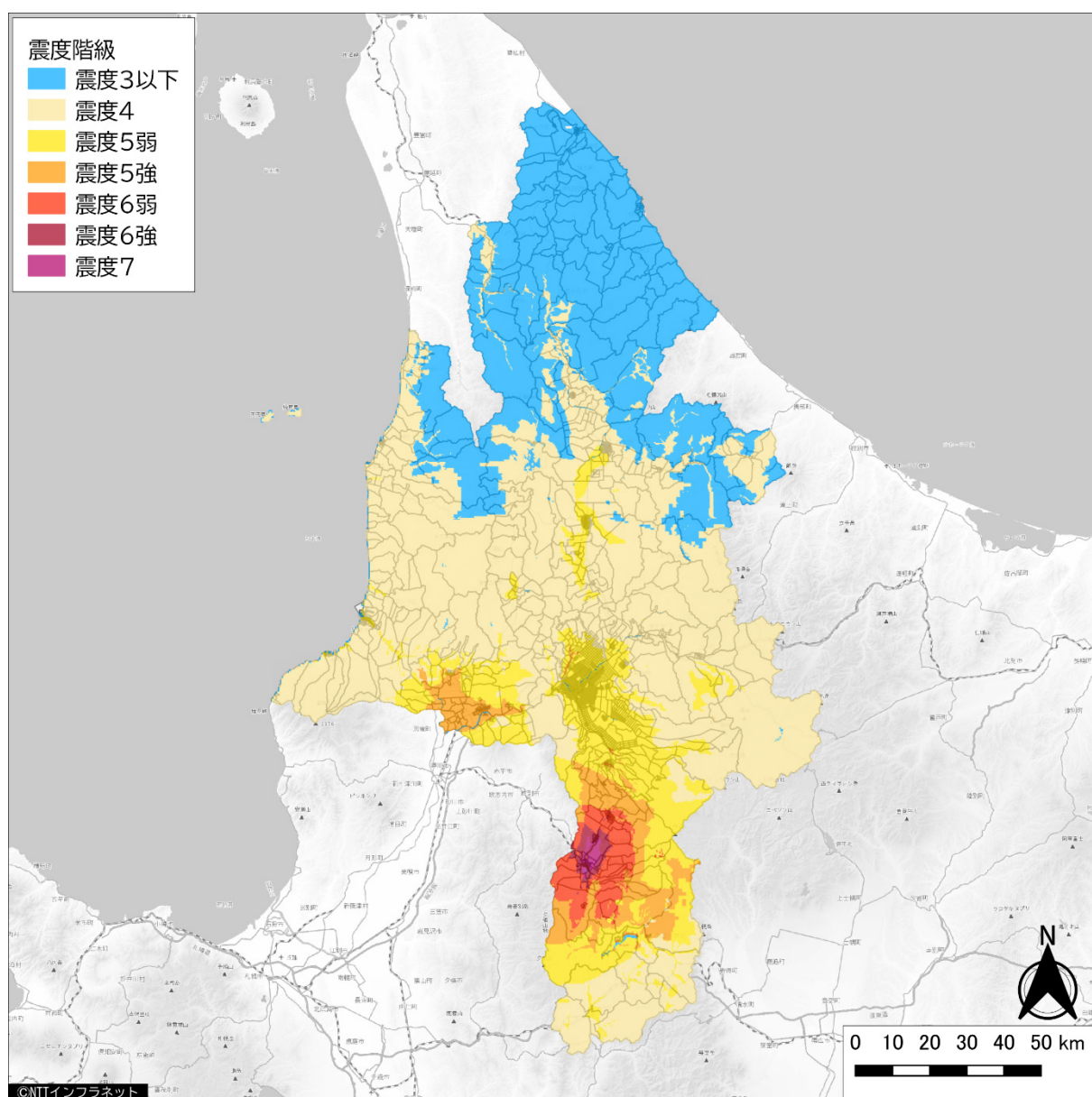
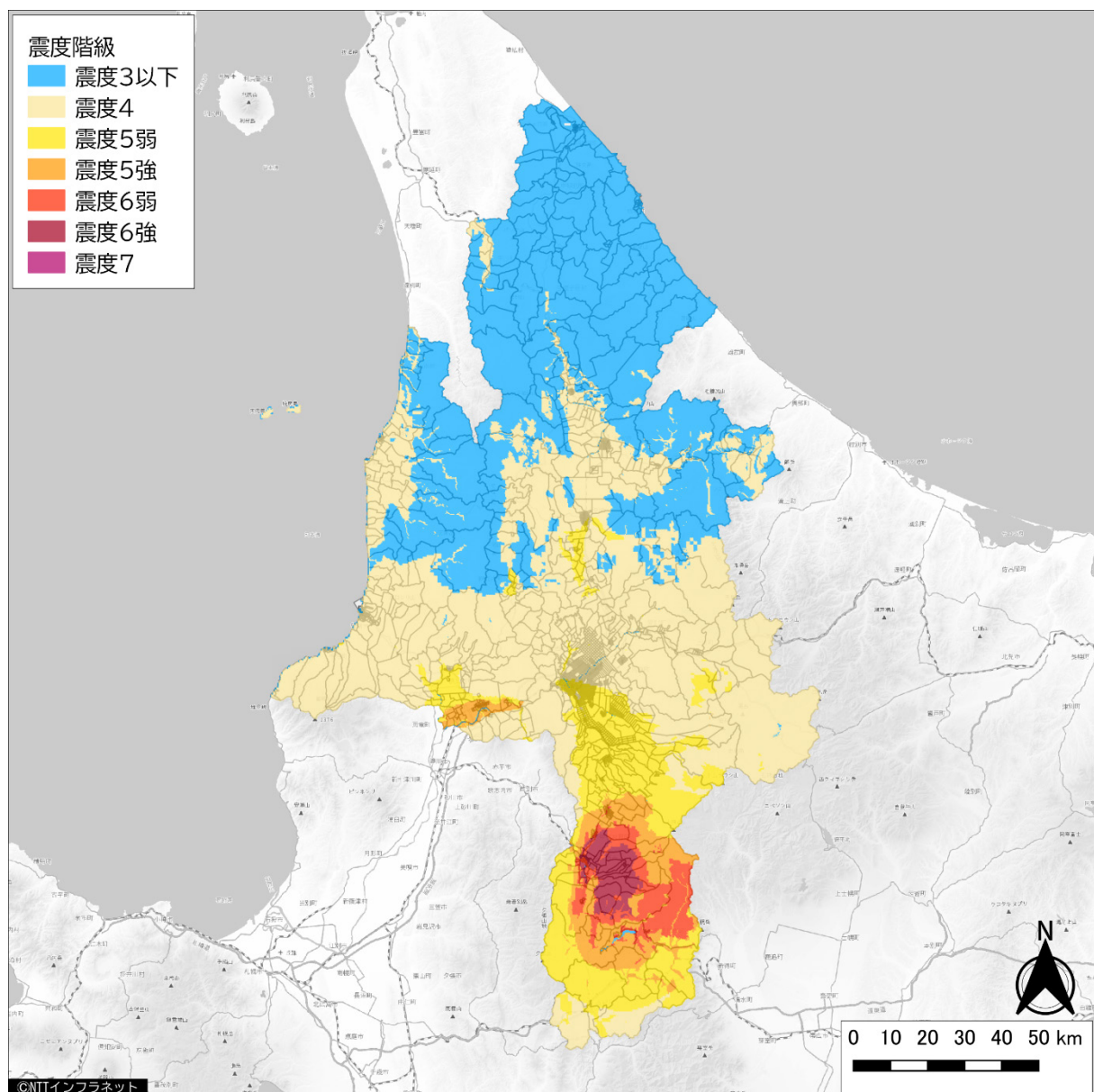


Fig. 5.12 富良野断層帯西部地震の震度分布¹⁾

Fig. 5.13 富良野断層帯東部地震の震度分布¹⁾

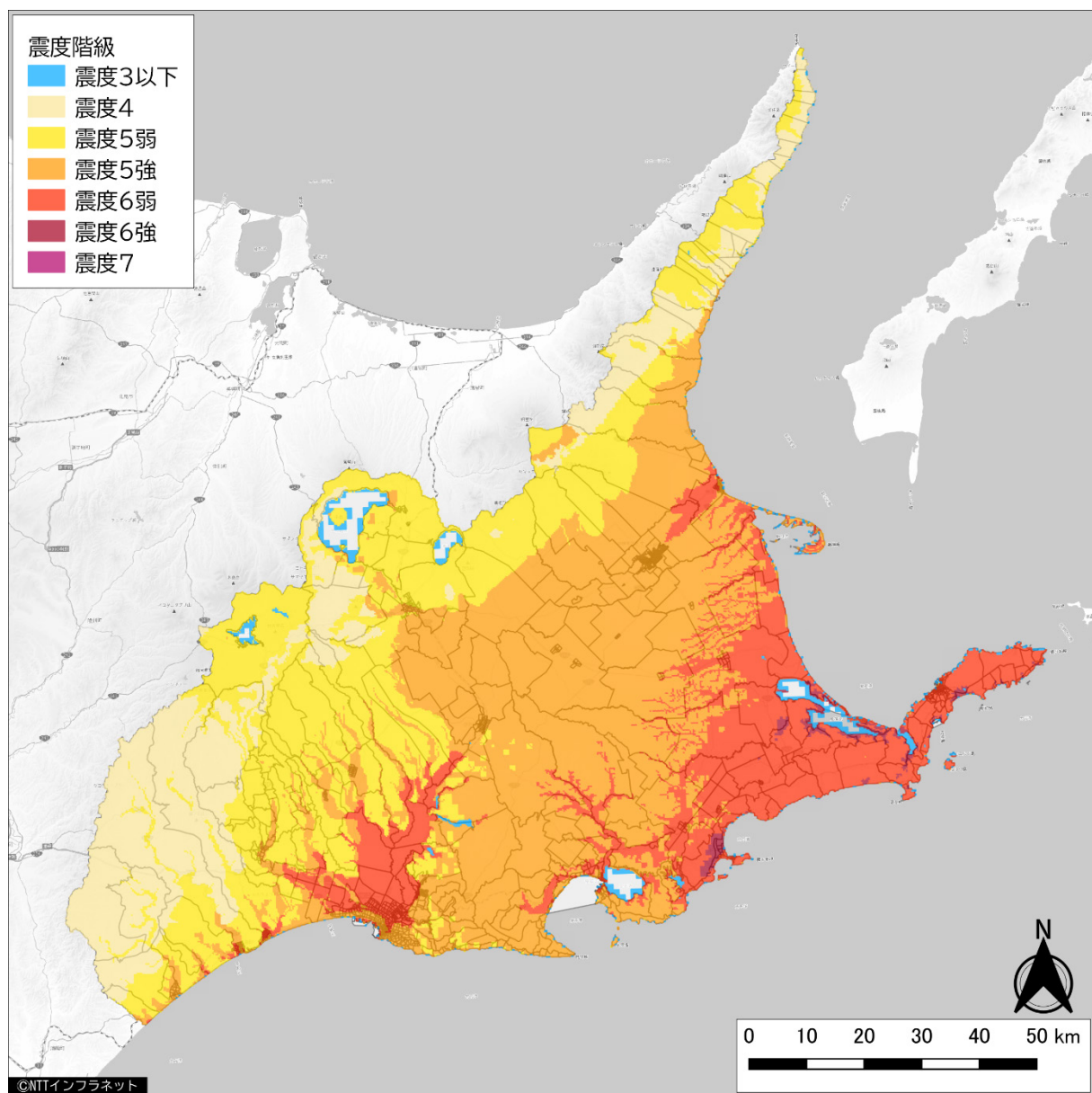
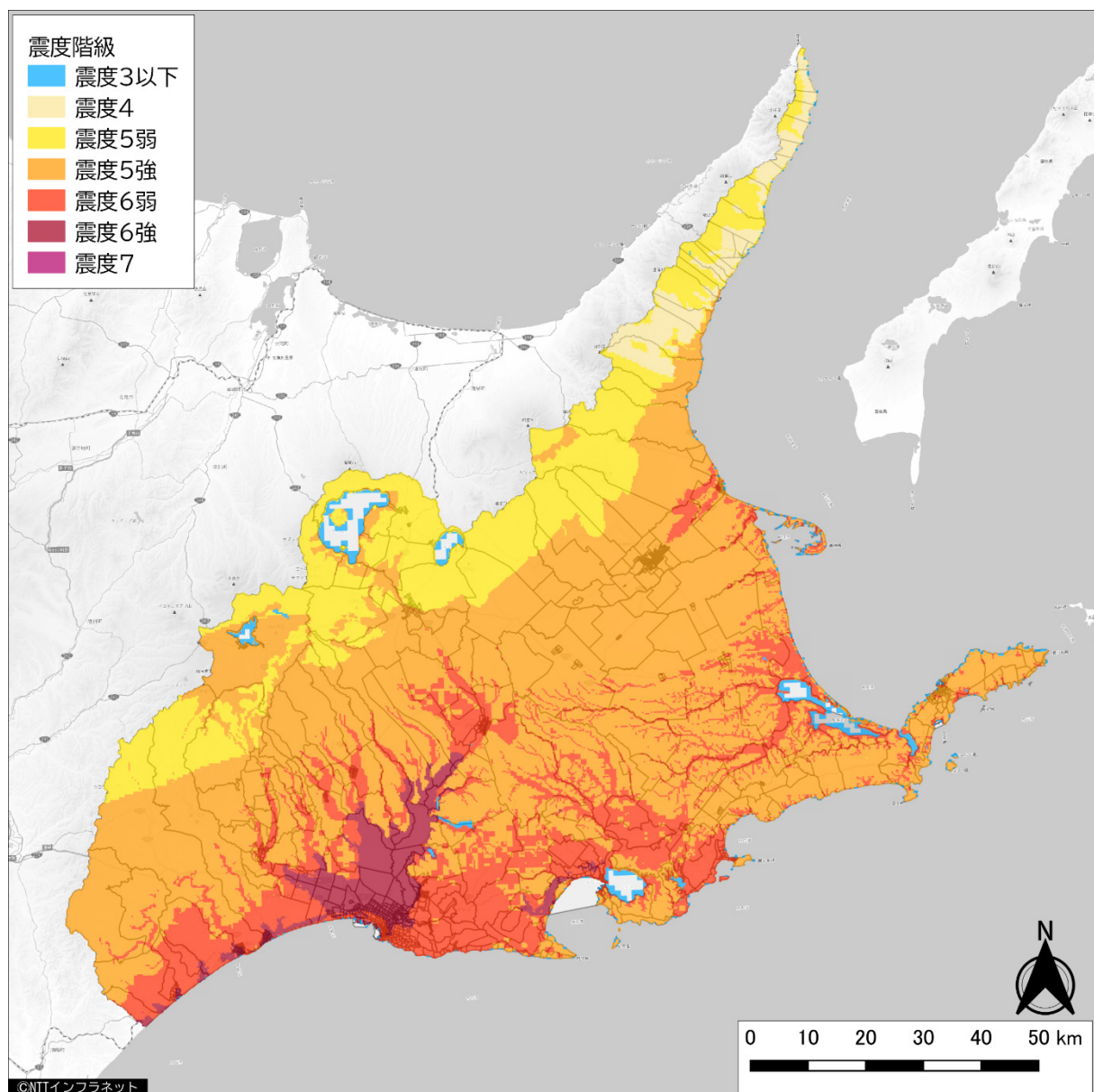


Fig. 5.14 根室沖地震の震度分布¹⁾

Fig. 5.15 十勝沖地震の震度分布¹⁾

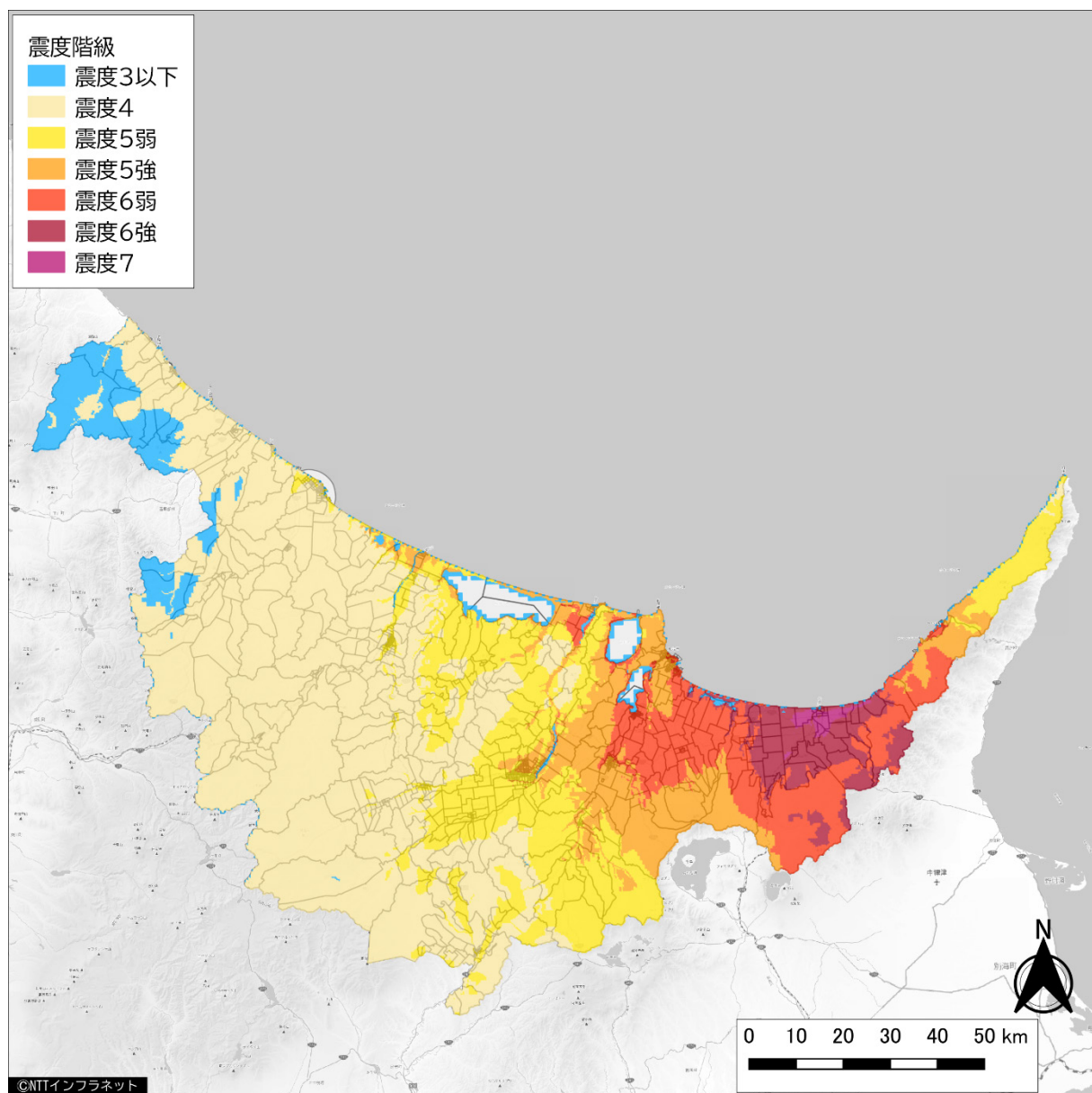
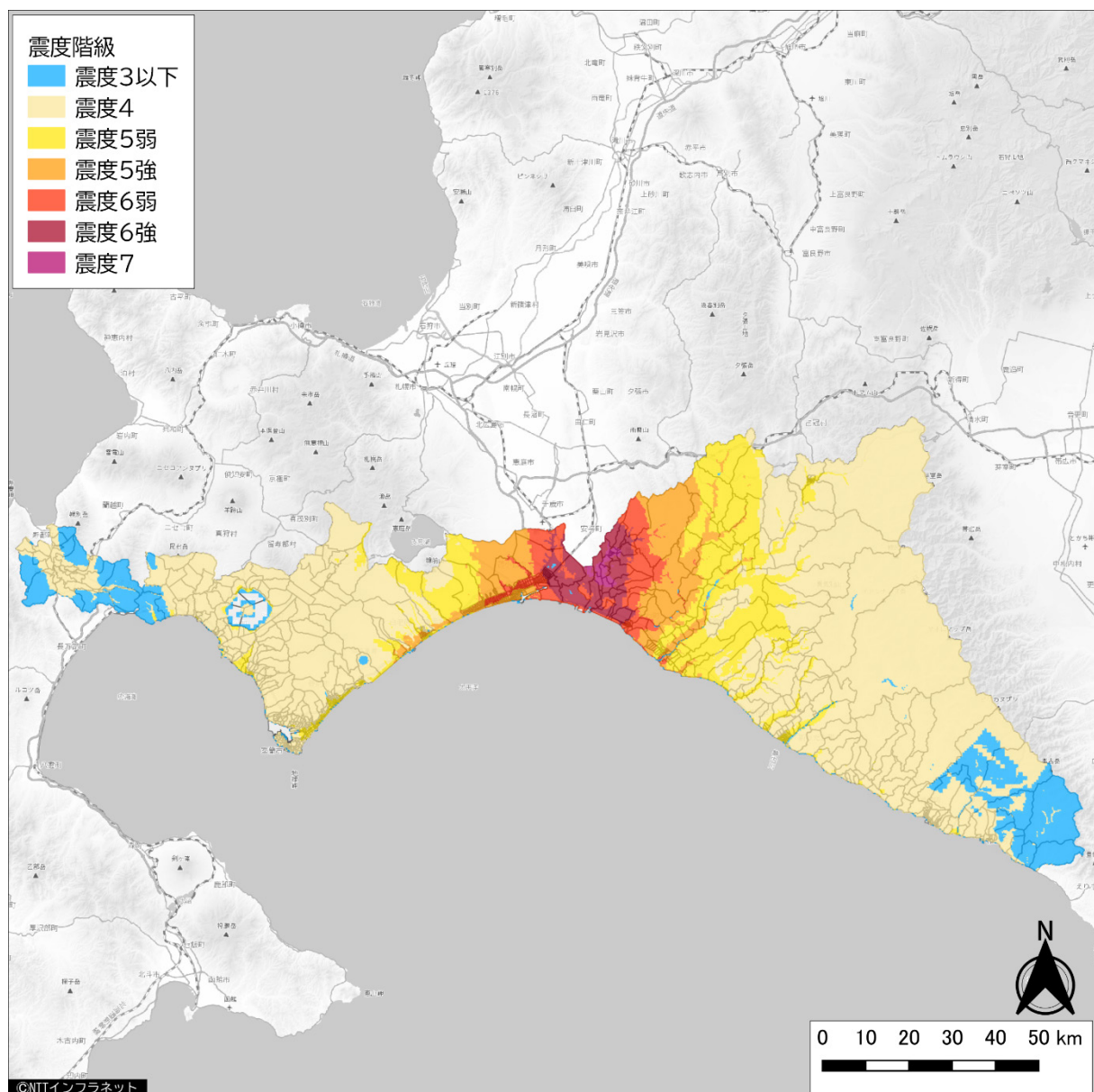


Fig. 5.16 標津断層帯地震の震度分布¹⁾

Fig. 5.17 石狩低地東縁断層帯南部地震の震度分布¹⁾

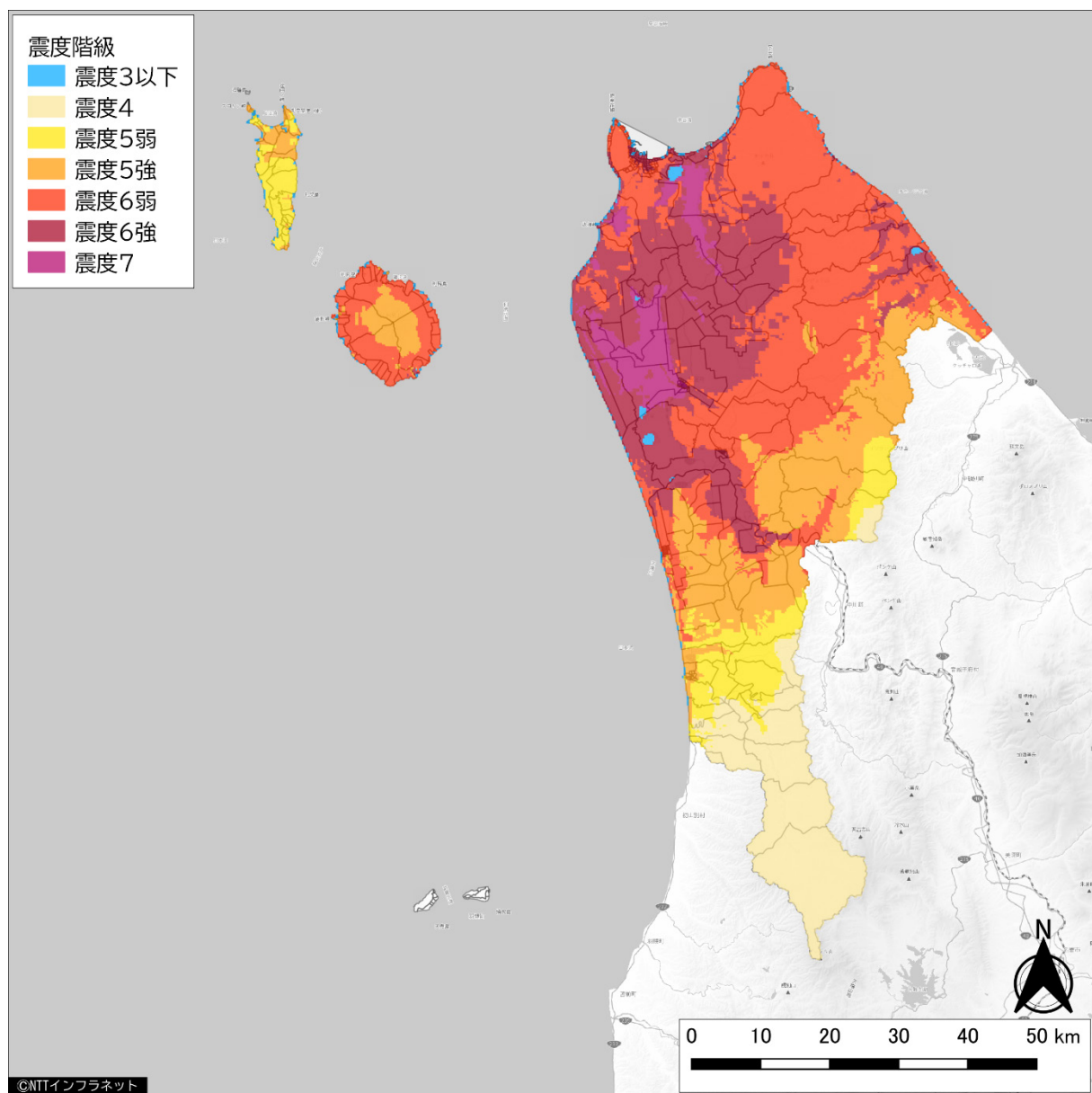
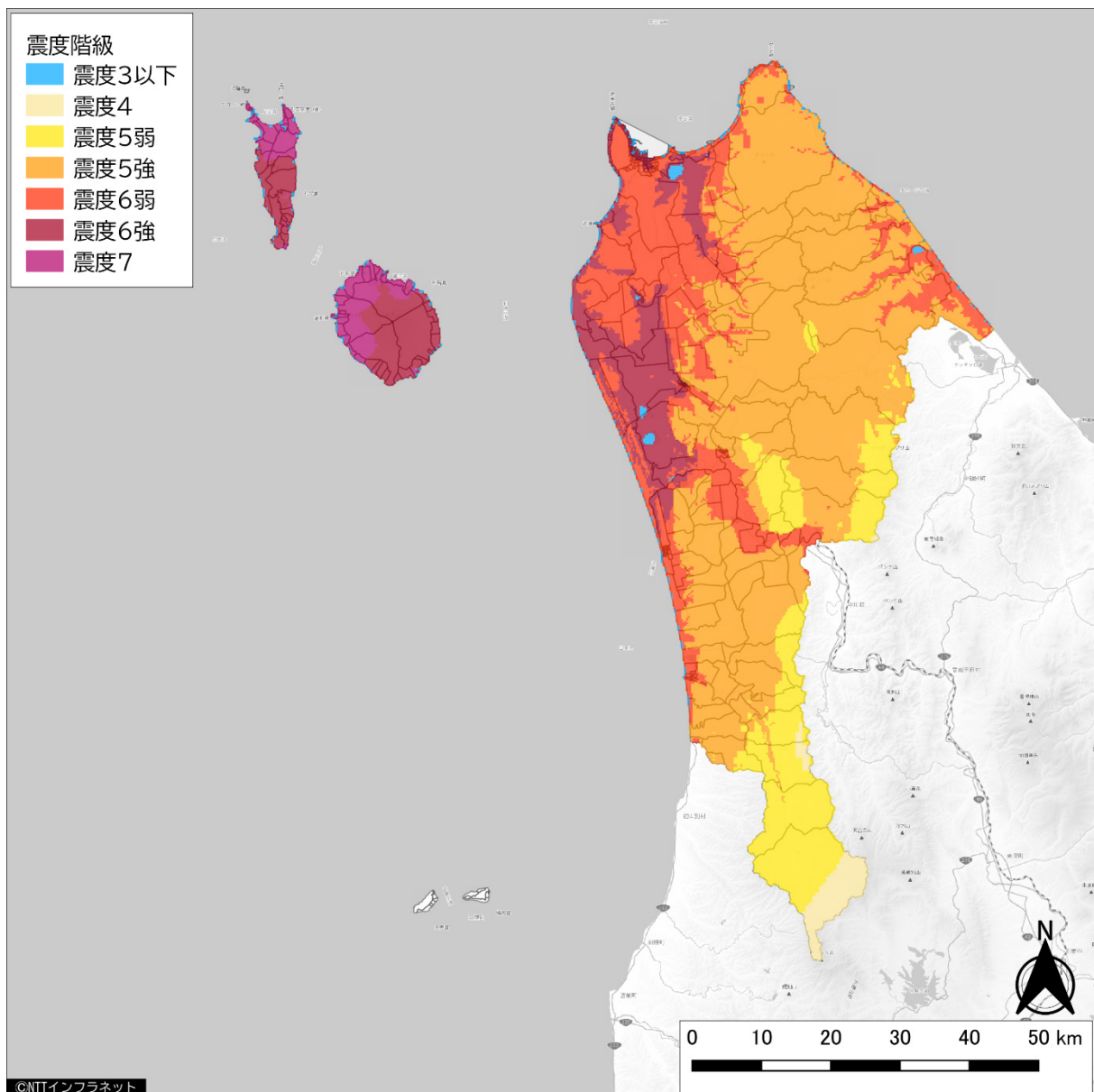


Fig. 5.18 サロベツ断層帯地震の震度分布¹⁾

Fig. 5.19 北海道北西沖地震の震度分布¹⁾

まず、木造住居率 m_f と建築年代別の建物割合 $T(q)$ を求める。これらは、平成 30 年住宅・土地統計調査⁹⁾のデータを採用した。 M は住宅総数、 W は木造住宅数、 B は防火木造住宅数であり、 Mq は期間 q の間に建てられた住宅数である。

$$m_f = \frac{(W + B)}{M} \quad - (5-1)$$

$$T(q) = \frac{M_q}{M} \quad - (5-2)$$

建築年代 q は、1950 年以前・1951 年～1960 年・1961 年～1970 年・1971 年～1980 年・1981 年～1990 年・1991 年～2000 年・2001 年以降の 7 区分とする。例として札幌市における建築年代別の建物割合を Table. 5.4 に示す。

Table. 5.4 建築年代別建物割合（札幌市の例）

建築年代	-1950	1950-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2001-
札幌市	2.55%	2.64%	9.51%	25.26%	24.57%	20.22%	15.24%

式(5-3)を用いて木造震度曝露人口 $M_f(I)$ を導出する。木造震度曝露人口とは、地震発生時に震度 I に曝される木造家屋に居住する人口のことである。 $f(I)$ は震度曝露人口で、 z_f は時間帯別在宅率を表すものであり、本研究では時間帯別在宅率を $z_f = 1$ と仮定した。

$$M_f(I) = f(I) \times m_f \times z_f \quad - (5-3)$$

次に、木造震度曝露人口 $M_f(I)$ に建物損傷度別発生確率を用いて木造損傷度曝露人口を求める。建物損傷度(Damage Index) x は岡田・高井¹⁰⁾により提唱されている建物被害状況を示す指標であり、定義域[0.0, 1.0]で 0.1 刻みにより表される。建物の破壊パターンと各被害尺度との対応関係は Fig. 5.20 のとおりである。

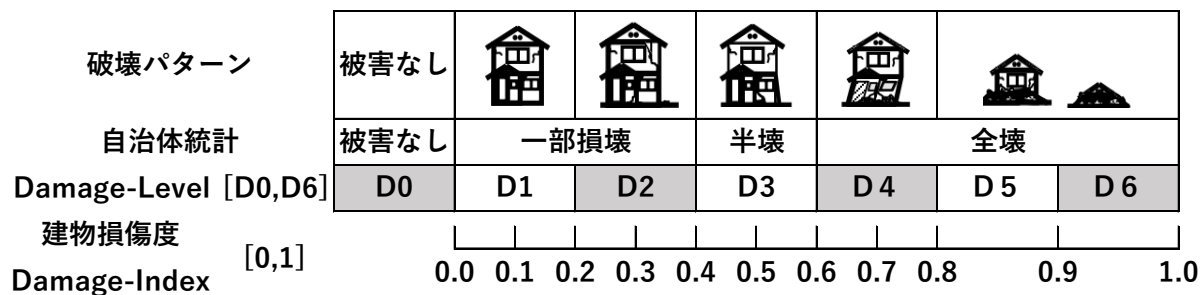


Fig. 5.20 木造建物破壊パターンと各被害尺度との関係¹⁰⁾

以上より、震度 I と損傷度 x から各損傷度を与える閾値となる耐震評点の算出は以下の式(5-4)によって行った。 $s(x)$ は耐震評点であり、 a, b, c は Table. 5.5 に示すように、損傷度 x により異なる値を持つパラメータである。

$$s(x) = \left\{ \frac{I - a(x)}{b(x)} \right\}^{1/c(x)} \quad - (5-4)$$

Table. 5.5 建物損傷度別パラメータ ¹¹⁾

損傷度	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
a	-10.05	-11.05	-12.96	-16.01	-21.50	-32.96	-30.57	-27.00	-23.02
b	16.61	17.84	19.89	23.05	28.64	40.19	37.89	34.41	30.55
c	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02

本研究では、人的被害の季節変化を考慮するため積雪荷重による木造家屋の耐震評点の変化を考慮する。木造家屋の耐震評点とは上部構造評点であり、建築防災協会 ¹²⁾より建物の保有耐力を必要耐力で除すことで算出される。

積雪寒冷地における必要耐力を算出する際に、積雪区域加算という指標を考慮する。積雪区域加算とは、積雪深の大きさによって変化する指標であり、積雪深が大きいほど大きな値をとる。上部構造評点の積雪深さによる変化割合については、北海道の木造家屋の耐震診断結果を元に竹内ら ¹³⁾によって検討されている。

本論では、これにより算出された積雪深別耐震評点変化割合を積雪荷重の影響を加味した指標として用いる。以下に積雪深による耐震評点の減少割合 ¹³⁾を表す式(5-5)を示す。

$$r = \frac{a}{a + b \times H} \quad - (5-5)$$

r : 積雪深別耐震評点変化割合で、積雪深ごとの木造住居の各耐震評点における低減率

H : 積雪深(m)

a : 必要耐力係数

b : 積雪区域加算係数

係数 a, b は、竹内・他 ¹³⁾により耐震診断時における耐震評点と積雪荷重の関係から $a = 0.81$ 、 $b = 0.33$ と設定されている。

Fig. 5.21 の積雪深の増加による耐震評点変化割合の推移より、積雪深が増加すればするほど、耐震評点の低減割合が増すことがわかる。

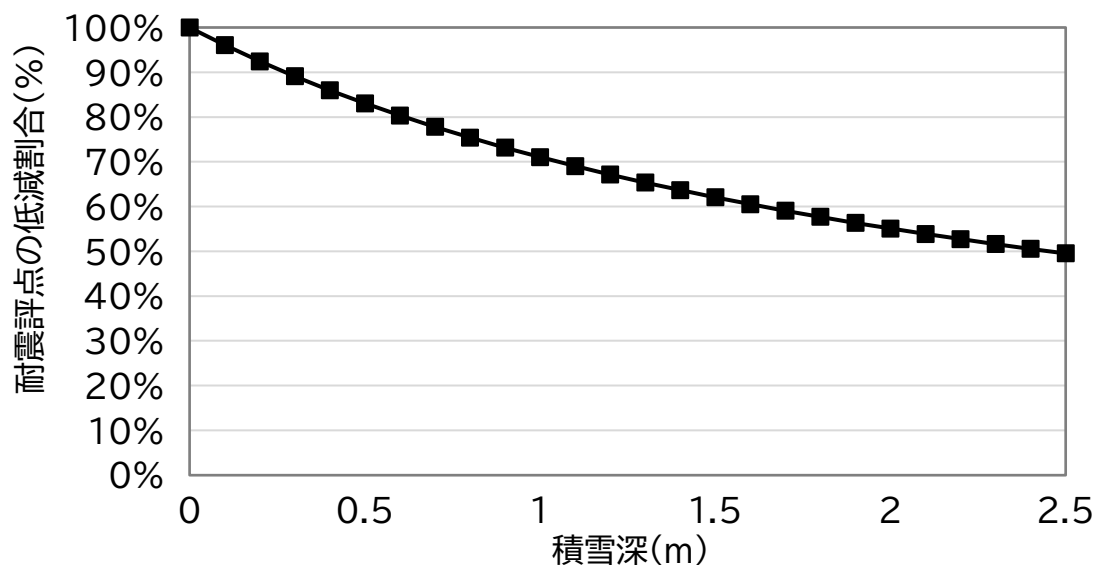


Fig. 5.21 積雪深さによる耐震評点の変化¹³⁾

耐震評点 $s(x)$ の発生確率を建築年代別にまとめ、式(5-5)を加味して以下の対数正規分布（平均値 μ 、標準偏差 σ ）を当てはめることで、建築年代 q 別の耐震評点分布 $g(q, s)$ として求める。

$$g(q, s) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma s(x)/r} \exp\left(-\frac{(\ln(s(x)/r) - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad - (5-6)$$

平均値 μ 、標準偏差 σ については、北海道札幌市を解析の対象としているため、竹内・他¹⁴⁾によって提案された北海道における木質構造の耐震評点分布のパラメータを用いた。

Table. 5.6 北海道における木質構造の耐震評点分布パラメータ¹⁴⁾

	1590 以前	1951-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2001 以降
μ	-0.942	-0.72	-0.519	-0.277	0.001	0.209	0.605
σ	0.544	0.572	0.504	0.403	0.376	0.391	0.41

地域毎の耐震評点発現確率 $g(s(x))$ は、年代別の耐力分布 $g(q, s)$ と地域ごとの建築年代の割合 $T(q)$ の積を、全年代足し合わせることで求められる。各市町村は、積雪深 H と建築年代別の建物割合 $T(q)$ を受けて冬季に耐力分布が低減する。

$$g(s) = \sum_q (g(q, s) \times T(q)) \quad - (5-7)$$

例として、札幌市における築年代別の耐力分布を夏季・冬季ごとに示す。なお、夏季は最暖月の8月、冬季は年間で積雪深が最も大きい2月の最深積雪深である。

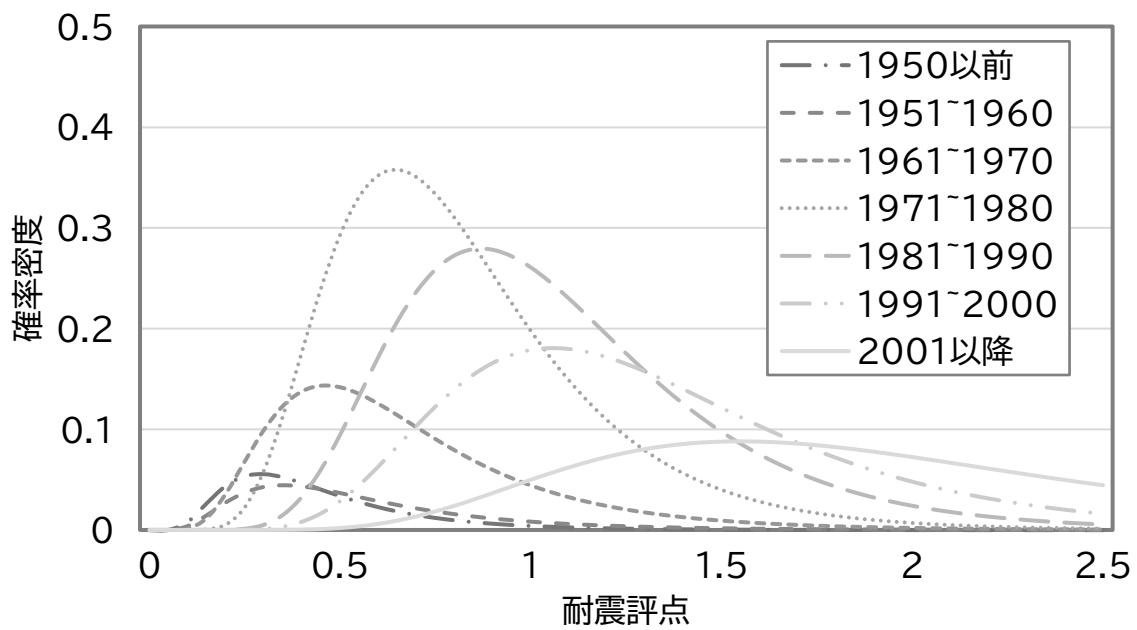


Fig. 5.22 夏季築年代別耐力分布の例（札幌市）

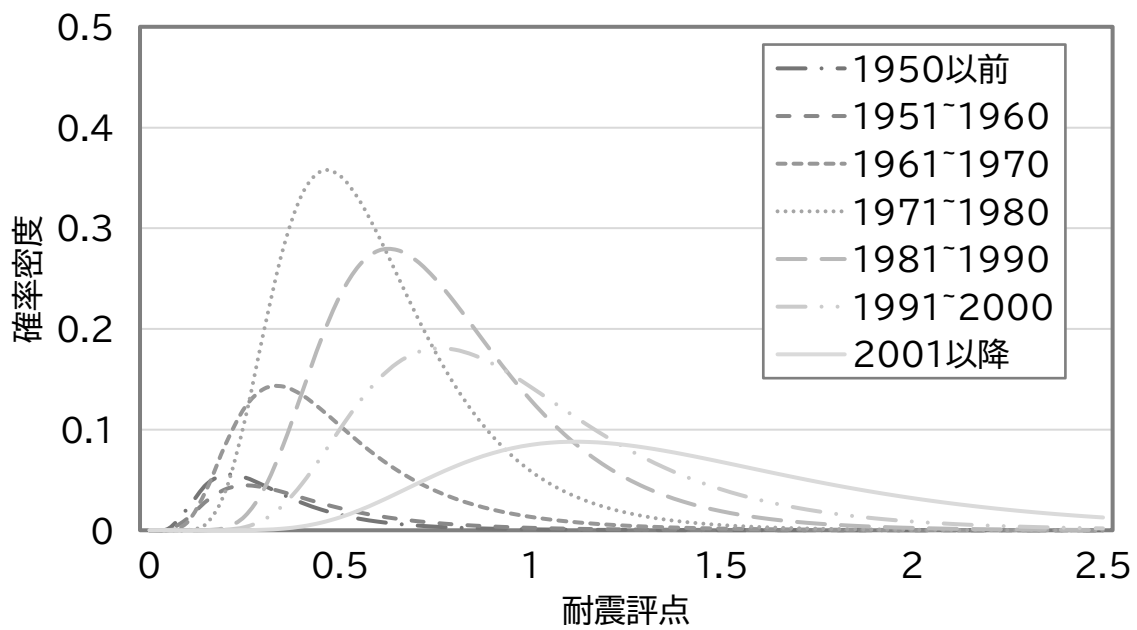


Fig. 5.23 冬季築年代別耐力分布の例（札幌市）

以上より、震度 I に対して損傷度 x 以上の被害を受ける建物の地域内分布 $P(I, x)$ （以降、超過危険確率とする）を式(5-8)により求める。

$$P(I, x) = \int_0^s g(s) \cdot ds \quad \text{---(5-8)}$$

木造損傷度曝露人口を算出するために、木造震度曝露人口 $M_f(I)$ を損傷度ごとに確率配分する必要がある。ある損傷度 Δx （ Δx は x から $x + 1$ までの値）における超過危険確率 $P(I, \Delta x)$ は以下の式で求められる。

$$P(I, \Delta x) = P(I, x) - P(I, (x + 1)) \quad \text{---(5-9)}$$

木造損傷度曝露人口 $M_f(I, \Delta x)$ は $P(I, \Delta x)$ を用いて次式で与えられる。

$$M_f(I, \Delta x) = M_f(I) \times P(I, \Delta x) \quad \text{---(5-10)}$$

(2) 負傷程度別人的被害推定

岡田・中嶋¹⁵⁾に従い、負傷者推定の際に多発外傷重症度指標(ISS)⁸⁾を導入し、ISS値別負傷者数 $M_{ISS}(\theta)$ を算出する。ISSとは、外傷の重症度を数値で表したもので定義域は[0,75]であり、ISSごとの重症度は**Table. 5.7**で定義される。本論では、ISS = 9~75の死者を除く負傷者を重傷者と定義する。

$$M_{ISS}(\theta) = \sum_{\Delta x=0.6}^{1.0} \sum_{I=0}^{I=7.4} Pw(I, \Delta x) \times f''_{\Delta x}(\theta) \quad -(5-11)$$

$$f_x(\theta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\zeta\theta} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(\theta) - \lambda}{\zeta}\right)^2\right] \quad -(5-12)$$

$Pw(I, \Delta x)$: 建物損傷度別の損失空間内人口

$f''_{\Delta x}(\theta)$: 人的重症度 θ の基礎確率変数の分布をベイズ更新により事後分布を推定した結果得られる対数正規分布によりモデル化したもの

Table. 5.7 ISS 値別の負傷程度⁸⁾

ISS	負傷程度
0~1	負傷なし
1~9	軽傷・中等傷
9~16	重傷
16~25	重篤
25~41	瀕死
41~75	死亡相当

ISSを確率密度(定義域[0,1])で表すため、式(5-13)により人的損傷度 θ ($0.0 \leq \theta \leq 1.0$)に変換する。

$$\theta = ISS/75 \quad -(5-13)$$

建物損傷度別の損失空間内人口 $Pw(I, \Delta x)$ は、式(5-14)で求める。なお、損傷度の区分である D-LEVEL (**Fig. 5.20**)において、D4~D6 を受けた際の $W(\Delta x)$ は以下の**Table. 5.8**の数値¹⁶⁾を用いる。

$$Pw(I, \Delta x) = M_f(I, \Delta x) \times W(\Delta x) \quad -(5-14)$$

$W(\Delta x)$: 岡田¹⁶⁾によって定義された内部空間被災率(W 値)であり、地震時建物内部空間の損失を評価する尺度 (**Fig. 5.24**)

Table. 5.8 D-LEVEL 別 W 値¹⁶⁾

Damage-Level	D4	D5	D6
$W(\Delta x)$	0.08	0.6011	0.9756

平面損失 W1 は屋根やスラブ等の落下による骨折・挫傷など、断面損失 W2 は柱、梁、床スラブ等の重量構造部材の破壊に伴う骨折・切断等、体積損失 W3 は床レベルから 2m までの空間に対する窒息や閉じ込め等、空気汚染 W4 は室内の粉塵量に対する窒息等の危険性をそれぞれ評価する指標である。また、建物被害と室内被害の概念図を Fig. 5.25 に示す。

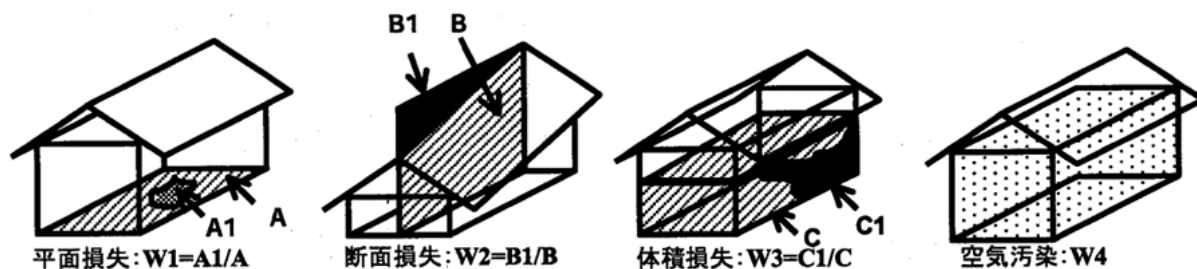


Fig. 5.24 内部空間被災度における各種損失イメージ¹⁶⁾

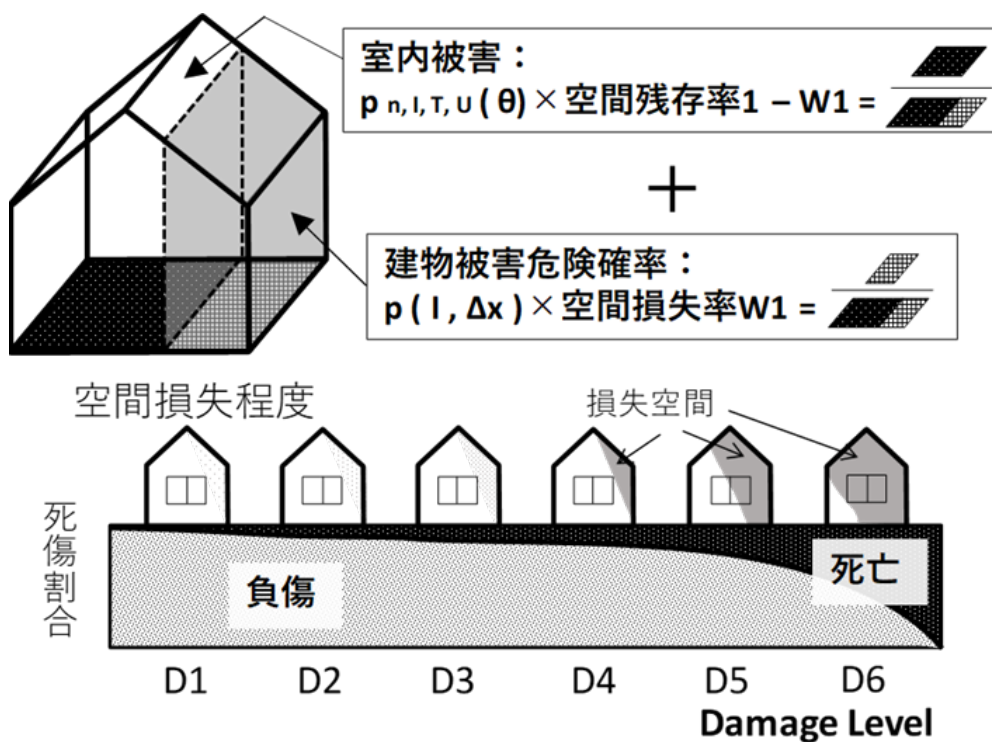


Fig. 5.25 内部空間被災率_被害概念図¹⁶⁾

$f''_{\Delta x}(\theta)$ で用いた損傷度毎の平均 μ 、標準偏差 σ 、基準化係数 α は **Table. 5.9**、また、ベイズ更新は以下の式(5-15)~(5-17)の通りである。

Table. 5.9 ベイズ更新における損傷度別パラメータ²⁾

Δx	$0.6 \leq x < 0.8$	$0.8 \leq x < 0.9$	$0.9 \leq x \leq 1.0$
平均 μ	-3.047	-2.4210	-2.2698
標準偏差 σ	0.6146	0.4602	0.6233
基準化係数 α	0.9737	0.9651	0.9188

$$f_{\Lambda}(\lambda) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\lambda - \mu}{\sigma}\right)^2\right] \quad (5-15)$$

$$f''_{\Lambda}(\lambda) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma''} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\lambda - \mu''}{\sigma''}\right)^2\right] \quad (5-16)$$

$$f''_x(\theta) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{f''_{\Lambda}(\lambda)}{\sqrt{2\pi}\alpha\zeta\theta} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(\theta) - \lambda}{\zeta}\right)^2\right] d\lambda \quad (5-17)$$

ここで、 μ 、 σ は λ の事前分布パラメータ、 μ'' 、 σ'' は λ の事後分布パラメータである。

式(5-11)より算出された ISS 別人口を基に、岡田・中嶋の手法²⁾により、死者数 D_{θ} を次の式(5-18)で求めた。

$$D_{\theta} = \int_0^{75} M_{iss}(\theta) \times d(\theta) \times E(\gamma) \cdot d\theta \quad (5-18)$$

死亡率係数 $E(\gamma)$ は、岡田・中嶋¹⁵⁾より周辺全壊率 $y(I)$ を用いて、式(5-19)(5-20)で求められる。

$$y(I) = \sum_{I=0}^7 P(I, 0.6) \quad (5-19)$$

$$E(\gamma) = \left(\frac{y(I) - \alpha(z)}{\beta(z)}\right)^{\frac{1}{\gamma(z)}} \quad (5-20)$$

$E(\gamma)$ は、本来であれば年齢層によって変化する係数であるが、本研究では全ての年齢層において周辺全壊率 $y(I)$ より算出される一様な値であると仮定して、 $\alpha(z) = 1.432$ 、 $\beta(z) = -1.325$ 、 $\gamma(z) = -0.722$ を採用した。また、 $d(\theta)$ は年齢別 ISS 別死亡率¹⁷⁾である。

建物被害に伴う負傷分布 $M_{iss}(\theta)$ 及び死者分布 D_θ 推定を基に、商圈毎の夏季・冬季の死負傷者推定数を算出した結果を **Fig. 5.26～Fig. 5.40** に示す。なお、死負傷者推定数については、**Table. 5.7** の分類で四捨五入して整数値で表した上で、軽傷・中等傷、重傷、非負傷に集約している。そのため、合計値や以降の閉じ込め者における負傷者数と必ずしも一致しない。

積雪深 H については、**Table. 5.10～Table. 5.17** に示す 1991 年～2020 年の気象庁¹⁸⁾の過去の気象情報データを用い、不明な自治体については商圈内の平均値を採用する。

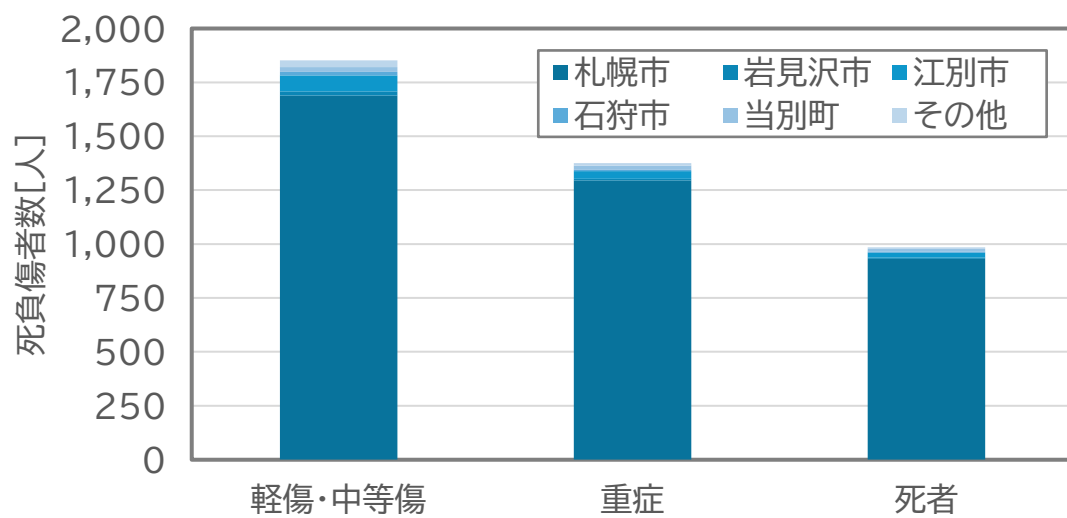


Fig. 5.26 冬期 月別死・負傷者数（札幌商圏・月寒）

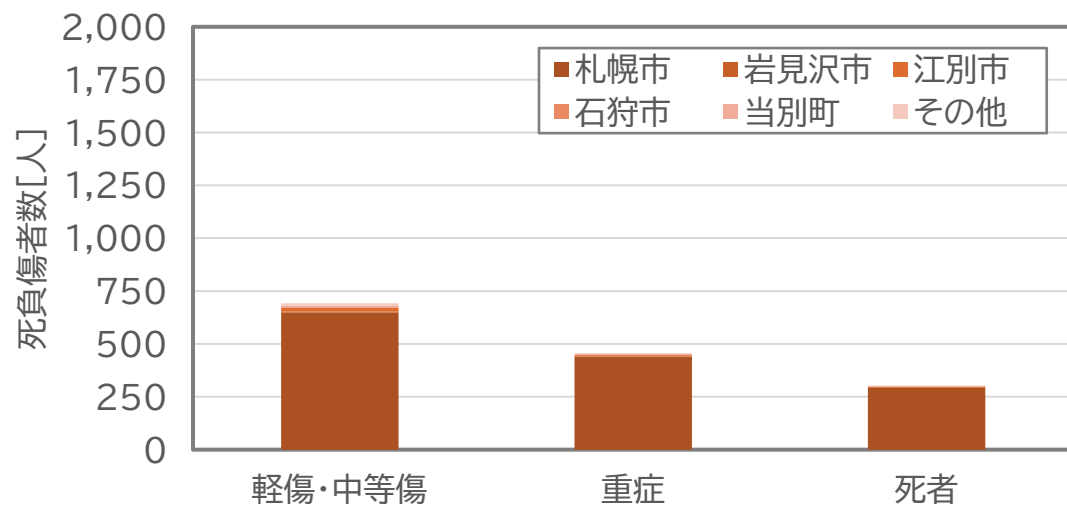


Fig. 5.26 夏期 死・負傷者数（札幌商圏・月寒）

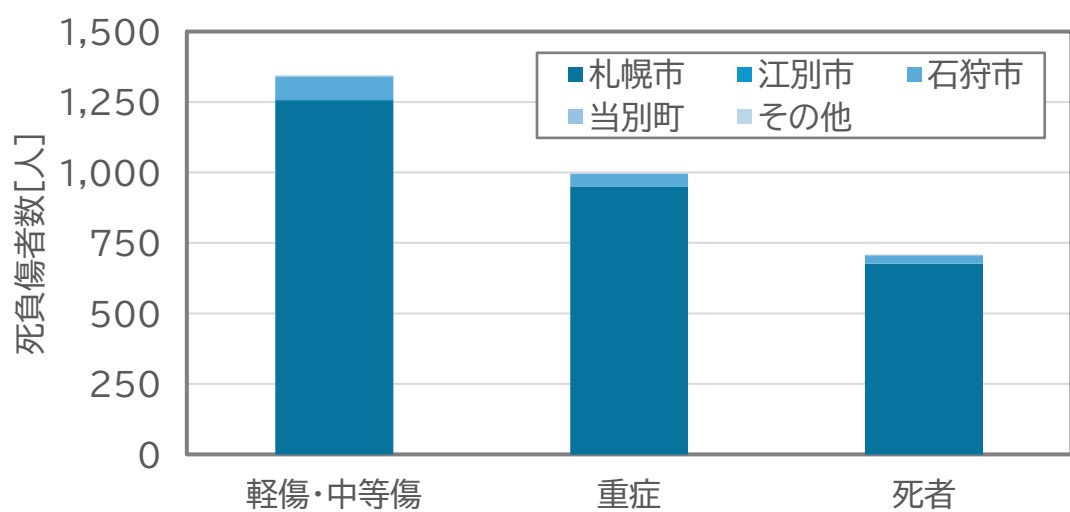


Fig. 5.27 冬期 死・負傷者数（札幌商圏・西札幌）

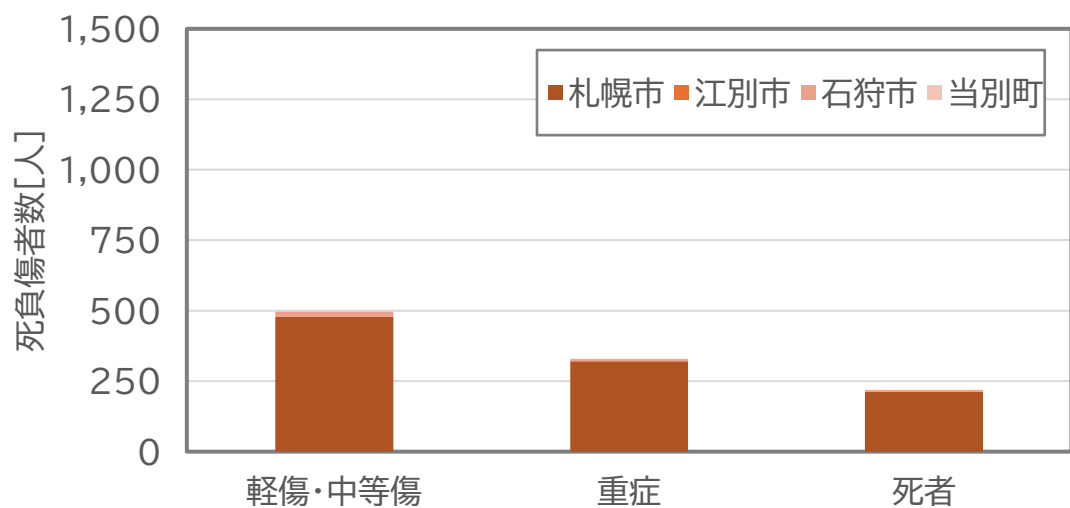


Fig. 5.27 夏期 死・負傷者数（札幌商圏・西札幌）

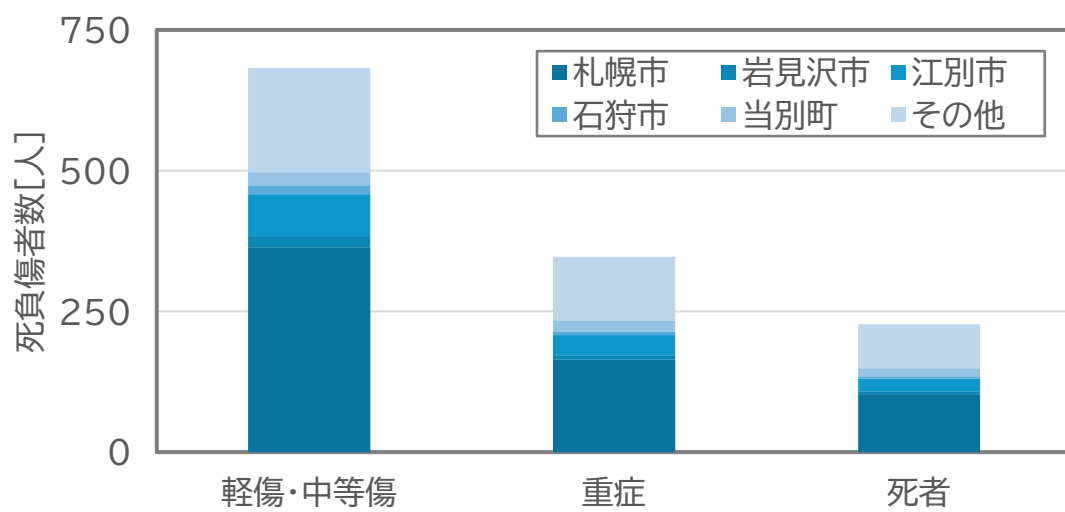


Fig. 5.28 冬期 死・負傷者数（札幌商圏・野幌）

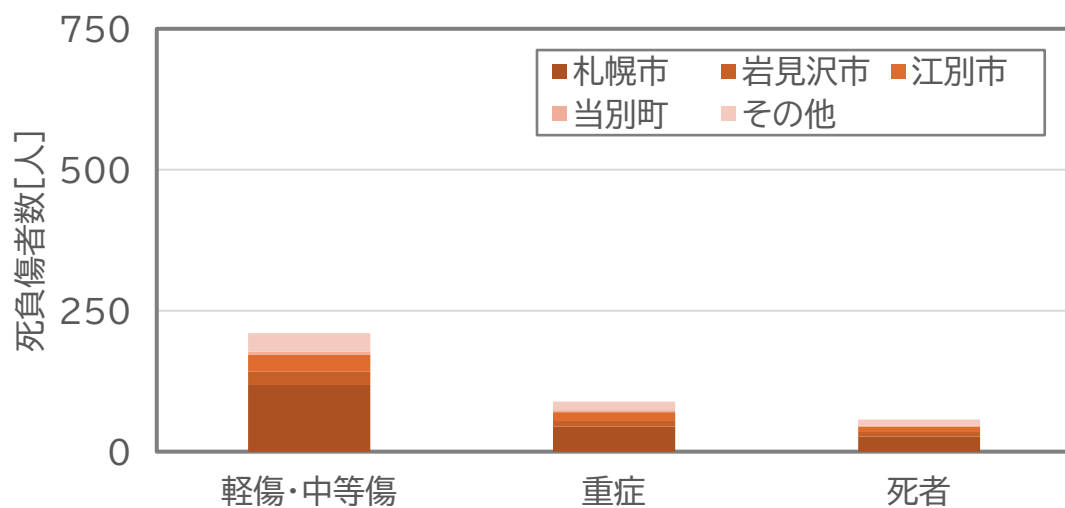


Fig. 5.28 夏期 死・負傷者数（札幌商圏・野幌）

Table. 5.10 札幌商圏の気象情報 (1/2) ¹⁸⁾

自治体	最深積雪(cm)	平均気温(℃)	最低気温(℃)	平均風速(m/s)
札幌市	114	-4.6	-17.07	2.7
小樽市	79	-5.6	-18.93	1.8
夕張市	114	-4.6	-17.07	2.7
岩見沢市	114	-4.6	-17.07	2.7
美唄市	118	-4.6	-16.57	3.3
芦別市	142	-6.7	-25.58	2.0
江別市	104	-3.0	-13.21	4.4
赤平市	181	-4.9	-18.58	3.1
三笠市	114	-6.3	-22.47	1.4
千歳市	114	-4.6	-17.07	2.7
滝川市	81	-5.5	-21.24	2.1
砂川市	114	-5.3	-18.71	1.8
歌志内市	122	-3.5	-16.08	4.2
恵庭市	114	-5.5	-17.07	3.3
北広島市	133	-3.7	-17.29	2.3
石狩市	95	-2.7	-11.66	2.7
当別町	114	-3.3	-14.75	3.0
新篠津村	114	-4.5	-12.81	1.6
島牧村	114	-4.6	-17.07	2.7
寿都町	71	-1.9	-9.69	2.7
蘭越町	117	-2.7	-10.94	3.3
ニセコ町	114	-4.6	-17.07	2.7
真狩村	126	-5.4	-20.20	3.1
留寿都村	114	-4.6	-17.07	2.7
喜茂別町	103	-6.6	-22.92	3.1
京極町	114	-6.1	-16.27	2.1
倶知安町	114	-1.9	-9.08	4.0
共和町	113	-4.2	-17.24	3.5
岩内町	114	-6.7	-22.46	1.8
泊村	161	-4.6	-17.07	2.7
神恵内村	114	-4.6	-17.07	2.7
積丹町	46	-5.3	-17.07	3.7

Table. 5.10 札幌商圏の気象情報 (2/2) ¹⁸⁾

自治体	最深積雪(cm)	平均気温(℃)	最低気温(℃)	平均風速(m/s)
古平町	110	-6.1	-20.45	2.5
仁木町	114	-4.6	-17.07	2.7
余市町	114	-5.3	-20.16	2.0
赤井川村	109	-5.9	-21.30	2.6
南幌町	114	-3.5	-12.22	1.6
奈井江町	114	-3.1	-15.50	4.9
上砂川町	130	-6.0	-17.94	2.4
由仁町	128	-3.3	-13.85	2.5
長沼町	127	-3.7	-16.84	2.2
栗山町	114	-4.6	-17.07	2.7
月形町	114	-4.6	-17.07	2.7
浦臼町	114	-4.6	-17.07	2.7
新十津川町	114	-4.6	-17.07	2.7
雨竜町	114	-4.6	-17.07	2.7
安平町	114	-4.6	-17.07	2.7

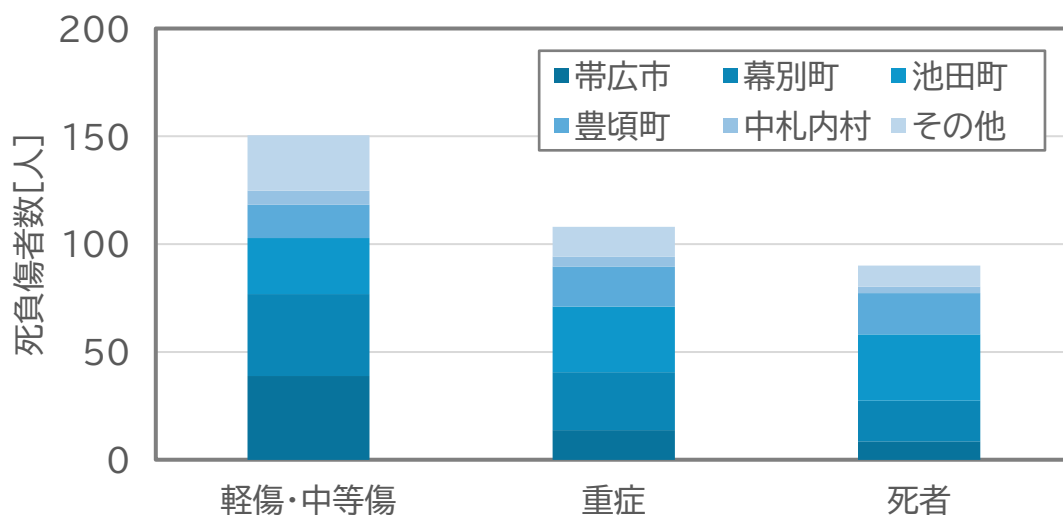


Fig. 5.29 冬期 死・負傷者数（帯広商圏・十勝平野断層帯）

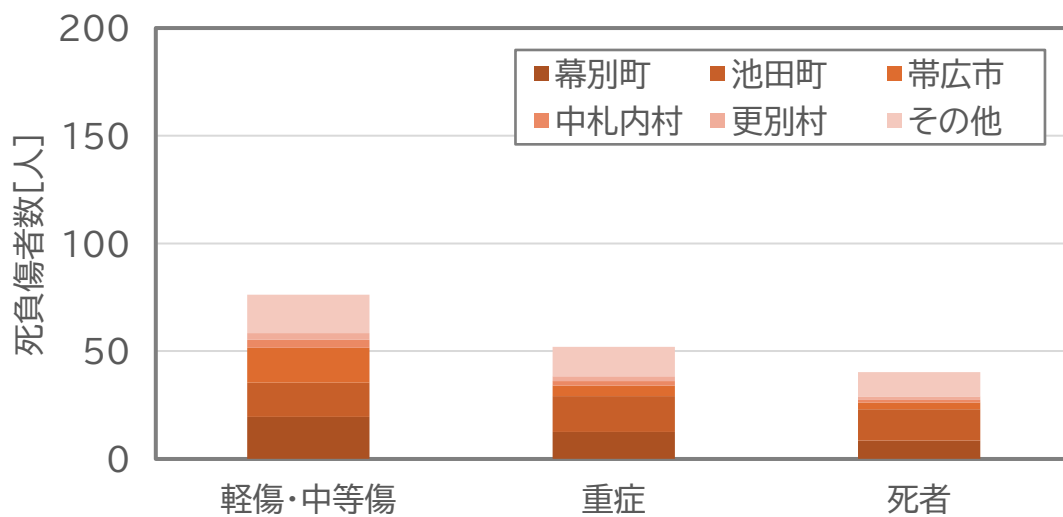


Fig. 5.29 夏期 死・負傷者数（帯広商圏・十勝平野断層帯）

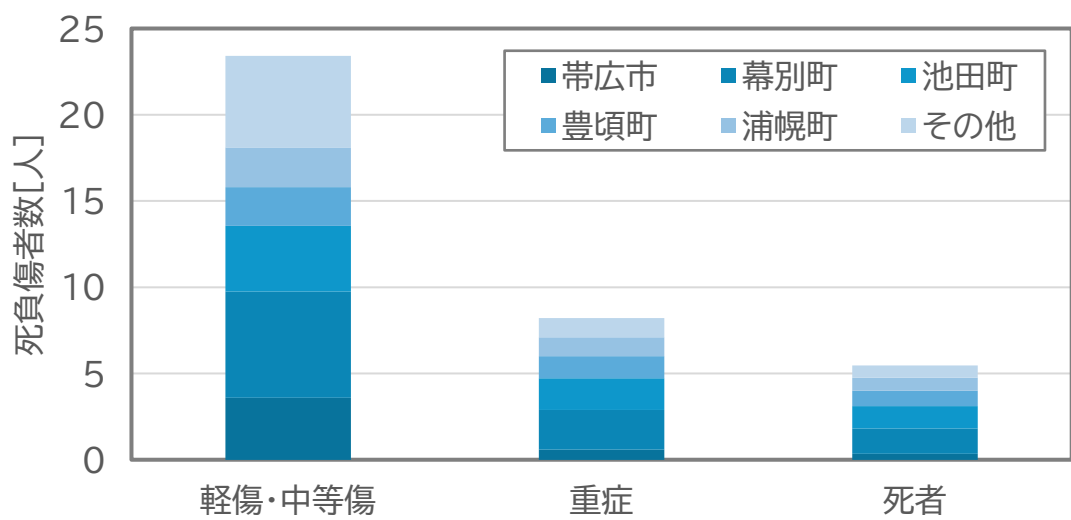


Fig. 5.30 冬期 死・負傷者数（帯広商圏・十勝沖）

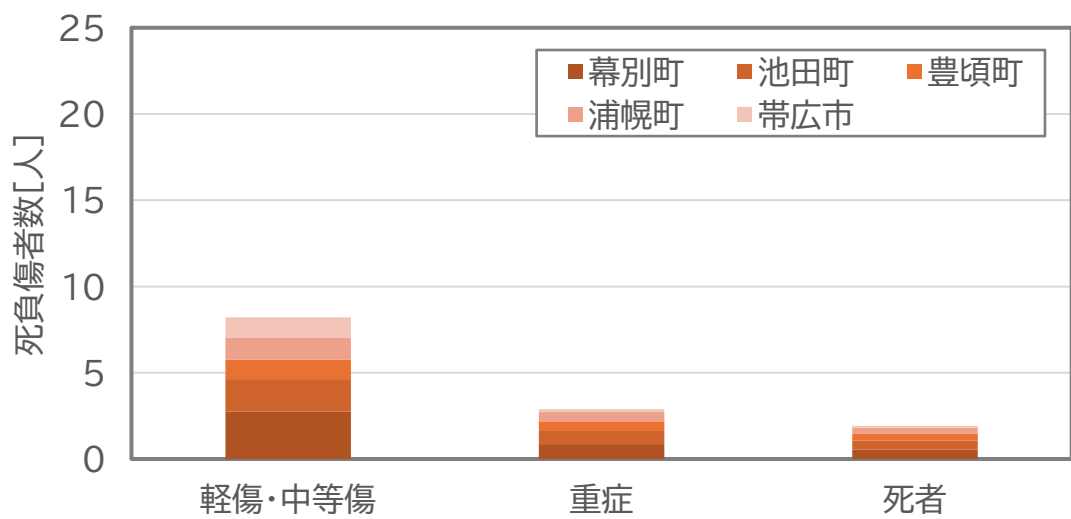


Fig. 5.30 夏期 死・負傷者数（帯広商圏・十勝沖）

Table. 5.11 帯広商圏の気象情報¹⁸⁾

自治体	最深積雪(cm)	平均気温(℃)	最低気温(℃)	平均風速(m/s)
陸別	66	-9.6	-27.9	1.5
足寄	66	-7.5	-23.6	1.5
本別	45	-7.3	-23.1	1.3
浦幌	48	-5.8	-19.8	1.8
大津	66	-6.4	-20.9	2.5
大樹	87	-7.8	-24.7	2.8
更別	66	-7.7	-22.2	1.6
上札内	92	-7.7	-22.0	2.0
糠内	66	-8.4	-26.0	1.4
帯広	63	-5.7	-20.5	2.2
芽室	71	-7.3	-24.9	1.4
新得	67	-5.6	-19.9	2.0
鹿追	66	-6.2	-19.7	2.5
駒場	66	-7.2	-25.4	2.3
上士幌	50	-7.1	-20.0	1.9
ぬかびら源泉郷	92	-9.4	-24.5	0.8
日高	81	-6.8	-20.9	1.4
新和	66	-6.1	-22.6	1.1
日高門別	66	-4.3	-17.0	2.6
静内	20	-2.9	-13.7	2.4
三石	66	-4.2	-19.2	2.1
浦河	16	-2.1	-10.7	2.2
中札白	61	-5.7	-21.9	1.4
えりも岬	66	-2.2	-8.1	9.2

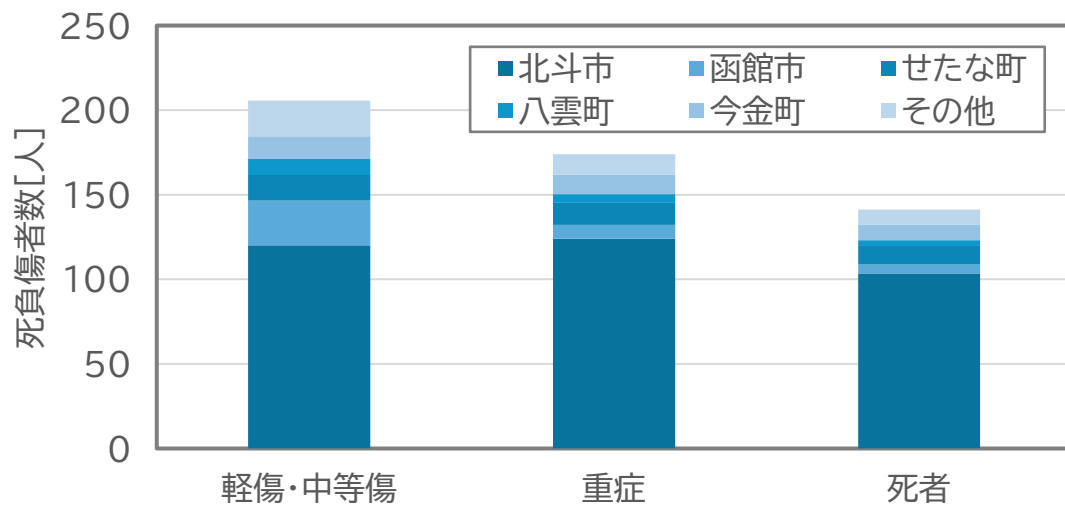


Fig. 5.31 冬期 死・負傷者数（函館商圏・函館平野西縁）

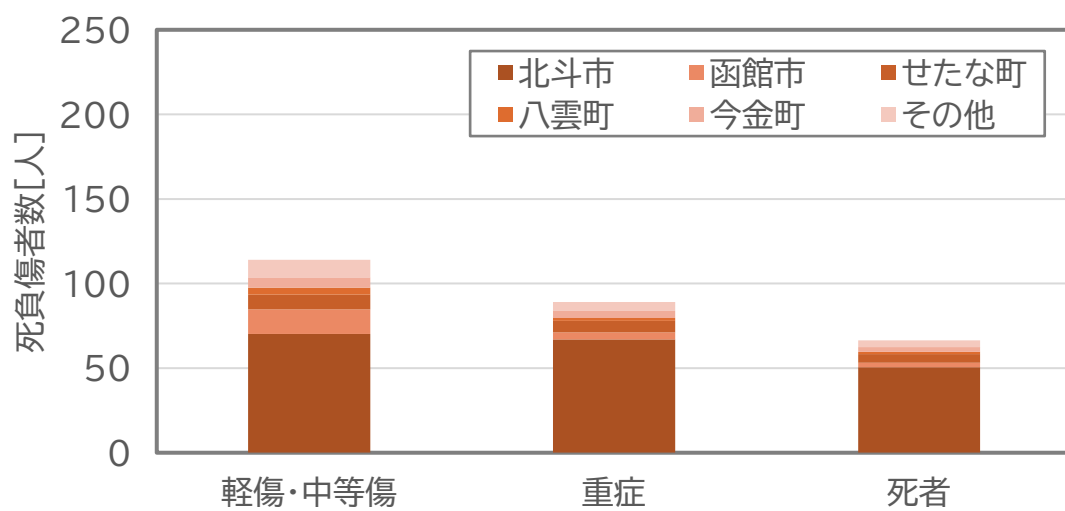


Fig. 5.31 夏期 死・負傷者数（函館商圏・函館平野西縁）

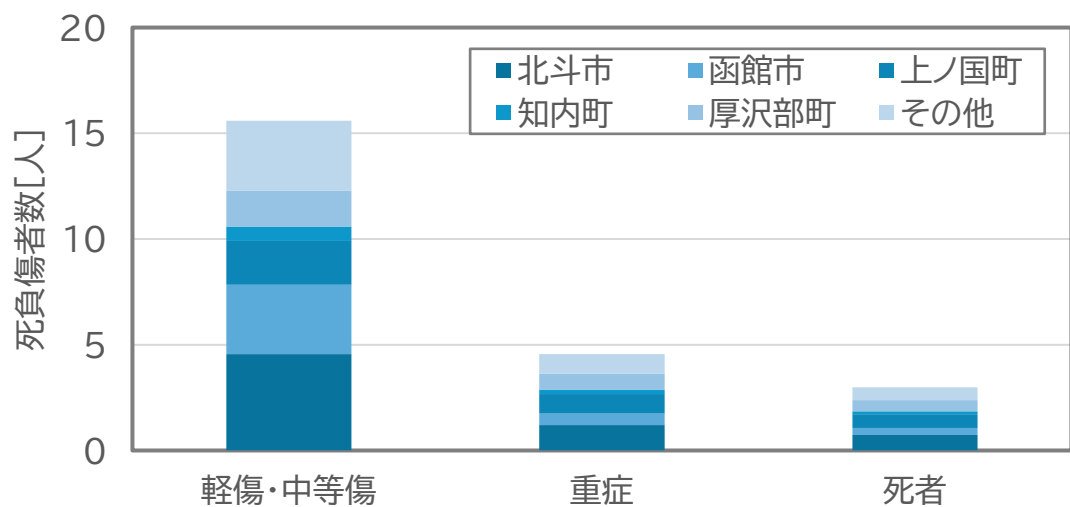


Fig. 5.32 冬期 死・負傷者数（函館商圏・北海道南西沖）

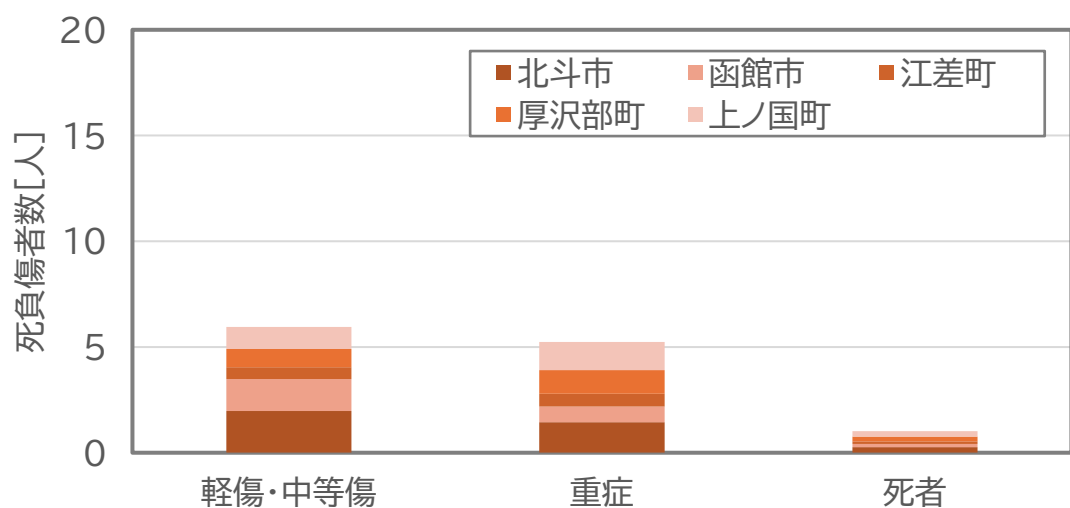


Fig. 5.32 夏期 死・負傷者数（函館商圏・北海道南西沖）

Table. 5.12 函館商圏の気象情報¹⁸⁾

自治体	最深積雪(cm)	平均気温(℃)	最低気温(℃)	平均風速(m/s)
長万部	74	-3.6	-14.2	2.3
八雲	79	-2.8	-12.7	2.5
熊石	47	-1.4	-9.0	2.6
森	58	-3.1	-13.1	3.0
北斗	58	-2.9	-14.1	2.4
函館	41	-1.8	-11.4	3.8
川汲	58	-1.8	-10.0	2.4
高松	24	-2.0	-13.6	4.4
木古内	58	-1.8	-10.8	2.1
松前	58	-0.1	-7.3	5.7
奥尻	58	-1.8	-7.5	2.4
せたな	58	-1.4	-10.3	5.3
今金	94	-3.0	-15.9	2.1
鶺鴒	81	-3.0	-17.7	1.6
江差	24	-0.2	-8.4	6.7
大岸	75	-3.6	-15.0	1.8
伊達	58	-3.0	-12.3	2.1
室蘭	22	-1.6	-8.4	5.2
登別	77	-3.8	-11.9	2.3
大滝	121	-6.6	-19.4	1.6
森野	58	-4.6	-15.8	1.2
白老	25	-3.3	-14.7	2.6
苫小牧	28	-3.2	-14.1	2.3
鶴川	58	-5.3	-20.4	3.2
厚真	58	-5.9	-21.7	2.2
穂別	55	-7.1	-24.4	1.5

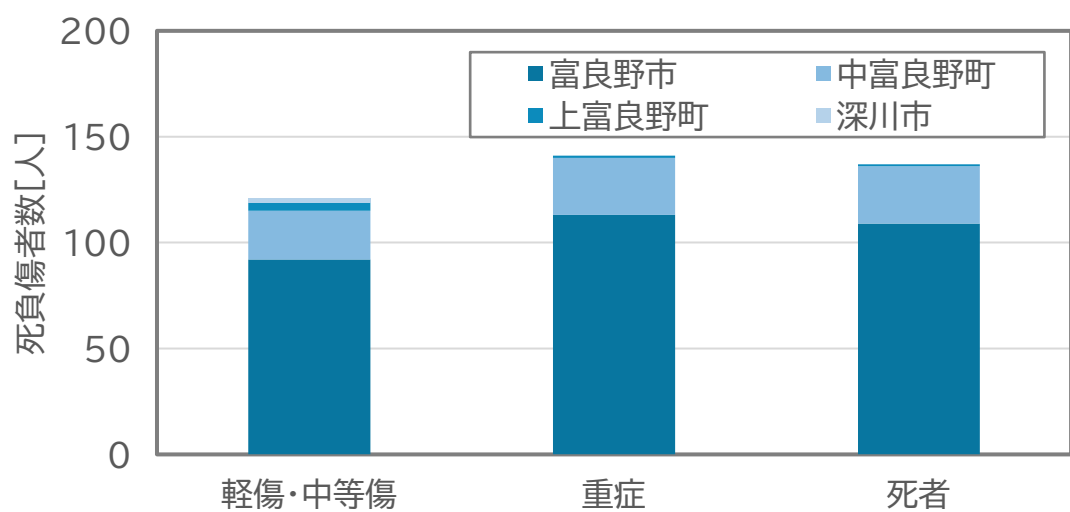


Fig. 5.33 冬期 死・負傷者数（旭川商圏・富良野断層帯西部）

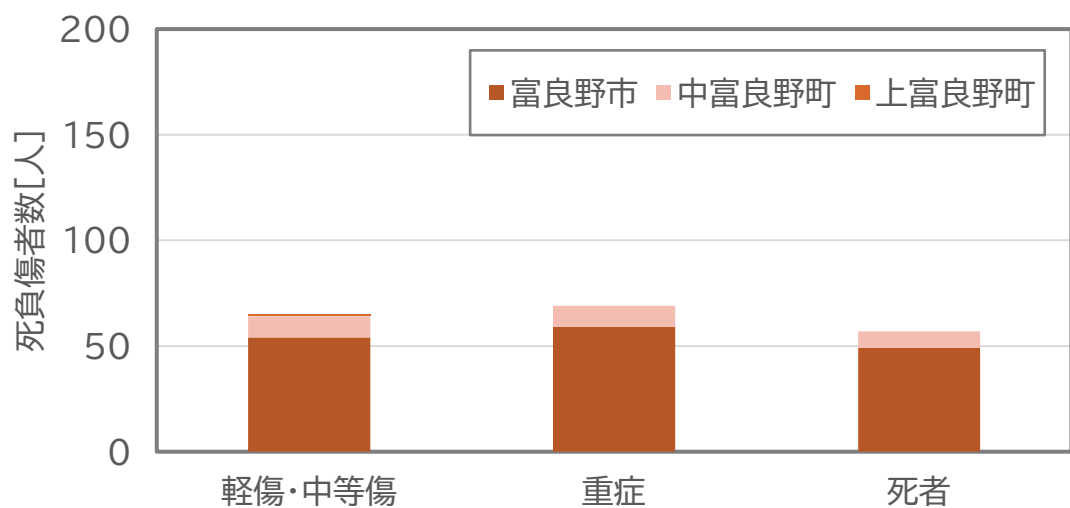


Fig. 5.33 夏期 死・負傷者数（旭川商圏・富良野断層帯西部）

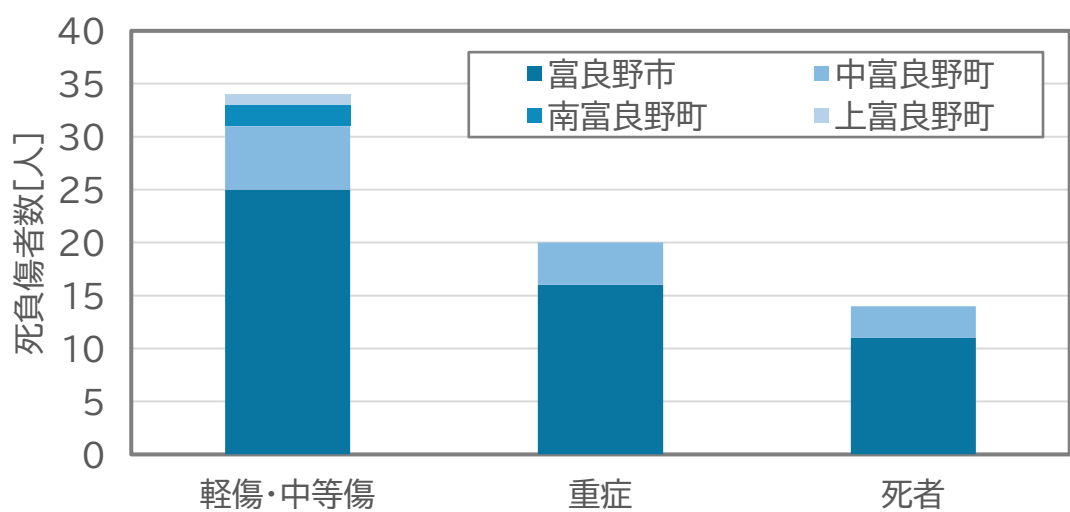


Fig. 5.34 冬期 死・負傷者数（旭川商圏・富良野断層帯東部）

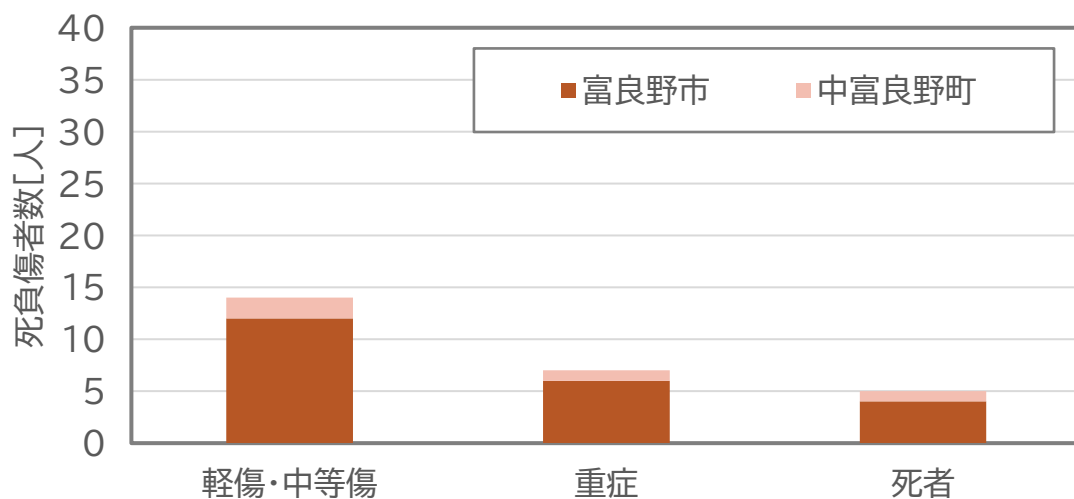


Fig. 5.34 夏期 死・負傷者数（旭川商圏・富良野断層帯東部）

Table. 5.13 旭川商圏の気象情報 (1/2) ¹⁸⁾

自治体	最深積雪(cm)	平均気温(℃)	最低気温(℃)	平均風速(m/s)
初山別	75	-4.4	-22.2	4.4
羽幌	97	-4.0	-20.6	4.9
焼尻	119	-3.1	-10.0	6.4
達布	119	-5.9	-27.1	1.6
幌糠	193	-6.1	-31.1	1.9
留萌	86	-3.7	-20.9	5.9
増毛	119	-3.0	-16.3	4.5
中川	119	-7.2	-27.0	2.1
音威子府	186	-7.7	-30.1	1.8
美深	133	-8.0	-32.0	1.3
名寄	105	-8.0	-31.3	1.8
下川	114	-8.2	-32.0	2.5
朱鞠内	225	-8.6	-33.0	1.5
士別	119	-7.7	-27.7	1.7
朝日	119	-7.4	-25.9	1.7
和寒	99	-7.6	-28.9	1.6
幌加内	192	-7.7	-29.8	1.9
江丹別	119	-8.4	-30.7	1.3
比布	119	-7.3	-24.9	1.9
上川	89	-7.8	-23.6	2.2
旭川	84	-6.0	-22.6	3.1
東川	119	-7.3	-25.3	1.8
志比内	119	-7.5	-24.6	1.9
美瑛	78	-7.9	-26.5	1.6
上富良野	119	-7.2	-27.3	1.6
富良野	73	-7.4	-27.9	1.5
麓郷	119	-7.7	-29.0	1.3
幾寅	75	-7.6	-32.5	2.1

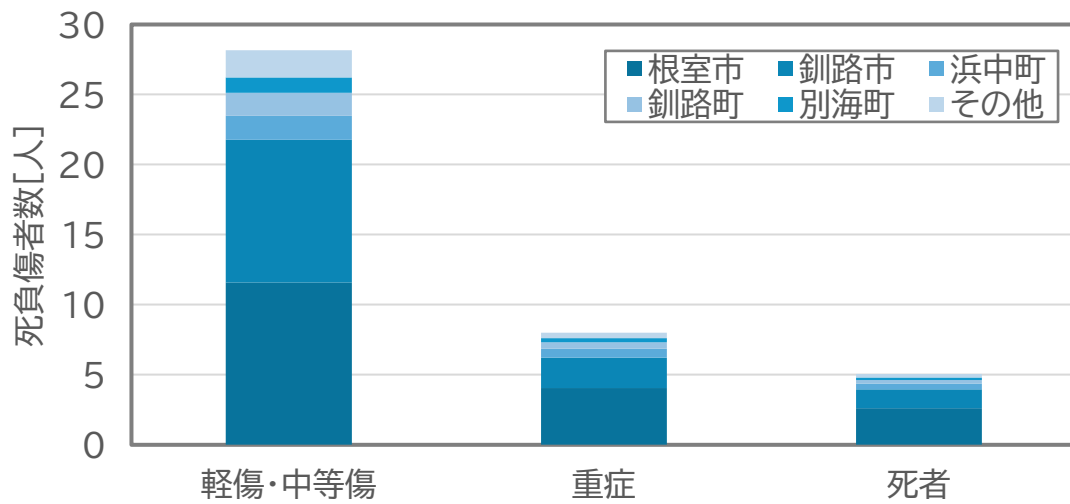


Fig. 5.35 冬期 死・負傷者数（釧路商圏・根室沖）

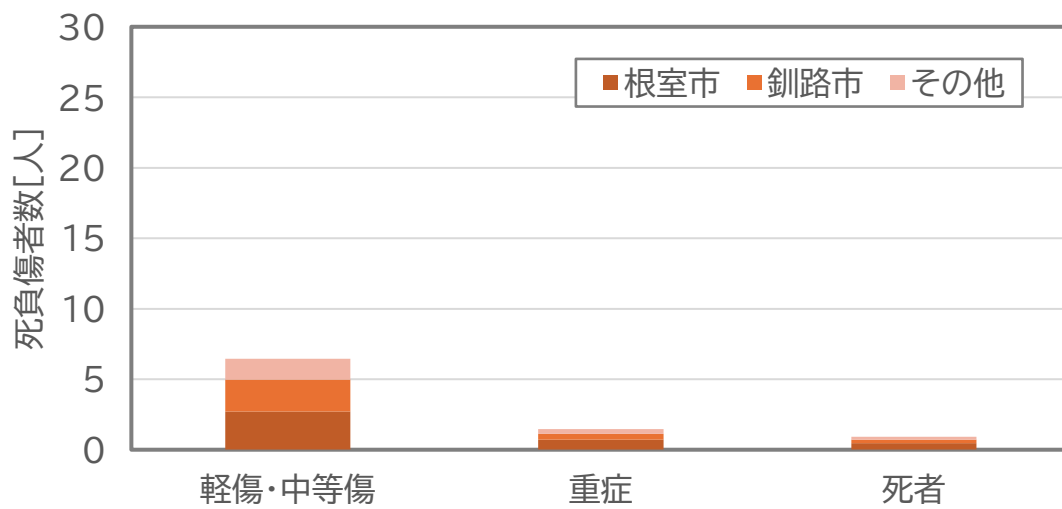


Fig. 5.35 夏期 死・負傷者数（釧路商圏・根室沖）

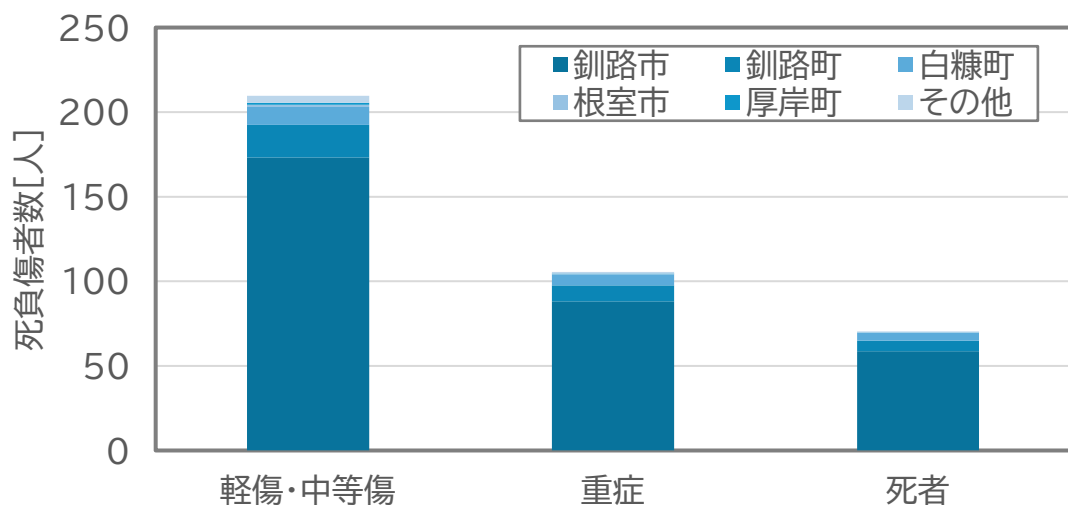


Fig. 5.36 冬期 死・負傷者数（釧路商圏・十勝沖）

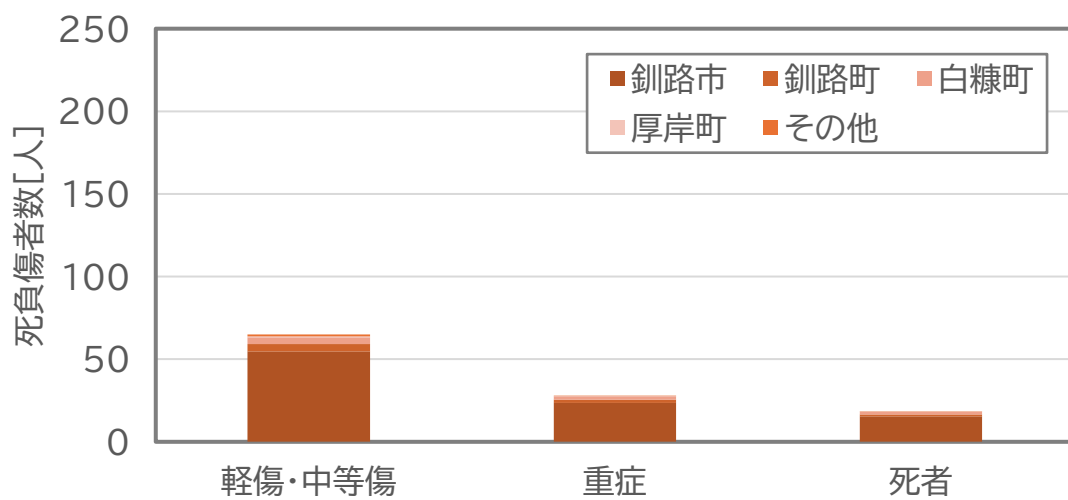


Fig. 5.36 夏期 死・負傷者数（釧路商圏・十勝沖）

Table. 5.14 釧路商圏の気象情報¹⁸⁾

自治体	最深積雪(cm)	平均気温(℃)	最低気温(℃)	平均風速(m/s)
川湯	87	-8.8	-26.0	1.6
弟子屈	56	-7.1	-16.0	3.8
阿寒湖畔	103	-9.4	-25.6	1.1
標茶	51	-7.1	-23.8	1.8
鶴居	52	-6.5	-21.2	1.8
中徹別	64	-7.2	-23.0	1.4
白糠	44	-5.9	-20.3	2.5
釧路	26	-6.2	-17.6	2.6
知方学	56	-4.7	-13.6	3.6
太田	49	-5.6	-16.9	2.9
榑町	56	-5.3	-19.3	3.6
羅臼	56	-7.1	-13.8	2.6
標津	56	-5.5	-19.3	3.0
中標津	66	-6.5	-21.7	2.2
上標津	56	-6.4	-19.1	3.2
計根別	56	-6.2	-18.3	2.6
別海	55	-6.5	-22.5	2.2
厚床	46	-5.8	-19.8	2.4
根室	29	-3.8	-12.3	2.6
納沙布	56	-3.7	-11.2	5.2

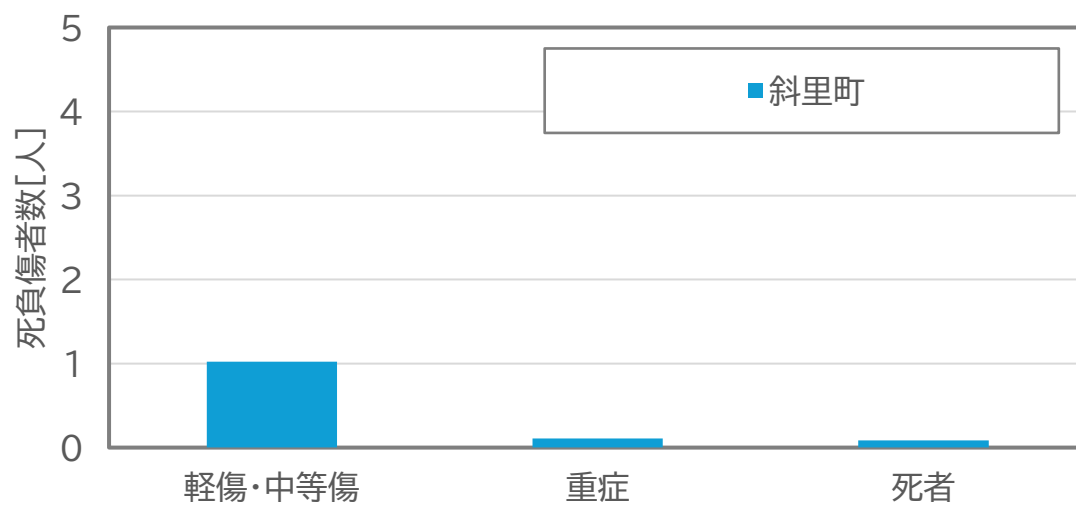


Fig. 5.37 冬期 死・負傷者数（北見商圏・標津）

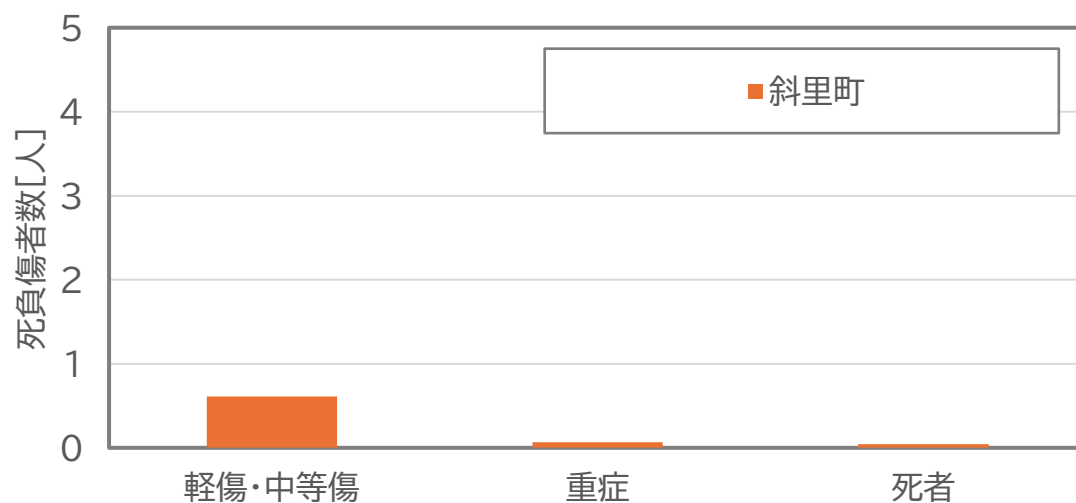


Fig. 5.37 夏期 死・負傷者数（北見商圏・標津）

Table. 5.15 北見商圏の気象情報¹⁸⁾

自治体	最深積雪(cm)	平均気温(℃)	最低気温(℃)	平均風速(m/s)
日高	81	-6.8	-20.9	1.4
日高門別	60	-4.3	-17.0	2.6
新和	60	-6.1	-22.6	1.1
静内	20	-2.9	-13.7	2.4
平取	60	-4.4	-16.5	2.6
三石	60	-4.2	-19.2	2.1
中札白	61	-5.7	-21.9	1.4
浦河	16	-2.1	-10.7	2.6
えりも岬	60	-2.2	-8.1	9.2
大岸	75	-3.6	-15.0	1.8
伊達	60	-4.4	-12.3	2.6
室蘭	22	-1.6	-8.4	5.2
登別	77	-3.8	-11.9	2.3
大滝	121	-6.6	-19.4	1.6
森野	60	-4.6	-15.8	1.2
洞爺湖温泉	60	-4.4	-16.5	2.6
白老	25	-3.3	-14.7	2.6
苫小牧	28	-3.2	-14.1	2.6
厚真	60	-5.9	-21.7	2.2
穂別	55	-7.1	-24.4	1.5
鵲川	60	-5.3	-20.4	3.2
安平	66	-4.4	-16.5	2.6
黒松内	133	-3.7	-17.3	2.3

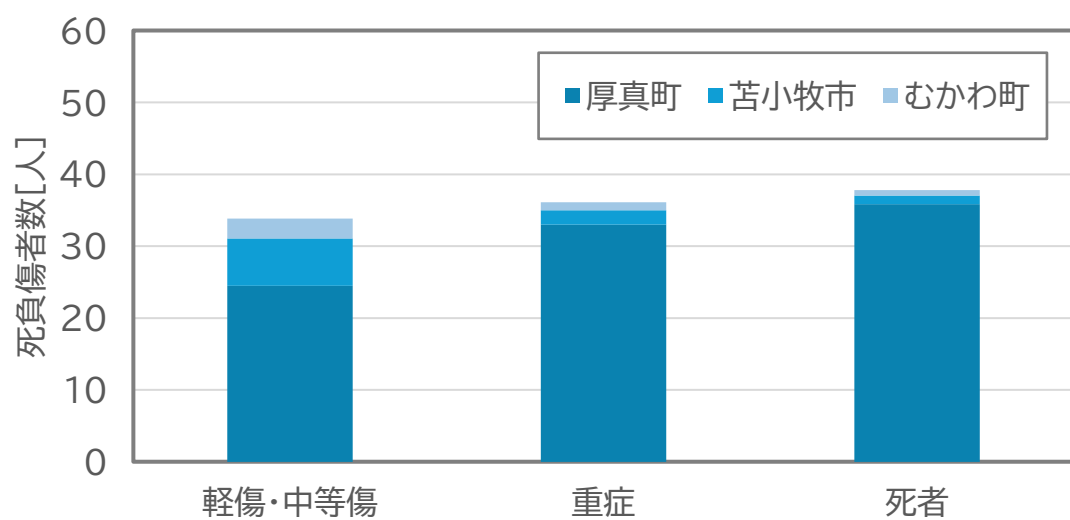


Fig. 5.38 冬期 死・負傷者数（胆振・日高商圏・石狩低地東縁断層帯）

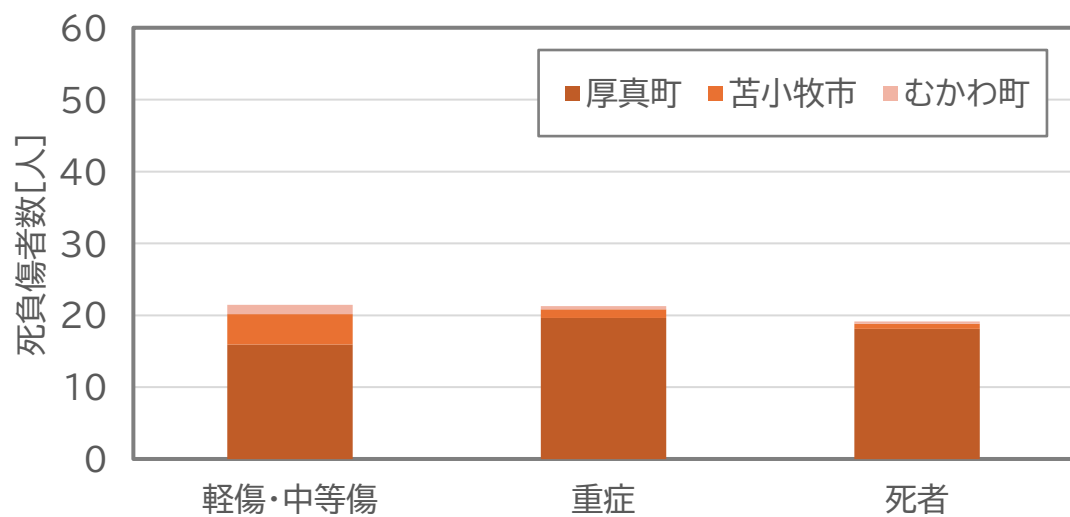


Fig. 5.38 夏期 死・負傷者数（胆振・日高商圏・石狩低地東縁断層帯）

Table. 5.16 胆振・日高商圏の気象情報¹⁸⁾

自治体	最深積雪(cm)	平均気温(℃)	最低気温(℃)	平均風速(m/s)
日高	81	-6.8	-20.9	1.4
日高門別	60	-4.3	-17.0	2.6
新和	60	-6.1	-22.6	1.1
静内	20	-2.9	-13.7	2.4
平取	60	-4.4	-16.5	2.6
三石	60	-4.2	-19.2	2.1
中杵臼	61	-5.7	-21.9	1.4
浦河	16	-2.1	-10.7	2.6
えりも岬	60	-2.2	-8.1	9.2
大岸	75	-3.6	-15.0	1.8
伊達	60	-4.4	-12.3	2.6
室蘭	22	-1.6	-8.4	5.2
登別	77	-3.8	-11.9	2.3
大滝	121	-6.6	-19.4	1.6
森野	60	-4.6	-15.8	1.2
洞爺湖温泉	60	-4.4	-16.5	2.6
白老	25	-3.3	-14.7	2.6
苫小牧	28	-3.2	-14.1	2.6
厚真	60	-5.9	-21.7	2.2
穂別	55	-7.1	-24.4	1.5
鵲川	60	-5.3	-20.4	3.2
安平	66	-4.4	-16.5	2.6
黒松内	133	-3.7	-17.3	2.3

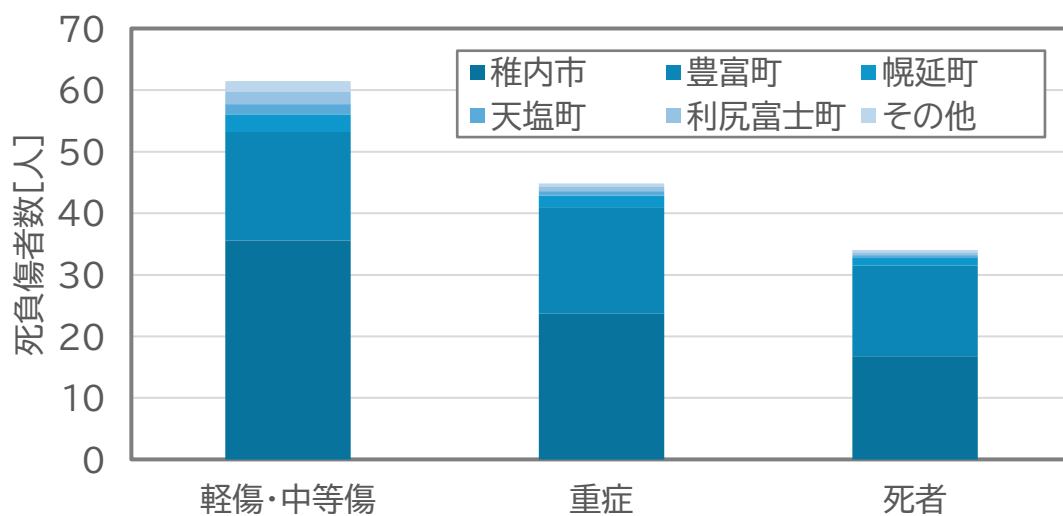


Fig. 5.39 冬期 死・負傷者数（稚内商圏・サロベツ）

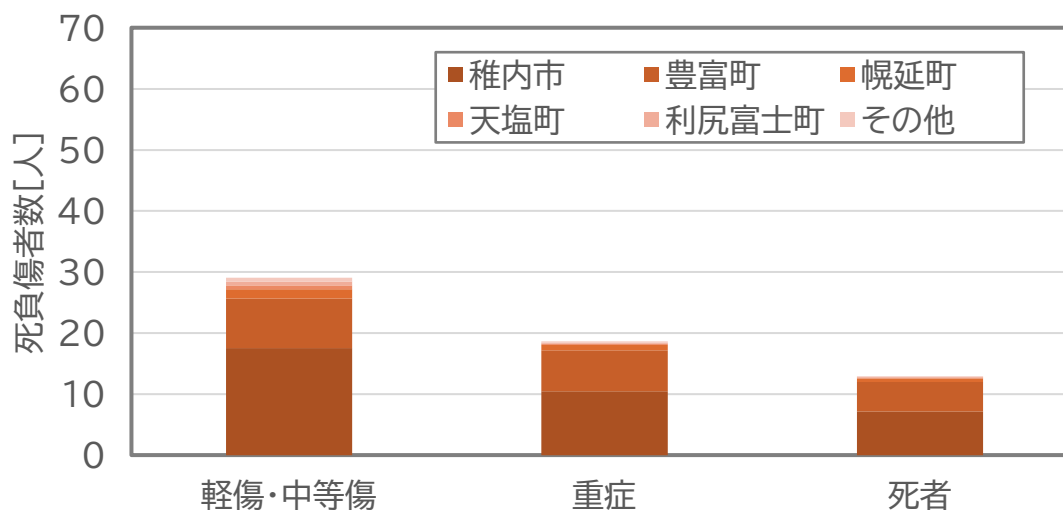


Fig. 5.39 夏期 死・負傷者数（稚内商圏・サロベツ）

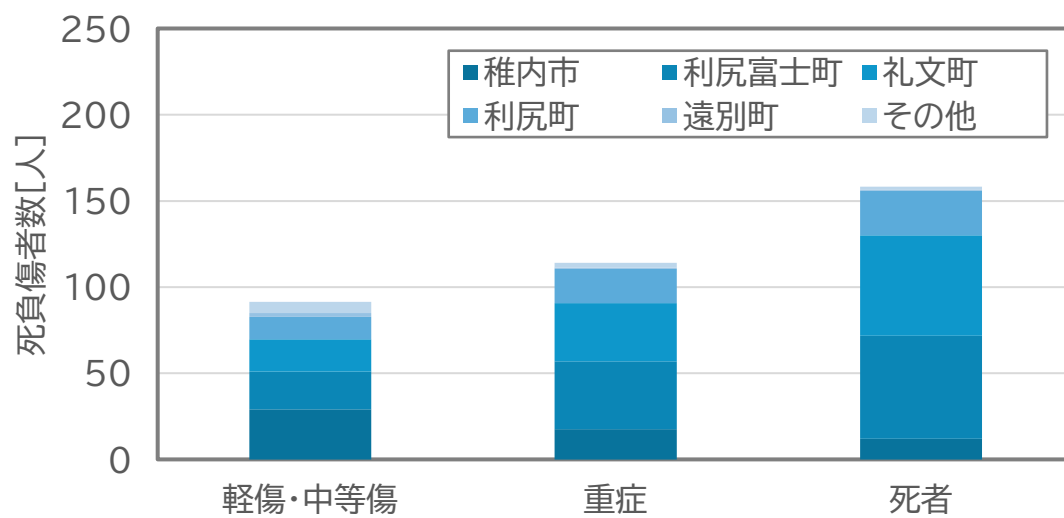


Fig. 5.40 冬期 死・負傷者数（稚内商圏・北西沖）

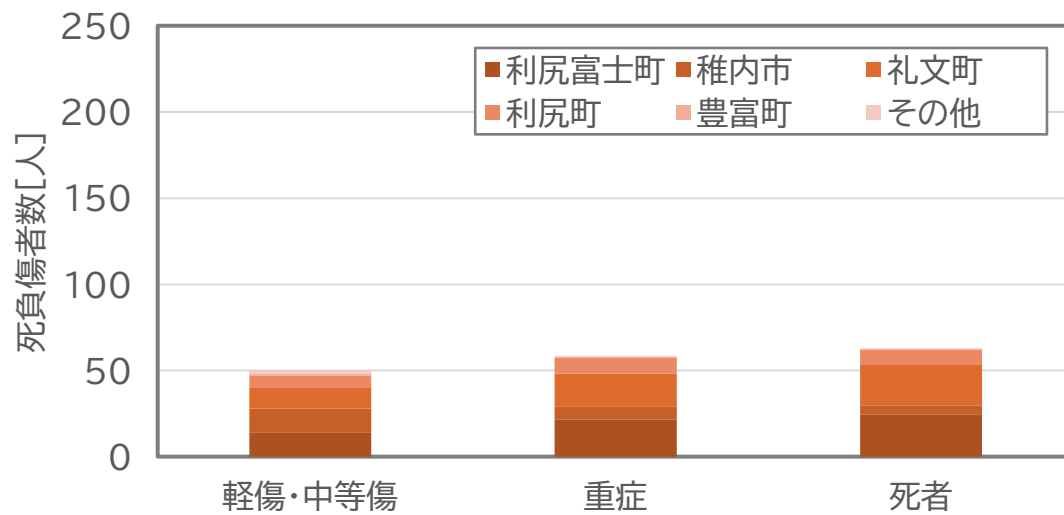


Fig. 5.40 夏期 死・負傷者数（稚内商圏・北西沖）

Table. 5.17 稚内商圏の気象情報¹⁸⁾

自治体	最深積雪(cm)	平均気温(℃)	最低気温(℃)	平均風速(m/s)
礼文	100	-4.3	-11.3	3.1
船泊	100	-5.8	-13.7	3.7
宗谷岬	100	-4.6	-12.0	8.0
稚内	64	-4.3	-11.8	4.7
沼川	109	-6.9	-24.3	2.1
浜鬼志別	75	-6.0	-19.2	5.1
浜頓別	100	-6.3	-18.9	2.4
北見枝幸	98	-5.4	-15.6	3.9
歌登	145	-8.2	-28.6	1.4
中頓別	136	-8.5	-27.6	1.7
豊富	88	-6.1	-20.5	2.8
杓形	100	-3.8	-11.5	4.4
遠別	100	-5.6	-20.5	4.1
天塩	82	-5.3	-20.7	4.2

(3) 損傷度別損失空間人口推定

低体温症発症者数の評価に必要な、地震後建物内部に閉じ込められる者を算出する。本研究における建物内部の「閉じ込め」の定義は村上・竹田¹⁹⁾に従った (Table. 5.18)。

Table. 5.18 閉じ込め者の分類¹⁹⁾

レベル0 :	閉じ込めではない
レベル1 : 空間的閉じ込め	①家具等の転倒・散乱により出口までの歩行が困難 ②家屋の変形によりドア等が開かず出口までの歩行が困難 ③柱や梁等の落下により出口までの歩行が困難
レベル2 : 身体的閉じ込め	①～③の状況に加え柱や梁等の落下による身体拘束

閉じ込めレベル1は自力脱出不可能であるものの、身体的自由は一定程度確保されており、防寒対策を実施することは可能である。一方で、レベル2は身体が拘束されており、発災直後の服装で極寒の外気と同程度の環境に曝されることとなる。そこで、本研究では、レベル1・2の閉じ込め者をともに算出したうえで、レベル2の身体的閉じ込め者を低体温症の評価対象者とした。

閉じ込め者は、角田ら¹¹⁾の手法により損傷度 Δx の建物内人口 $Mf(I, \Delta x)$ に建物損傷度 Δx 時の閉じ込め率 $p_{\Delta x}$ を乗じることで自力脱出不可能な閉じ込め者数 P_L を式(5-21)で算出した。

$$P_L = \sum_{\Delta x=0}^{1.0} \sum_{I=0}^{I=7.4} Mf(I, \Delta x) \times p_{\Delta x} \quad \text{---(5-21)}$$

建物損傷度 Δx 時の閉じ込め率 $p_{\Delta x}$ は村上・竹田¹⁹⁾による建物損傷度別の閉じ込め者発生確率に β 分布を当てはめて算出し、式(5-22)で表す。

$$p_x = F(x|q, r) = \frac{1}{B(q, r)} \int_0^x x^{q-1} (1-x)^{r-1} dx \quad \text{---(5-22)}$$

β 分布のパラメータは最小二乗法で算出した値 $q = 0.86$ 及び $r = 0.46$ を用いている。また、建物損傷度0においても家具の転倒・散乱により閉じ込めが発生していることを考慮し、村上・竹田¹⁹⁾の調査結果にならい本研究でも建物損傷度0の場合は家具によって7.7%の確率で閉じ込めが発生すると仮定した。

Table. 5.19 閉じ込め率 p_x と建物損傷度 Δx の関係¹⁹⁾

Δx	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.3	0.3-0.4	0.4-0.5	0.5-0.6	0.6-0.7	0.7-0.8	0.8-0.9	0.9-1.0
p_x	0.077	0.099713	0.159351	0.21987	0.283044	0.35063	0.425	0.510153	0.614693	0.768642

さらに建物損傷度別の負傷確率 $M_{iss}(\theta)$ に損傷度 x 毎の閉じ込め発生率 p_x をかける事で、ISS別閉じ込め者数 $P_{L,iss}$ を算出する。

$$P_{L,iss} = M_{iss}(\theta) \cdot p_x = \sum_{x=0.6}^{1.0} \sum_{I=0}^{I=7.4} Pw(I, \Delta x) \cdot f''_{\Delta x}(\theta) \cdot p_{\Delta x} \quad - (5-23)$$

次に、レベル1・2の閉じ込め者を分離する。**Table. 5.20**に示す兵庫県南部地震のアンケート調査¹⁹⁾による閉じ込め率を基に、建物被害程度ごとのレベル1と2の閉じ込め比率を乗じて、それぞれの閉じ込め者数を算出した。

Table. 5.20 兵庫県南部地震のアンケート調査による閉じ込め率¹⁹⁾

被害程度	Damage- Index	空間的閉じ込め率				身体的閉じ込め率			
		1 階	2 階	平均値	比率	1 階	2 階	平均値	比率
被害なし	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0
一部破損	0.1-0.4	0.262	0.380	0.321	0.973	0.000	0.018	0.009	0.027
半壊	0.4-0.6	0.385	0.262	0.324	0.819	0.047	0.096	0.072	0.181
修復不能	0.6-0.8	0.462	0.442	0.452	0.829	0.155	0.031	0.093	0.171
完全崩壊	0.8-1.0	0.889	0.553	0.721	0.713	0.370	0.211	0.291	0.287

Table. 5.21 及び **Fig. 5.41**～**Fig. 5.43** は、季節・商圈別の死者を除く空間的閉じ込め者数を示した表とその時の負傷程度別、**Table. 5.22** 及び **Fig. 5.44**～**Fig. 5.46** は、季節・商圈別の死者を除く空間的閉じ込め者数を示した表とその時の負傷程度別グラフである。

夏期推定値に対する冬期推定値を確認すると、地域や対象地震動によって一定程度の差異は見られるものの、おおむね軽傷・中等傷で2.7倍、重傷で2.9倍、負傷なしで1.1倍ほど、冬期の方が閉じ込め者数が多くなる傾向が確認できた。これは、積雪による耐震評点の変化が建物被害に影響し、冬季の閉じ込め者が増加していることを表している。

Table. 5.21 季節・商圈別閉じ込め者数[人]（空間的閉じ込め）

商圈	地震	夏期			冬期		
		軽傷・中等傷	重傷	非負傷	軽傷・中等傷	重傷	非負傷
札幌	月寒	1,575	787	146,064	4,610	2,397	179,045
	西札幌	1,136	568	134,633	3,340	1,738	158,180
	野幌丘陵	356	140	131,294	1,294	563	152,897
帯広	十勝平野	178	90	21,741	366	185	24,542
	十勝沖	14	5	19,197	35	12	20,307
函館	函館平野西縁	296	159	27,378	567	309	29,875
	北海道南西沖	9	3	23,847	21	7	24,621
旭川	富良野西部	215	126	33,133	437	259	34,325
	富良野東部	28	12	30,284	72	34	30,998
釧路	根室沖	3	8	18,409	10	4	1,785
	十勝沖	111	44	21,560	396	172	27,003
北見	標津	35	18	8,064	69	37	8,407
胆振日高	石狩低地東縁	67	39	24,040	113	65	24,462
稚内	サロベツ	65	32	4,260	151	77	5,095
	北海道北西沖	180	105	4,350	350	196	5,098

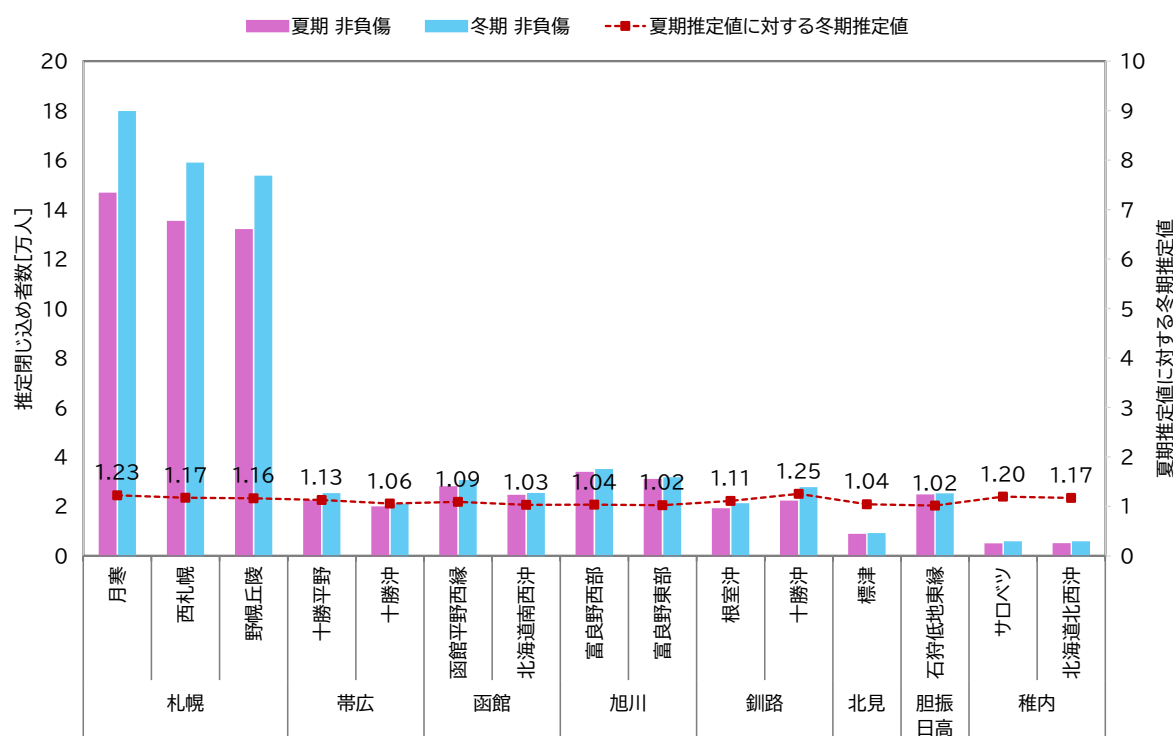


Fig. 5.41 季節・商圈別閉じ込め者数（空間的閉じ込め/負傷なし）

5. 低体温症発症者数推定

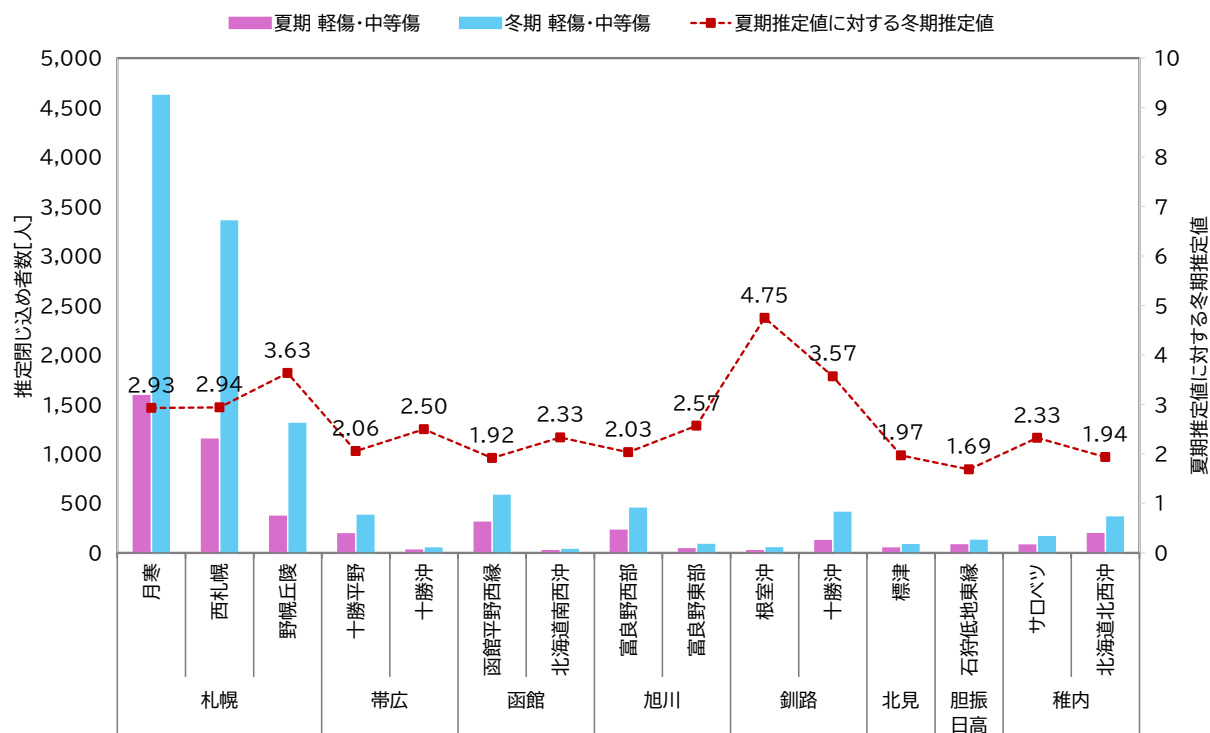


Fig. 5.42 季節・商圈別閉じ込め者数（空間的閉じ込め/軽傷・中等傷）

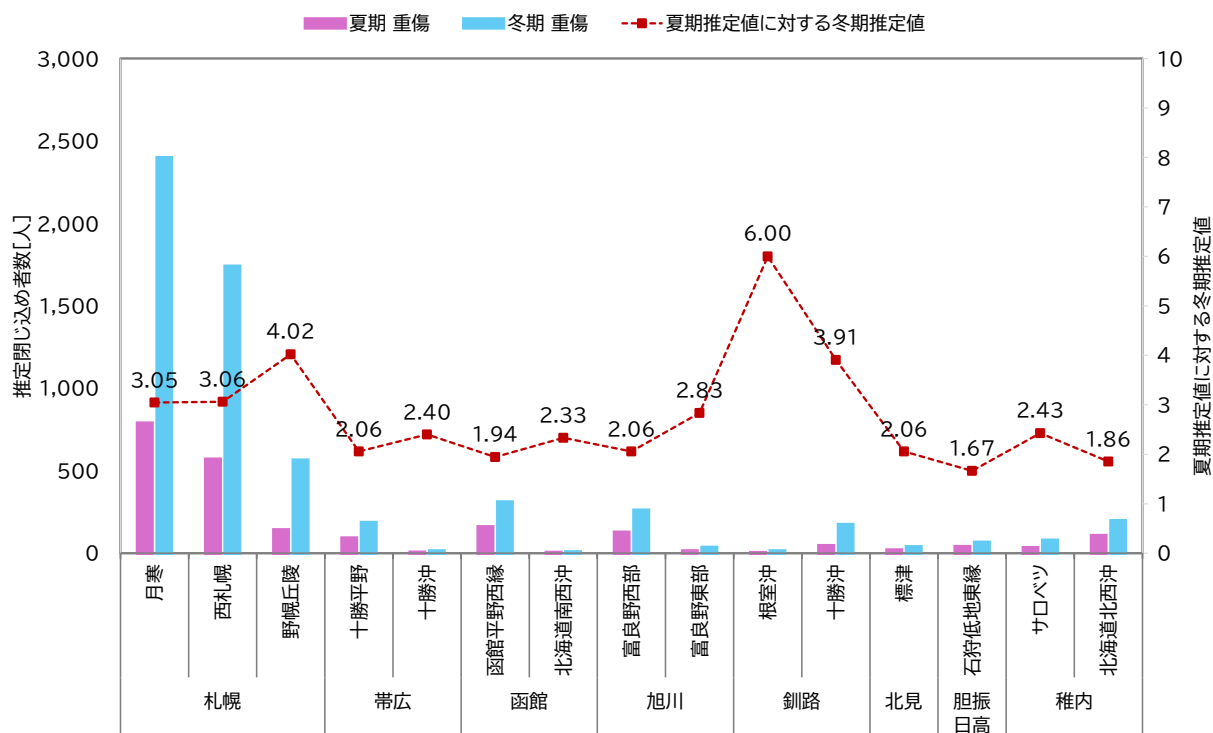


Fig. 5.43 季節・商圈別閉じ込め者数（空間的閉じ込め/重傷）

Table. 5.22 季節・商圈別閉じ込め者数[人]（身体的閉じ込め）

商圈	地震	夏期			冬期		
		軽傷・中等傷	重傷	非負傷	軽傷・中等傷	重傷	非負傷
札幌	月寒	526	303	13,563	1,575	930	18,274
	西札幌	379	219	12,278	1,141	674	15,666
	野幌丘陵	107	52	11,519	409	213	14,114
帯広	十勝平野	60	35	1,975	125	72	2,335
	十勝沖	4	2	1,651	10	4	1,766
函館	函館平野西縁	102	62	2,516	199	121	2,879
	北海道南西沖	2	1	2,043	6	2	2,122
旭川	富良野西部	78	50	2,931	161	102	3,125
	富良野東部	9	5	2,604	24	13	2,696
釧路	根室沖	2	1	1,578	1,564	924	17,389
	十勝沖	34	16	1,939	125	65	2,636
北見	標津	12	7	709	24	15	758
胆振日高	石狩低地東縁	24	15	2,083	41	26	2,139
稚内	サロベツ	22	12	410	51	30	535
	北海道北西沖	66	42	452	130	78	584

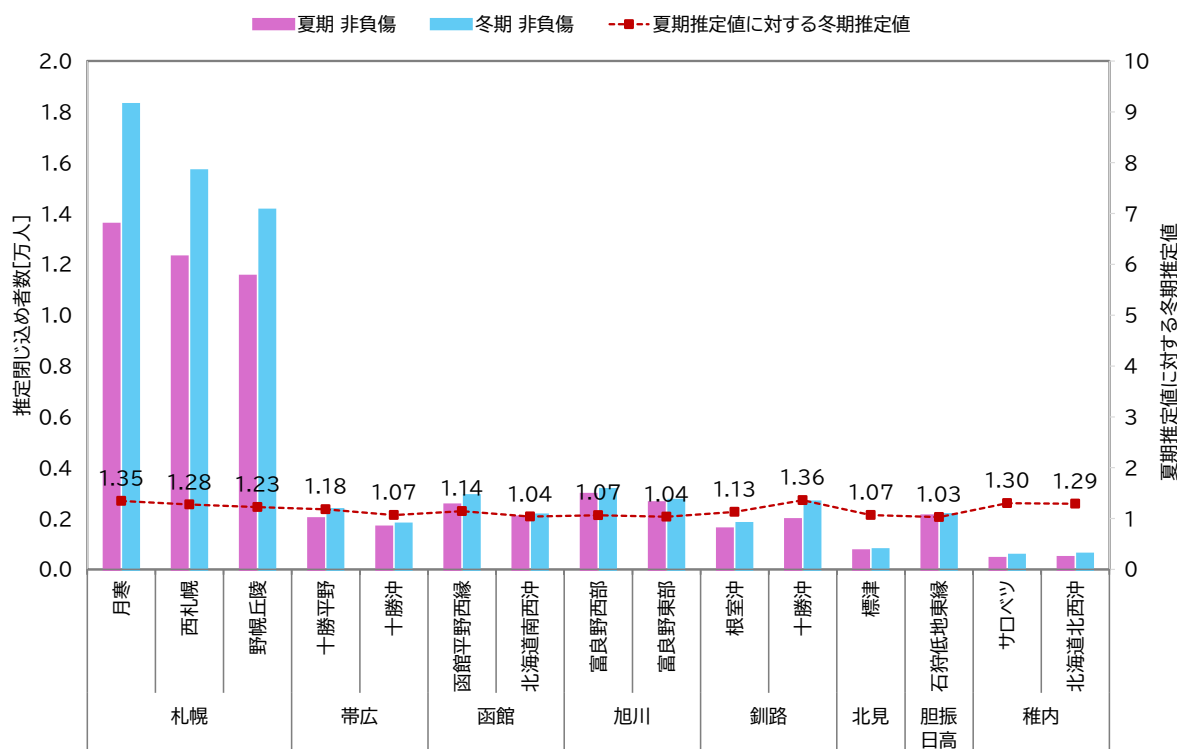


Fig. 5.44 季節・商圈別閉じ込め者数（身体的閉じ込め/負傷なし）

5. 低体温症発症者数推定

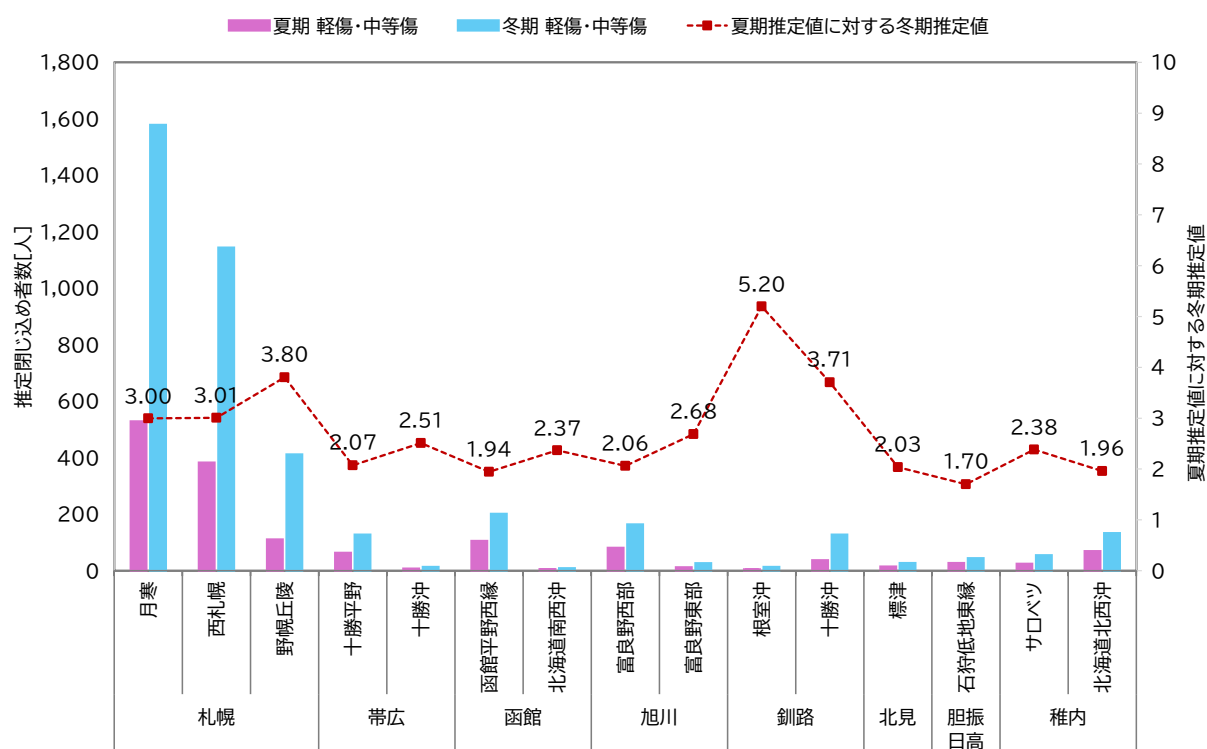


Fig. 5.45 季節・商圈別閉じ込め者数（身体的閉じ込め/軽傷・中等傷）

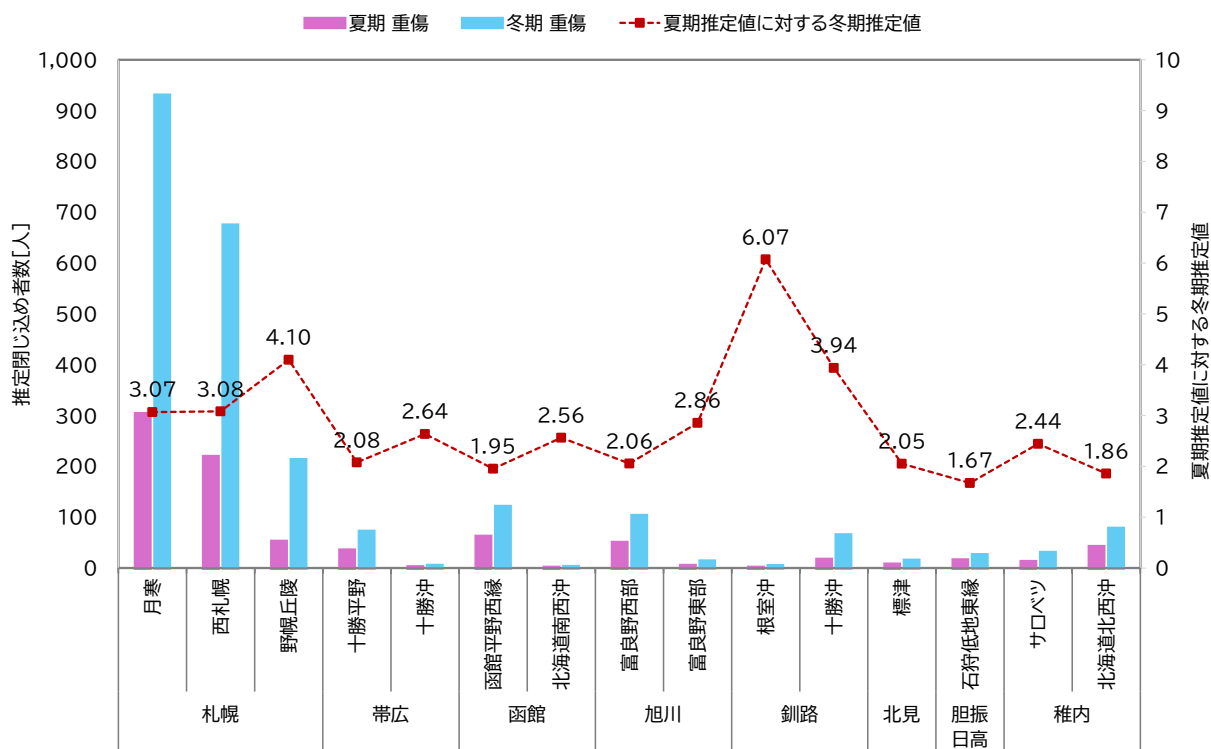


Fig. 5.46 季節・商圈別閉じ込め者数（身体的閉じ込め/重傷）

(4) 低体温症発症者数推定

構築した推定式を用いて、北海道全域を対象とした、閉じ込め者における低体温症発症者を推定した。気象情報は **Table. 5.10**～**Table. 5.17** に示す気象庁¹⁸⁾の過去の気象情報データより、2月の月最低気温を用いた。また、風速は商圏内の平均風速を採用した。

これは、月最低気温等、最悪シナリオで最大被害の発生する状況を推定するためである。自治体の被害想定では最大被害の出るシナリオで評価し、そこから現実的な施策に落とし込めるよう、検証を重ねる場合が多く、本研究でもまずは最悪シナリオを推定できるか確認することが妥当と判断した。ただし、実際に被害想定に適用する際は、自治体との調整の中で、より現実 に即したシナリオを決定する必要がある。

建物被害による閉じ込め者の定義は **Table. 5.18** に示すとおり、空間的閉じ込めと身体的閉じ込めの2ケースがある。

身体的閉じ込め者は、外気が流入した被災建物において、外気と同程度の寒冷環境に晒され、さらに身体拘束により防寒具を着用することができないため、低体温症の発生リスクが格段に高まることが懸念される。一方で空間的閉じ込め者は、建物損傷度が身体的閉じ込めの発生する建物よりも軽微であり、外気が流入する可能性が低いと考えられる。

閉じ込め者の着衣量 I_{clo} は、渡部ら²⁰⁾によるアンケート調査結果に基づく。男性平均 0.58clo、標準偏差 0.23clo 及び、女性平均 0.96clo、標準偏差 0.34clo より、身体的閉じ込め者の着衣量(I_{clo})分布は、正規分布に従うとし、**Fig. 5.47** に示す通りとする。

また、空間的閉じ込め者の I_{clo} 分布は、空間的閉じ込め者のうち、中等傷までは防寒具を着用できるとして、平均 2.50clo、標準偏差 0.20clo を採用、重症以上は身動きが取れないため防寒具を着用することが困難であるとして、身体的閉じ込め者と同じ I_{clo} 分布を採用した。

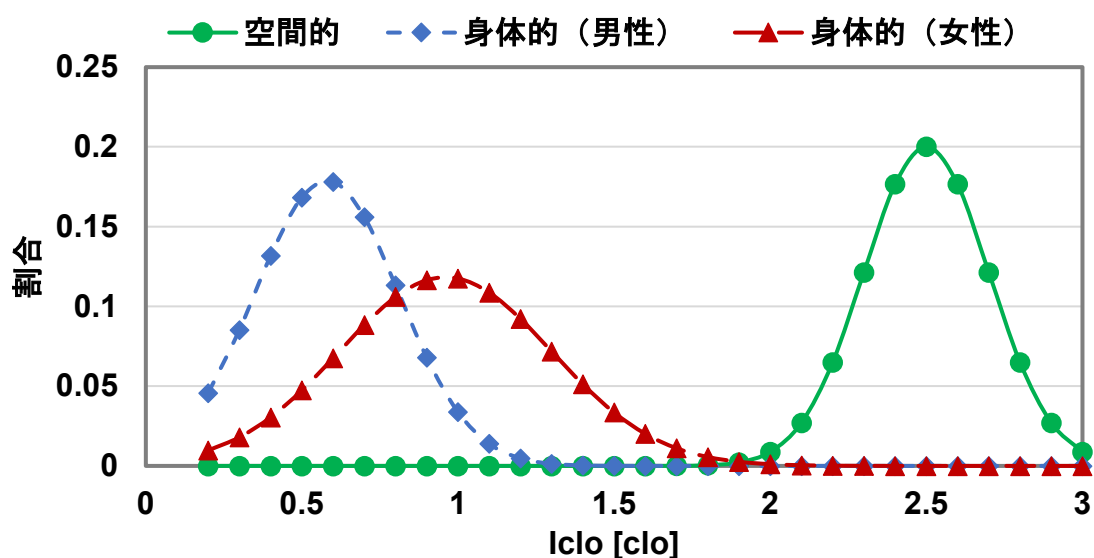


Fig. 5.47 閉じ込め者の衣服の着衣量 I_{clo}

Fig. 5.48 は月寒断層地震が発生した際の札幌市における月別の建物被害に伴う低体温症発症者数の発災後 6 時間後、9 時間後、12 時間後を示すグラフ、**Fig. 5.49** は低体温症発症者数の発災からの時間推移である。本論では、危険度を実際より低く評価してしまう可能性を考慮し、まずは、 $I_{clo} < 0.5clo$ も含めた推定結果を示している。ただし、先述の通り、限界曝露時間 DLE_F の推定においては、適用推奨範囲が $I_{clo} \geq 0.5clo$ であり、 $0.5clo$ 未満の場合は、特に発災から短時間での低体温症発症者に関する危険度評価に多少の過誤が生じる可能性があるため、評価時には、 $I_{clo} \geq 0.5clo$ で適用することが望ましい。

日平均気温が -2.0°C 以下となる 1~2 月は、発災後 6 時間後には、低体温症発症者数が 7 千人を上回り、12 時間後には、全ての身体的閉じ込め者が低体温症発症者となることが示された。また、2 月の低体温症発症者は 4 月と比較すると約 1.38 倍であり、さらに 4 月の低体温症の発症は発災後 7 時間後であることが確認された。これは、厳冬期の倒壊建物による低体温症発症者救出の遅延が、地震時の凍死者を大幅に増加させる要因となることを示唆しており、厳冬期においては、これまで目安とされていた 72 時間よりも大幅に短い時間での救助が必要であることを示している。

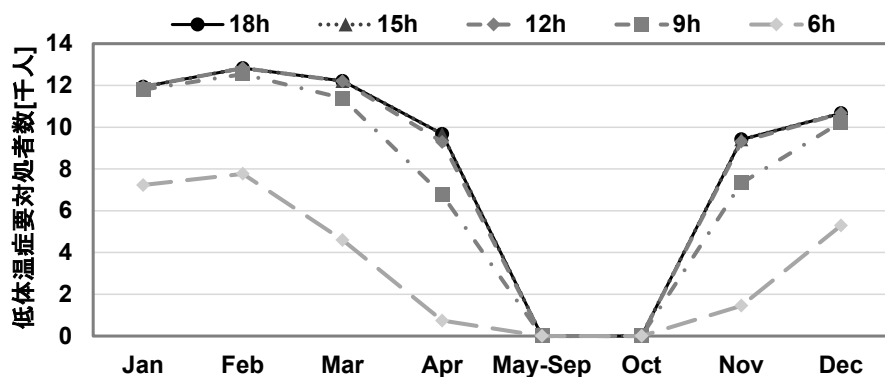


Fig. 5.48 月別発災 6・9・12 時間後の低体温症発症者数

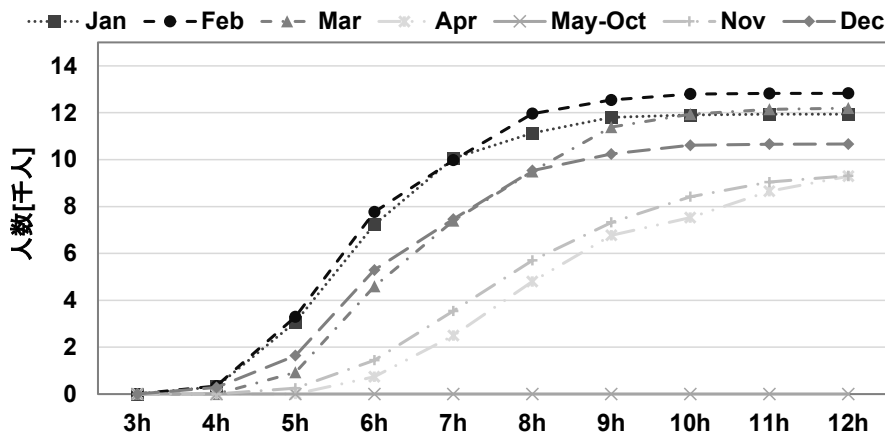


Fig. 5.49 月別低体温症発症者数の時間推移

なお、本推定は該当時間まで身体的閉じ込め者が救助されずに、閉じ込め状態が継続された場合を仮定したものである。近隣住民や消防隊等による救助で、これらの低体温症発症者数は減少が期待される。

5.2. 建物内での空間的閉じ込めにおける偶発性低体温症リスク

5.2.1. 空間的閉じ込めによる低体温症発症者数推定の流れ

空間的閉じ込め者は、建物内の残存空間を移動して、防寒具を着用、寝具等を被る等の防寒対策をとることが可能で、clo 値を大幅に高められることから、低体温症の発症リスクは低いと想定される。ただし、空間的閉じ込め者のうち、重症以上は身動きが取れないため、防寒対策をとることが出来ないとし、以下で低体温症発症者数の推定を行った。

建物内の残存空間の室温低下 θ_i [°C]は、長谷川・桑沢²¹⁾や葉石ら²²⁾を参考に、(5-24)式で表現することができる。

$$\theta_i = \left(\theta_0 + \frac{H}{W} \right) (1 - e^{-\delta t}) + \theta_0 e^{-\delta t} \quad \text{---(5-24)}$$

ここに、各パラメータは以下のとおりである。

θ_0 : 変化前の室温[°C]

H : 供給熱量[W/h]であり、その場に座り込んで移動等ができない状況の被災者からの代謝熱量として、 $61.6[\text{W}/\text{m}^2] \times 1.63[\text{m}^2] = 100.408$ とする。

W : 熱損失量[W/h・°C]であり、室温変動率は葉石ら²²⁾により、90.1325 とする。

($77.5[\text{cal}/\text{h} \cdot ^\circ\text{C}] \times 1.163 = 90.1325[\text{W}/\text{h} \cdot ^\circ\text{C}]$)

δ : 室温変動率[1/h]であり、葉石ら²²⁾により、木造試験住宅で 0.20 とする。

t : 経過時間[h]

Table. 5.23 住宅の室温変動率の例²²⁾

建物種類	構造外壁	室温変動率[1/h]
木造試験住宅	ブラスタ 1.0cm	0.20
	ラスボード 0.7cm	
	中空層 5.9cm	
	グラスウール 5.0cm	
	中空層 1.0cm	
	木片セメント板 1.2cm	
RC 造住宅 ²³⁾	コンクリート壁 15.0cm	0.102
	コンクリート壁 21.0cm	0.064

例として、冬期における平常時室温の平均を 25°C と仮定し、(5-24)式を用いて札幌商圏の5自治体の室温変化を示した。結果を Fig. 5.50 に示す。なお、この際、建物被害は軽微であり、外気の直接的な流入はないものとする。

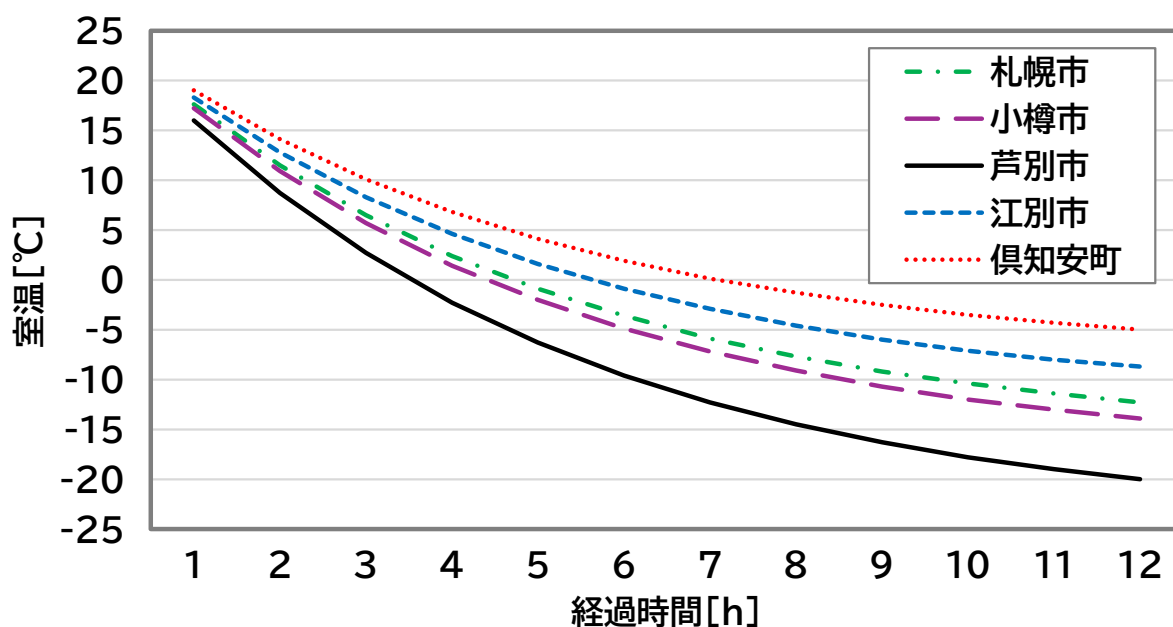


Fig. 5.50 発災後の室温変化

本論では、室温変化を6時間後までの平均値をとって空間的閉じ込め者の温熱環境とする。各市町村の空間的閉じ込め者の温熱環境は Table. 5.24～Table. 5.31 のとおりである。

Table. 5.24 空間的閉じ込め者の温熱環境（札幌商圏）（1/2）

自治体	平均気温 (℃)	平均室温(℃) ※6 時間平均	最低気温 (℃)	最低室温(℃) ※6 時間平均	平均風速 (m/s)
札幌市	-2.7	12.4	-17.1	5.6	2.7
小樽市	-2.7	12.4	-18.9	4.7	1.8
夕張市	-6.0	10.8	-17.1	5.6	2.7
岩見沢市	-4.6	11.5	-17.1	5.6	2.7
美唄市	-5.9	10.9	-16.6	5.8	3.3
芦別市	-5.6	11.0	-25.6	1.5	2.0
江別市	-5.5	11.1	-13.2	7.4	4.4
赤平市	-4.6	11.5	-18.6	4.9	3.1
三笠市	-4.6	11.5	-22.5	3.0	1.4
千歳市	-5.3	11.2	-17.1	5.6	2.7
滝川市	-6.1	10.8	-21.2	3.6	2.1
砂川市	-4.6	11.5	-18.7	4.8	1.8
歌志内市	-4.6	11.5	-16.1	6.0	4.2
恵庭市	-5.5	11.1	-17.1	5.6	3.3
北広島市	-4.6	11.5	-17.3	5.5	2.3
石狩市	-4.2	11.7	-11.7	8.1	2.7
当別町	-4.6	11.5	-14.8	6.7	3.0
新篠津村	-5.4	11.1	-12.8	7.6	1.6
島牧村	-4.6	11.5	-17.1	5.6	2.7
寿都町	-1.9	12.8	-9.7	9.1	2.7
蘭越町	-3.7	11.9	-10.9	8.5	3.3
ニセコ町	-4.6	11.5	-17.1	5.6	2.7
真狩村	-6.1	10.8	-20.2	4.1	3.1
留寿都村	-4.6	11.5	-17.1	5.6	2.7
喜茂別町	-6.7	10.5	-22.9	2.8	3.1
京極町	-4.6	11.5	-16.3	6.0	2.1
倶知安町	-4.9	11.4	-9.1	9.4	4.0
共和町	-3.0	12.3	-17.2	5.5	3.5
岩内町	-4.6	11.5	-22.5	3.0	1.8
泊村	-4.6	11.5	-17.1	5.6	2.7
神恵内村	-1.9	12.8	-17.1	5.6	2.7

平均気温、最低気温、平均風速は気象庁データ¹⁸⁾を使用。

Table. 5.24 空間的閉じ込め者の温熱環境（札幌商圏）（2/2）

自治体	平均気温 (°C)	平均室温(°C) ※6 時間平均	最低気温 (°C)	最低室温(°C) ※6 時間平均	平均風速 (m/s)
積丹町	-4.6	11.5	-17.1	5.6	3.7
古平町	-4.6	11.5	-20.5	4.0	2.5
仁木町	-4.6	11.5	-17.1	5.6	2.7
余市町	-3.3	12.1	-20.2	4.1	2.0
赤井川村	-4.6	11.5	-21.3	3.6	2.6
南幌町	-4.6	11.5	-12.2	7.9	1.6
奈井江町	-4.6	11.5	-15.5	6.3	4.9
上砂川町	-4.6	11.5	-17.9	5.2	2.4
由仁町	-4.6	11.5	-13.9	7.1	2.5
長沼町	-5.3	11.2	-16.8	5.7	2.2
栗山町	-4.6	11.5	-17.1	5.6	2.7
月形町	-5.3	11.2	-17.1	5.6	2.7
浦臼町	-4.6	11.5	-17.1	5.6	2.7
新十津川町	-4.6	11.5	-17.1	5.6	2.7
雨竜町	-4.6	11.5	-17.1	5.6	2.7
安平町	-4.6	11.5	-17.1	5.6	2.7

平均気温、最低気温、平均風速は気象庁データ¹⁸⁾を使用。

Table. 5.25 空間的閉じ込め者の温熱環境（帯広商圈）

自治体	平均気温 (℃)	平均室温(℃) ※6 時間平均	最低気温 (℃)	最低室温(℃) ※6 時間平均	平均風速 (m/s)
釧路市	-6.2	10.7	-17.6	5.3	2.6
帯広市	-5.7	11.0	-20.5	4.0	2.2
上川町	-7.8	10.0	-23.6	2.5	2.2
美瑛町	-7.9	9.9	-26.5	1.1	1.6
南富良野町	-7.4	10.2	-27.9	0.5	1.5
津別町	-6.3	10.7	-20.8	3.8	2.2
置戸町	-6.3	10.7	-20.8	3.8	2.2
日高町	-6.8	10.5	-20.9	3.8	1.4
新冠町	-6.3	10.7	-20.8	3.8	2.2
浦河町	-2.1	12.7	-10.7	8.6	2.2
様似町	-6.3	10.7	-20.8	3.8	2.2
えりも町	-2.2	12.6	-8.1	9.8	9.2
新ひだか町	-6.3	10.7	-20.8	3.8	2.2
音更町	-6.3	10.7	-20.8	3.8	2.2
士幌町	-6.3	10.7	-20.8	3.8	2.2
上士幌町	-7.1	10.3	-20.0	4.2	1.9
鹿追町	-6.2	10.7	-19.7	4.3	2.5
新得町	-5.6	11.0	-19.9	4.2	2.0
清水町	-6.3	10.7	-20.8	3.8	2.2
芽室町	-7.3	10.2	-24.9	1.9	1.4
中札内村	-6.3	10.7	-20.8	3.8	2.2
更別村	-7.7	10.0	-22.2	3.2	1.6
大樹町	-7.8	10.0	-24.7	2.0	2.8
広尾町	-6.3	10.7	-20.8	3.8	2.2
幕別町	-6.3	10.7	-20.8	3.8	2.2
池田町	-6.3	10.7	-20.8	3.8	2.2
豊頃町	-6.3	10.7	-20.8	3.8	2.2
本別町	-7.3	10.2	-23.1	2.7	1.3
足寄町	-7.5	10.1	-23.6	2.5	1.5
陸別町	-9.6	9.1	-27.9	0.5	1.5
浦幌町	-5.8	10.9	-19.8	4.3	1.8
白糠町	-5.9	10.9	-20.3	4.1	2.5

平均気温、最低気温、平均風速は気象庁データ¹⁸⁾を使用。

Table. 5.26 空間的閉じ込め者の温熱環境（函館商圏）

自治体	平均気温 (°C)	平均室温(°C) ※6 時間平均	最低気温 (°C)	最低室温(°C) ※6 時間平均	平均風速 (m/s)
函館市	-1.8	12.8	-11.4	8.3	3.8
北斗市	-2.9	12.3	-14.1	7.0	2.4
松前町	-0.1	13.6	-7.3	10.2	5.7
福島町	-3.1	12.2	-13.6	7.2	3.0
知内町	-3.1	12.2	-13.6	7.2	3.0
木古内町	-1.8	12.8	-10.8	8.6	2.1
七飯町	-3.1	12.2	-13.6	7.2	3.0
鹿部町	-3.1	12.2	-13.6	7.2	3.0
森町	-3.1	12.2	-13.1	7.5	3.0
八雲町	-2.8	12.4	-12.7	7.7	2.5
長万部町	-3.6	12.0	-14.2	6.9	2.3
江差町	-3.1	12.2	-13.6	7.2	3.0
上ノ国町	-3.1	12.2	-13.6	7.2	3.0
厚沢部町	-3.1	12.2	-13.6	7.2	3.0
乙部町	-3.1	12.2	-13.6	7.2	3.0
奥尻町	-3.1	12.2	-13.6	7.2	3.0
今金町	-3.0	12.3	-15.9	6.1	2.1
せたな町	-1.4	13.0	-10.3	8.8	5.3
島牧村	-3.1	12.2	-13.6	7.2	3.0
黒松内町	-3.1	12.2	-13.6	7.2	3.0
豊浦町	-3.1	12.2	-13.6	7.2	3.0

平均気温、最低気温、平均風速は気象庁データ¹⁸⁾を使用。

Table. 5.27 空間的閉じ込め者の温熱環境（旭川商圏）

自治体	平均気温 (℃)	平均室温(℃) ※6 時間平均	最低気温 (℃)	最低室温(℃) ※6 時間平均	平均風速 (m/s)
旭川市	-6.0	10.8	-22.6	3.0	3.1
北見市	-7.4	10.2	-20.7	3.9	1.9
夕張市	-4.6	11.5	-17.1	5.6	2.7
留萌市	-3.7	11.9	-20.9	3.8	5.9
芦別市	-6.7	10.5	-25.6	1.5	2.0
赤平市	-4.9	11.4	-18.6	4.9	3.1
士別市	-7.7	10.0	-27.7	0.6	1.7
名寄市	-8.0	9.9	-31.3	-1.2	1.8
滝川市	-5.5	11.1	-21.2	3.6	2.1
深川市	-6.8	10.5	-26.5	1.1	2.4
富良野市	-7.4	10.2	-27.9	0.5	1.5
石狩市	-2.7	12.4	-11.7	8.1	2.7
新十津川町	-4.6	11.5	-17.1	5.6	2.7
妹背牛町	-6.8	10.5	-26.5	1.1	2.4
秩父別町	-6.8	10.5	-26.5	1.1	2.4
雨竜町	-4.6	11.5	-17.1	5.6	2.7
北竜町	-6.8	10.5	-26.5	1.1	2.4
沼田町	-6.8	10.5	-26.5	1.1	2.4
鷹栖町	-6.8	10.5	-26.5	1.1	2.4
東神楽町	-6.8	10.5	-26.5	1.1	2.4
当麻町	-6.8	10.5	-26.5	1.1	2.4
比布町	-7.3	10.2	-24.9	1.9	1.9
愛別町	-6.8	10.5	-26.5	1.1	2.4
上川町	-7.8	10.0	-23.6	2.5	2.2
東川町	-7.3	10.2	-25.3	1.7	1.8
美瑛町	-7.9	9.9	-26.5	1.1	1.6
上富良野町	-7.2	10.3	-27.3	0.7	1.6
中富良野町	-6.8	10.5	-26.5	1.1	2.4
南富良野町	-6.8	10.5	-26.5	1.1	2.4
占冠村	-6.8	10.5	-26.5	1.1	2.4
和寒町	-7.6	10.1	-28.9	0.0	1.6
剣淵町	-6.8	10.5	-26.5	1.1	2.4

平均気温、最低気温、平均風速は気象庁データ¹⁸⁾を使用。

Table. 5.27 空間的閉じ込め者の温熱環境（旭川商圏）

自治体	平均気温 (℃)	平均室温(℃) ※6 時間平均	最低気温 (℃)	最低室温(℃) ※6 時間平均	平均風速 (m/s)
下川町	-8.2	9.8	-32.0	-1.5	2.5
美深町	-8.0	9.9	-32.0	-1.5	1.3
音威子府村	-7.7	10.0	-30.1	-0.6	1.8
中川町	-7.2	10.3	-27.0	0.9	2.1
幌加内町	-7.7	10.0	-29.8	-0.4	1.9
増毛町	-3.0	12.3	-16.3	6.0	4.5
小平町	-6.8	10.5	-26.5	1.1	2.4
苫前町	-6.8	10.5	-26.5	1.1	2.4
羽幌町	-4.0	11.8	-20.6	3.9	4.9
初山別村	-4.4	11.6	-22.2	3.2	4.4
遠別町	-5.6	11.0	-20.5	4.0	4.1
猿払村	-6.8	10.5	-26.5	1.1	2.4
浜頓別町	-6.3	10.7	-18.9	4.7	2.4
中頓別町	-8.5	9.7	-27.6	0.6	1.7
枝幸町	-5.4	11.1	-15.6	6.3	3.9
幌延町	-6.8	10.5	-26.5	1.1	2.4
遠軽町	-7.7	10.0	-23.6	2.5	1.4
滝上町	-7.7	10.0	-25.9	1.4	1.6
興部町	-6.7	10.5	-20.7	3.9	2.0
西興部村	-7.3	10.2	-24.7	2.0	1.9
雄武町	-6.1	10.8	-19.2	4.6	3.6
むかわ町	-6.8	10.5	-26.5	1.1	2.4
日高町	-6.8	10.5	-20.9	3.8	1.4
平取町	-6.8	10.5	-26.5	1.1	2.4
上士幌町	-7.1	10.3	-20.0	4.2	1.9
新得町	-5.6	11.0	-19.9	4.2	2.0
清水町	-6.8	10.5	-26.5	1.1	2.4

平均気温、最低気温、平均風速は気象庁データ¹⁸⁾を使用。

Table. 5.28 空間的閉じ込め者の温熱環境（釧路商圏）

自治体	平均気温 (℃)	平均室温(℃) ※6 時間平均	最低気温 (℃)	最低室温(℃) ※6 時間平均	平均風速 (m/s)
釧路市	-6.2	10.7	-17.6	5.3	2.6
北見市	-7.4	10.2	-20.7	3.9	1.9
網走市	-5.4	11.1	-15.6	6.3	3.5
紋別市	-5.3	11.2	-15.7	6.2	3.0
士別市	-7.7	10.0	-27.7	0.6	1.7
上川町	-7.8	10.0	-23.6	2.5	2.2
下川町	-8.2	9.8	-32.0	-1.5	2.5
美深町	-8.0	9.9	-32.0	-1.5	1.3
美幌町	-7.9	9.9	-22.8	2.9	1.9
津別町	-7.9	9.9	-22.9	2.8	1.8
斜里町	-7.0	10.4	-22.0	3.3	2.5
清里町	-7.3	10.2	-21.3	3.6	2.4
小清水町	-6.8	10.5	-21.9	3.3	2.5
訓子府町	-7.3	10.2	-21.3	3.6	2.4
置戸町	-7.3	10.2	-21.3	3.6	2.4
佐呂間町	-8.4	9.7	-24.8	1.9	2.3
遠軽町	-7.7	10.0	-23.6	2.5	1.4
湧別町	-6.8	10.5	-19.8	4.3	3.8
滝上町	-7.7	10.0	-25.9	1.4	1.6
興部町	-6.7	10.5	-20.7	3.9	2.0
西興部村	-7.3	10.2	-24.7	2.0	1.9
雄武町	-6.1	10.8	-19.2	4.6	3.6
大空町	-7.3	10.2	-21.3	3.6	2.4
上士幌町	-7.1	10.3	-20.0	4.2	1.9
足寄町	-7.5	10.1	-23.6	2.5	1.5
陸別町	-9.6	9.1	-27.9	0.5	1.5
弟子屈町	-7.1	10.3	-16.0	6.1	3.8
中標津町	-6.5	10.6	-21.7	3.4	2.2
標津町	-5.5	11.1	-19.3	4.5	3.0
羅臼町	-7.1	10.3	-13.8	7.1	2.6

平均気温、最低気温、平均風速は気象庁データ¹⁸⁾を使用。

Table. 5.29 空間的閉じ込め者の温熱環境（北見商圏）

自治体	平均気温 (℃)	平均室温(℃) ※6 時間平均	最低気温 (℃)	最低室温(℃) ※6 時間平均	平均風速 (m/s)
釧路市	-6.2	10.7	-17.6	5.3	2.6
北見市	-7.4	10.2	-20.7	3.9	1.9
網走市	-5.4	11.1	-15.6	6.3	3.5
紋別市	-5.3	11.2	-15.7	6.2	3.0
士別市	-7.7	10.0	-27.7	0.6	1.7
上川町	-7.8	10.0	-23.6	2.5	2.2
下川町	-8.2	9.8	-32.0	-1.5	2.5
美深町	-8.0	9.9	-32.0	-1.5	1.3
美幌町	-7.9	9.9	-22.8	2.9	1.9
津別町	-7.9	9.9	-22.9	2.8	1.8
斜里町	-7.0	10.4	-22.0	3.3	2.5
清里町	-7.3	10.2	-21.3	3.6	2.4
小清水町	-6.8	10.5	-21.9	3.3	2.5
訓子府町	-7.3	10.2	-21.3	3.6	2.4
置戸町	-7.3	10.2	-21.3	3.6	2.4
佐呂間町	-8.4	9.7	-24.8	1.9	2.3
遠軽町	-7.7	10.0	-23.6	2.5	1.4
湧別町	-6.8	10.5	-19.8	4.3	3.8
滝上町	-7.7	10.0	-25.9	1.4	1.6
興部町	-6.7	10.5	-20.7	3.9	2.0
西興部村	-7.3	10.2	-24.7	2.0	1.9
雄武町	-6.1	10.8	-19.2	4.6	3.6
大空町	-7.3	10.2	-21.3	3.6	2.4
上士幌町	-7.1	10.3	-20.0	4.2	1.9
足寄町	-7.5	10.1	-23.6	2.5	1.5
陸別町	-9.6	9.1	-27.9	0.5	1.5
弟子屈町	-7.1	10.3	-16.0	6.1	3.8
中標津町	-6.5	10.6	-21.7	3.4	2.2
標津町	-5.5	11.1	-19.3	4.5	3.0
羅臼町	-7.1	10.3	-13.8	7.1	2.6

平均気温、最低気温、平均風速は気象庁データ¹⁸⁾を使用。

Table. 5.30 空間的閉じ込め者の温熱環境（胆振・日高商圏）（1/2）

自治体	平均気温 (℃)	平均室温(℃) ※6 時間平均	最低気温 (℃)	最低室温(℃) ※6 時間平均	平均風速 (m/s)
室蘭市	-1.6	12.9	-8.4	9.7	5.2
帯広市	-5.7	11.0	-20.5	4.0	2.2
夕張市	-4.6	11.5	-17.1	5.6	2.7
苫小牧市	-3.2	12.2	-14.1	7.0	2.6
千歳市	-4.6	11.5	-17.1	5.6	2.7
登別市	-3.8	11.9	-11.9	8.0	2.3
伊達市	-4.4	11.6	-12.3	7.8	2.6
長万部町	-4.4	11.6	-16.5	5.9	9.2
島牧村	-4.6	11.5	-17.1	5.6	2.7
寿都町	-1.9	12.8	-9.7	9.1	2.7
黒松内町	-3.7	11.9	-17.3	5.5	2.3
蘭越町	-2.7	12.4	-10.9	8.5	3.3
真狩村	-5.4	11.1	-20.2	4.1	3.1
留寿都村	-4.6	11.5	-17.1	5.6	2.7
喜茂別町	-6.6	10.6	-22.9	2.8	3.1
由仁町	-3.3	12.1	-13.9	7.1	2.5
南富良野町	-4.4	11.6	-16.5	5.9	9.2
占冠村	-4.4	11.6	-16.5	5.9	9.2
豊浦町	-4.4	11.6	-16.5	5.9	9.2
壮瞥町	-4.4	11.6	-16.5	5.9	9.2
白老町	-3.3	12.1	-14.7	6.7	2.6
厚真町	-5.9	10.9	-21.7	3.4	2.2
洞爺湖町	-4.4	11.6	-16.5	5.9	2.6
安平町	-4.6	11.5	-17.1	5.6	2.7
むかわ町	-5.3	11.2	-20.4	4.0	3.2
日高町	-6.8	10.5	-20.9	3.8	1.4
平取町	-4.4	11.6	-16.5	5.9	2.6
新冠町	-4.4	11.6	-16.5	5.9	9.2
浦河町	-2.1	12.7	-10.7	8.6	2.2
様似町	-4.4	11.6	-16.5	5.9	9.2
えりも町	-2.2	12.6	-8.1	9.8	9.2
新ひだか町	-4.4	11.6	-16.5	5.9	9.2

平均気温、最低気温、平均風速は気象庁データ¹⁸⁾を使用。

Table. 5.30 空間的閉じ込め者の温熱環境（胆振・日高商圏）(2/2)

自治体	平均気温 (℃)	平均室温(℃) ※6 時間平均	最低気温 (℃)	最低室温(℃) ※6 時間平均	平均風速 (m/s)
清水町	-4.4	11.6	-16.5	5.9	9.2
芽室町	-7.3	10.2	-24.9	1.9	1.4
中札内村	-4.4	11.6	-16.5	5.9	9.2
大樹町	-7.8	10.0	-24.7	2.0	2.8
広尾町	-4.4	11.6	-16.5	5.9	9.2

平均気温、最低気温、平均風速は気象庁データ¹⁸⁾を使用。

Table. 5.31 空間的閉じ込め者の温熱環境（稚内商圏）

自治体	平均気温 (°C)	平均室温(°C) ※6 時間平均	最低気温 (°C)	最低室温(°C) ※6 時間平均	平均風速 (m/s)
稚内市	-4.3	11.6	-11.8	8.1	4.7
中川町	-7.2	10.3	-27.0	0.9	2.1
幌加内町	-7.7	10.0	-29.8	-0.4	1.9
初山別村	-4.4	11.6	-22.2	3.2	4.4
遠別町	-5.6	11.0	-20.5	4.0	4.1
天塩町	-5.3	11.2	-20.7	3.9	4.2
猿払村	-4.4	11.6	-16.5	5.9	9.2
浜頓別町	-6.3	10.7	-18.9	4.7	2.4
中頓別町	-8.5	9.7	-27.6	0.6	1.7
豊富町	-6.1	10.8	-20.5	4.0	2.8
礼文町	-4.3	11.6	-11.3	8.3	3.1
利尻町	-4.3	11.6	-11.3	8.3	3.1
利尻富士町	-4.3	11.6	-11.3	8.3	3.1
幌延町	-4.4	11.6	-16.5	5.9	9.2

平均気温、最低気温、平均風速は気象庁データ¹⁸⁾を使用。

5.2.2. 閉じ込め者の状況を考慮した低体温症発症者数推定結果

以上を用いて、身体的閉じ込めと同様に、空間的閉じ込め者における低体温症発症者数の推定を行った。身体的閉じ込め者及び空間的閉じ込め者における商圈ごとの低体温症発症者数をTable. 5.32に整理し、Fig. 5.51に時間推移をグラフで示した。

Table. 5.32 空間的閉じ込め者における低体温症発症者数

経過時間 [h]	札幌			帯広		函館		旭川		釧路		北見	胆振 日高	稚内	
	月寒	西札幌	野幌	十勝 平野	十勝 沖	函館 平野 西縁	南西 沖	富良 野西 部	富良 野東 部	根室 沖	十勝 沖	標津	石狩 低地	サロ ベツ	北西 沖
3	575	480	413	405	283	44	23	518	418	2,657	321	58	221	40	36
4	7,722	6,458	5,451	1,559	1,093	927	575	2,200	1,744	12,876	1,688	385	1,061	280	298
5	15,945	13,413	11,226	2,276	1,597	2,089	1,359	3,092	2,481	18,091	2,480	672	1,714	480	591
6	19,817	16,655	14,009	2,501	1,758	2,816	1,844	3,378	2,725	19,688	2,759	778	2,082	572	724
7	20,632	17,351	14,620	2,529	1,779	3,140	2,087	3,396	2,741	19,861	2,818	795	2,183	611	782
8	20,773	17,476	14,730	2,536	1,781	3,193	2,125	3,435	2,749	20,052	2,835	798	2,205	615	791
9	20,839	17,525	14,746	2,548	1,782	3,199	2,130	3,494	2,759	20,475	2,863	803	2,216	619	793
10	21,135	17,739	14,803	2,582	1,784	3,219	2,130	3,557	2,770	21,036	2,900	807	2,223	626	799
11	21,383	17,915	14,863	2,625	1,787	3,246	2,130	3,590	2,777	21,523	2,932	816	2,238	637	810
12	21,946	18,326	14,980	2,647	1,789	3,278	2,130	3,627	2,784	21,717	2,947	823	2,245	649	829
13	22,209	18,517	15,044	2,664	1,790	3,344	2,130	3,646	2,789	21,990	2,969	826	2,256	658	871
14	22,437	18,682	15,101	2,688	1,792	3,380	2,130	3,665	2,795	22,089	2,978	829	2,260	667	895
15	22,628	18,820	15,150	2,698	1,792	3,410	2,130	3,673	2,798	22,157	2,984	831	2,264	674	916
16	22,785	18,935	15,190	2,705	1,793	3,434	2,130	3,680	2,802	22,202	2,989	832	2,266	679	919
17	22,910	19,021	15,223	2,710	1,793	3,454	2,130	3,690	2,807	22,231	2,992	833	2,268	680	934
18	23,005	19,091	15,247	2,713	1,793	3,458	2,130	3,714	2,817	22,254	2,994	834	2,269	683	948
19	23,073	19,141	15,265	2,715	1,794	3,472	2,130	3,789	2,851	22,317	3,003	834	2,270	686	960

5. 低体温症発症者数推定

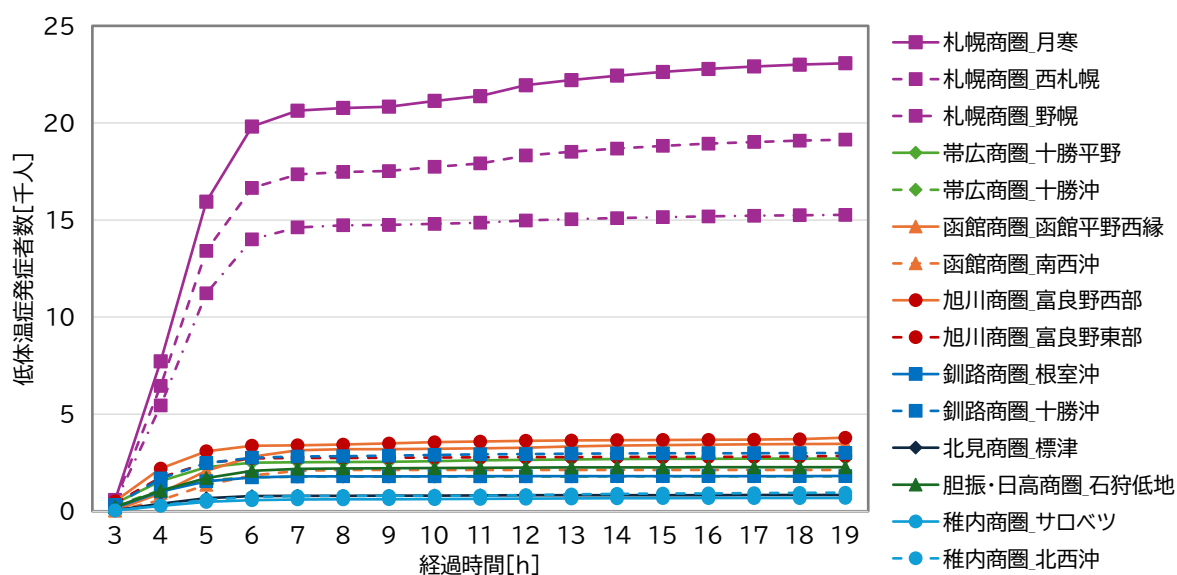


Fig. 5.51 建物倒壊に伴う閉じ込め者における低体温症発症者数の時間推移

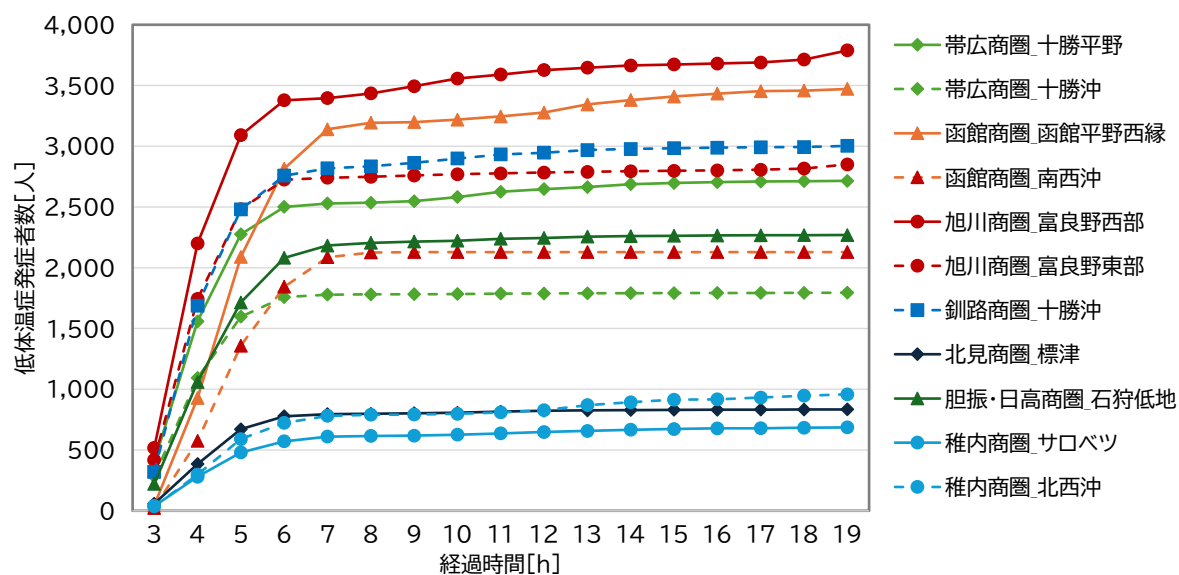


Fig. 5.51 建物倒壊に伴う閉じ込め者における低体温症発症者数の時間推移

(参考：推定数 4,000 人以下について拡大)

以降、Fig. 5.52～Fig. 5.66 では、身体的閉じ込め者、空間的閉じ込め者（軽傷・中等傷）、空間的閉じ込め者（重傷）別の低体温症発症者の時間推移を示した。

身体的閉じ込め者は3時間頃から低体温症リスクが生じる一方で、空間的閉じ込め者は建物被害が少ないため、屋内に入り込む外気が少なく、寒冷環境に曝される時間を遅らせることが可能となり、リスクの発生は10時間以降となる。さらに、屋内での負傷を最低限に留めることが出来れば、屋内で寒冷環境から逃れつつ防寒具を着用する等の防寒対策を行うため、さらに低体温症リスクが軽減される。

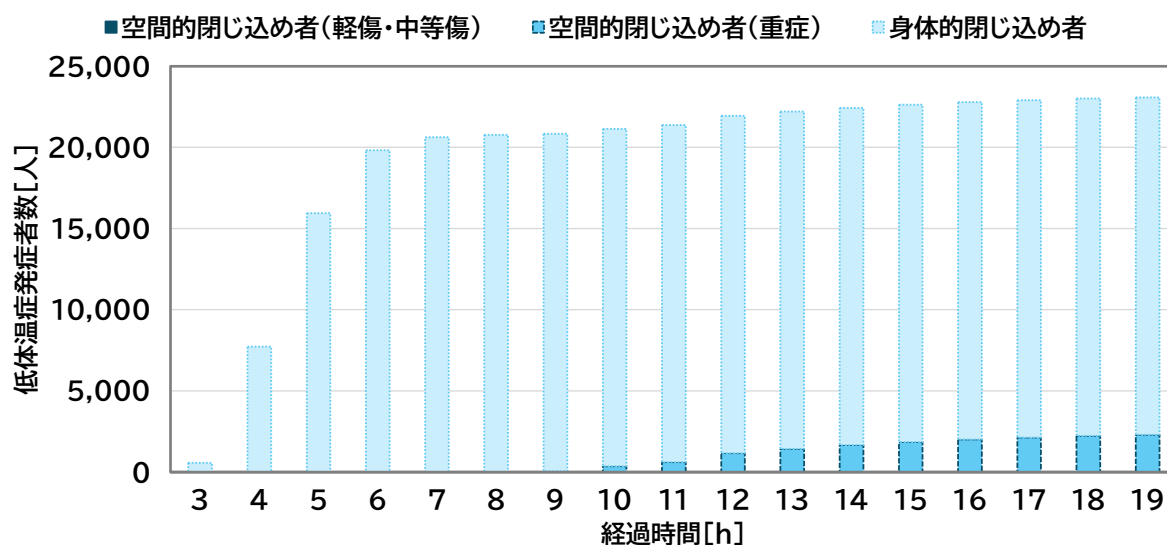


Fig. 5.52 閉じ込め状況・負傷程度別低体温症発症者（札幌商圏・月寒断層）

5. 低体温症発症者数推定

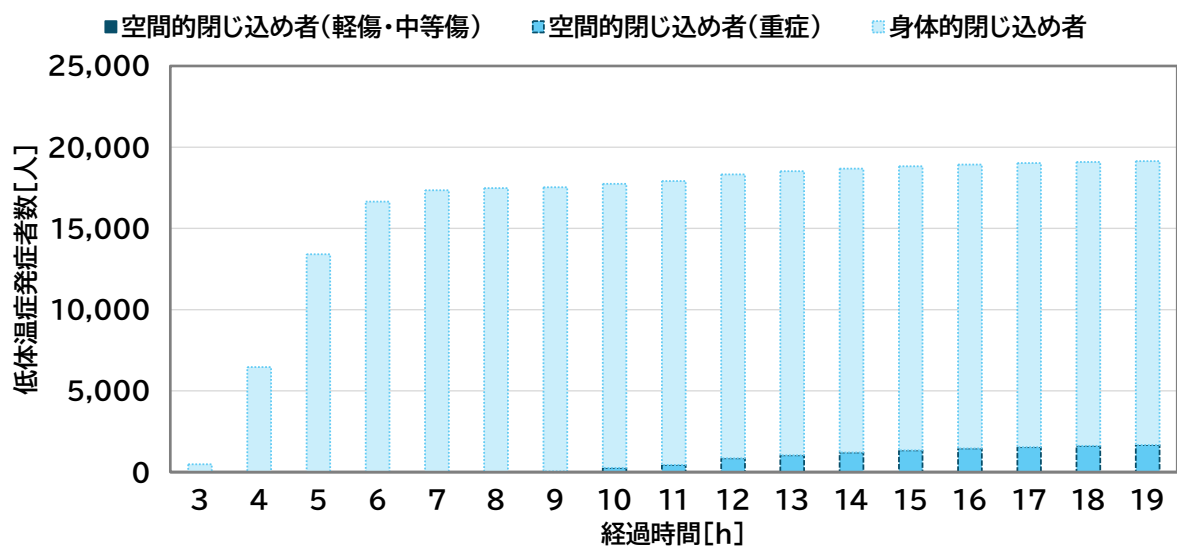


Fig. 5.53 閉じ込め状況・負傷程度別低体温症発症者（札幌商圏・西札幌断層）

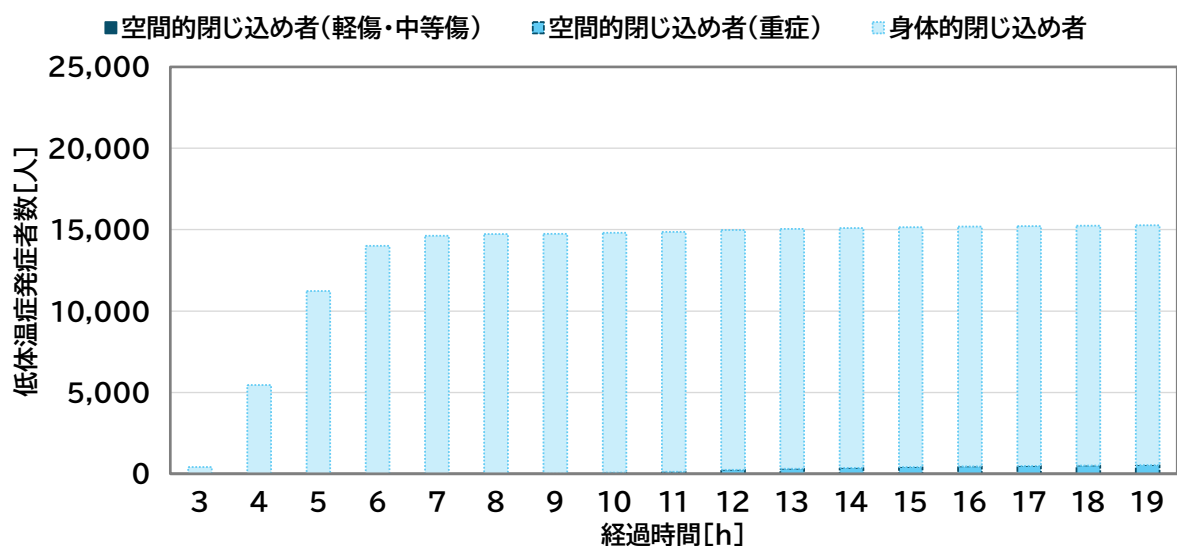


Fig. 5.54 閉じ込め状況・負傷程度別低体温症発症者（札幌商圏・野幌丘陵断層帯）

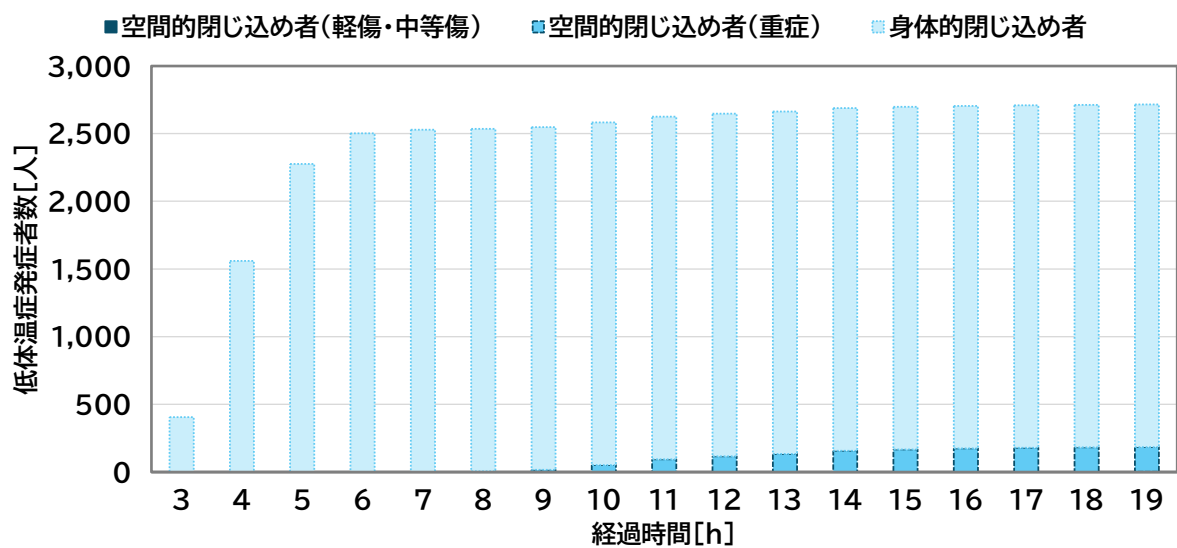


Fig. 5.55 閉じ込め状況・負傷程度別低体温症発症者（帯広商圏・十勝平野断層帯）

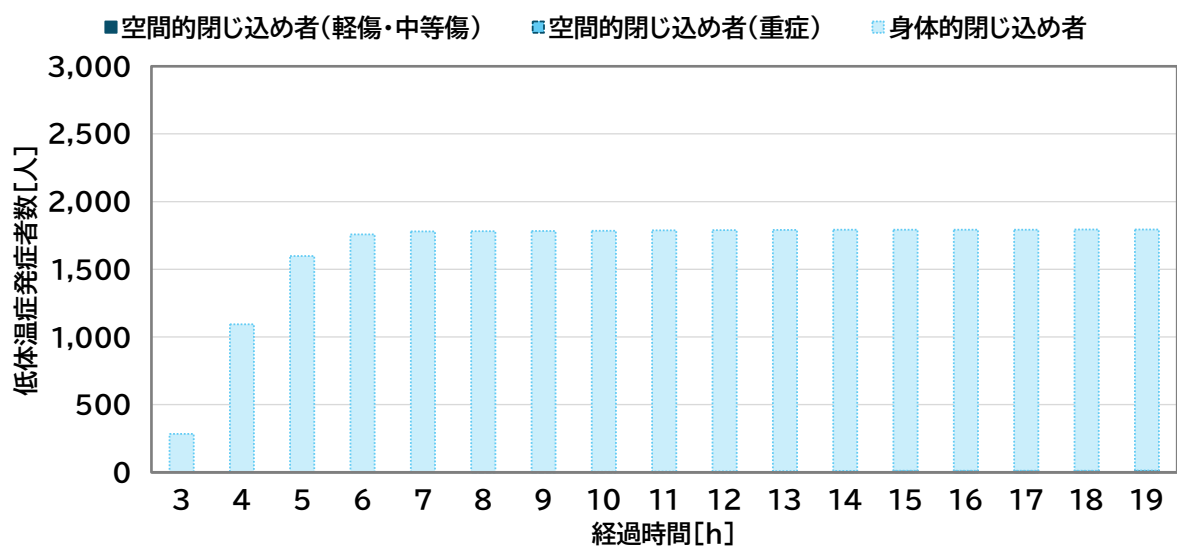


Fig. 5.56 閉じ込め状況・負傷程度別低体温症発症者（帯広商圏・十勝沖）

5. 低体温症発症者数推定

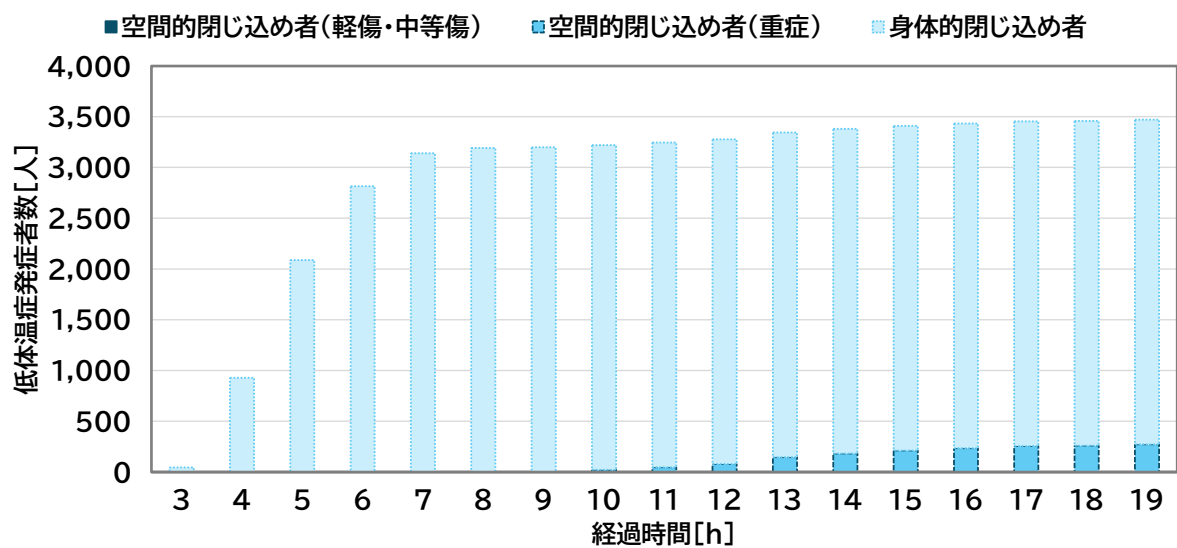


Fig. 5.57 閉じ込め状況・負傷程度別低体温症発症者（函館商圏・函館平野西縁断層帯）

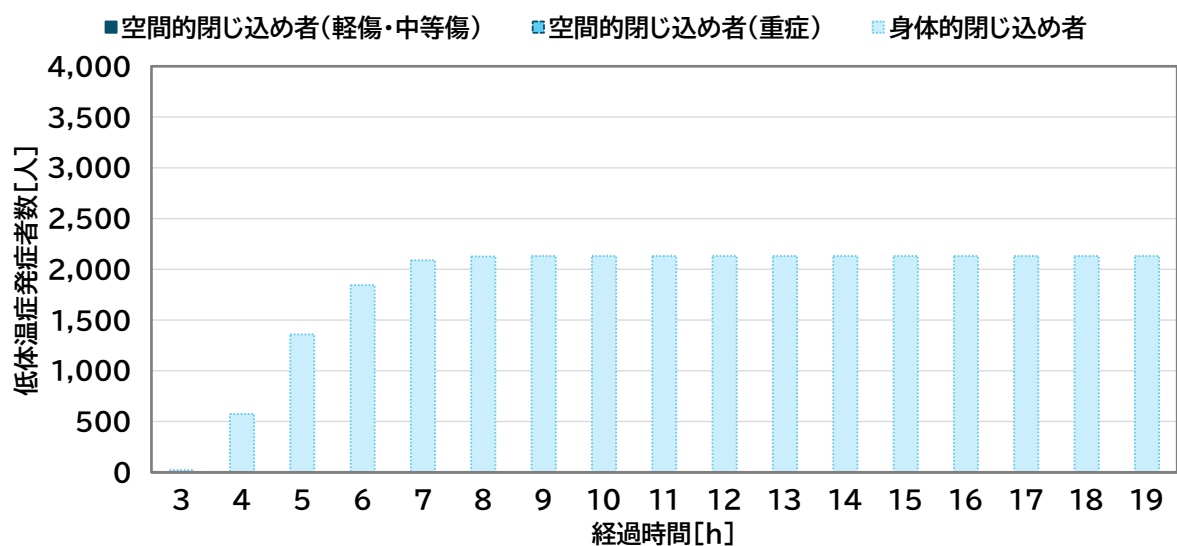


Fig. 5.58 閉じ込め状況・負傷程度別低体温症発症者（函館商圏・北海道南西沖）

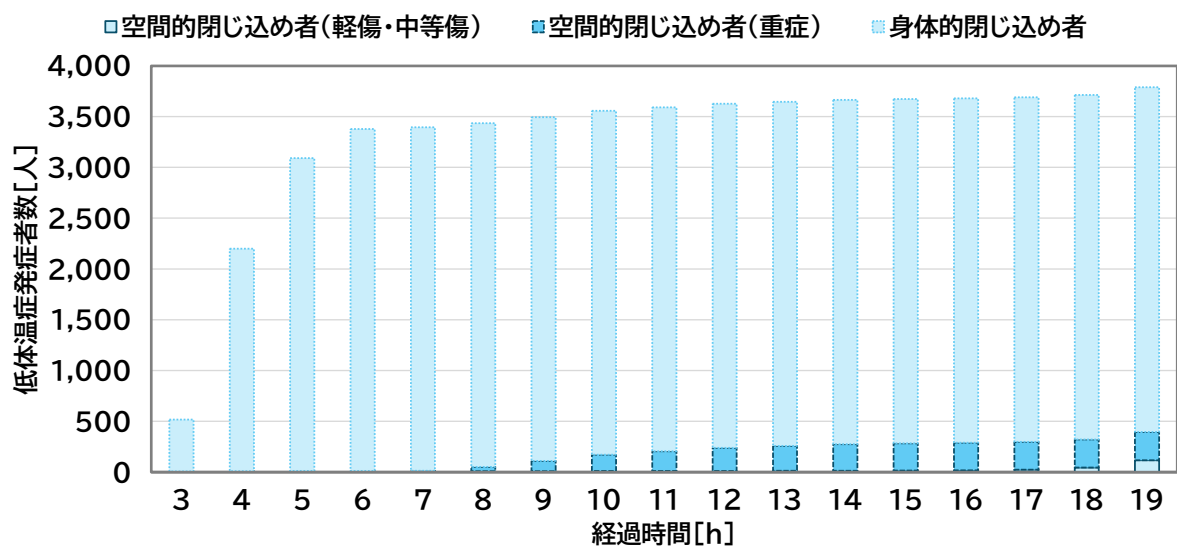


Fig. 5.59 閉じ込め状況・負傷程度別低体温症発症者（旭川商圏・富良野断層帯西部）

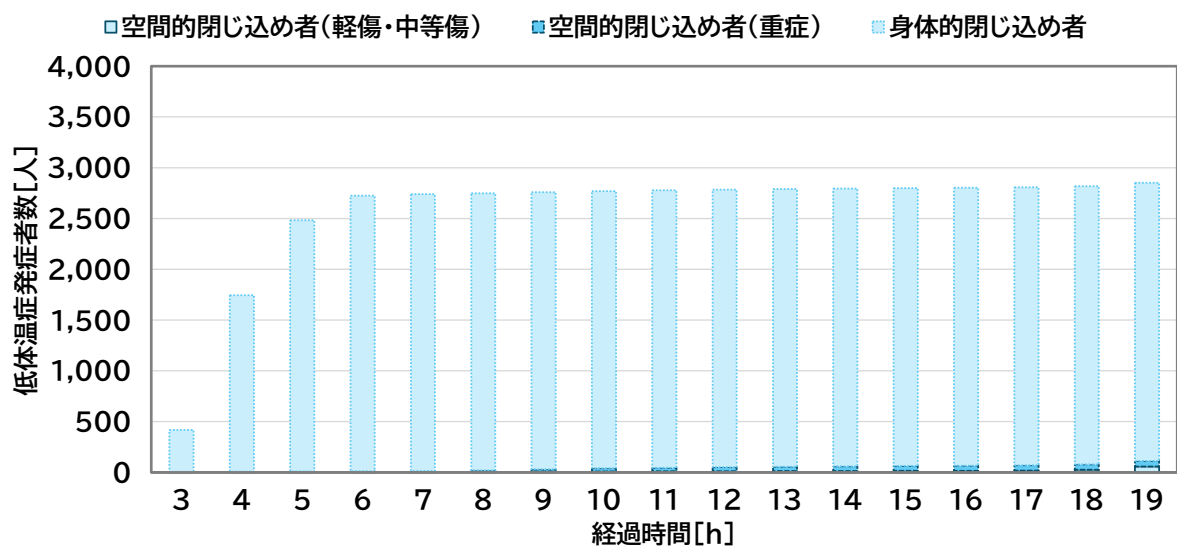


Fig. 5.60 閉じ込め状況・負傷程度別低体温症発症者（旭川商圏・富良野断層帯東部）

5. 低体温症発症者数推定

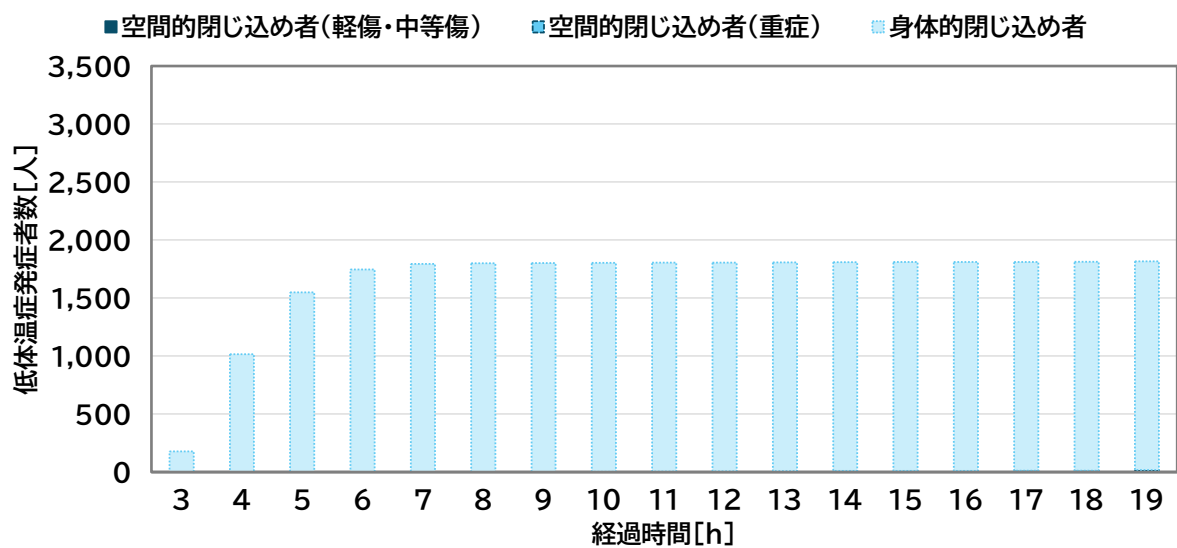


Fig. 5.61 閉じ込め状況・負傷程度別低体温症発症者（釧路商圏・根室沖）

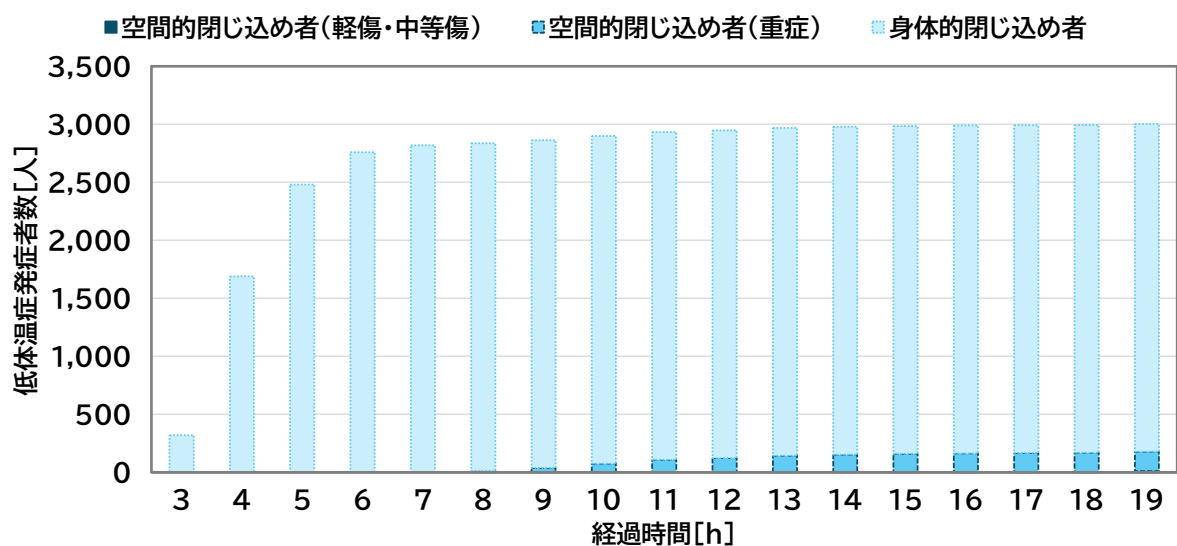


Fig. 5.62 閉じ込め状況・負傷程度別低体温症発症者（釧路商圏・十勝沖）

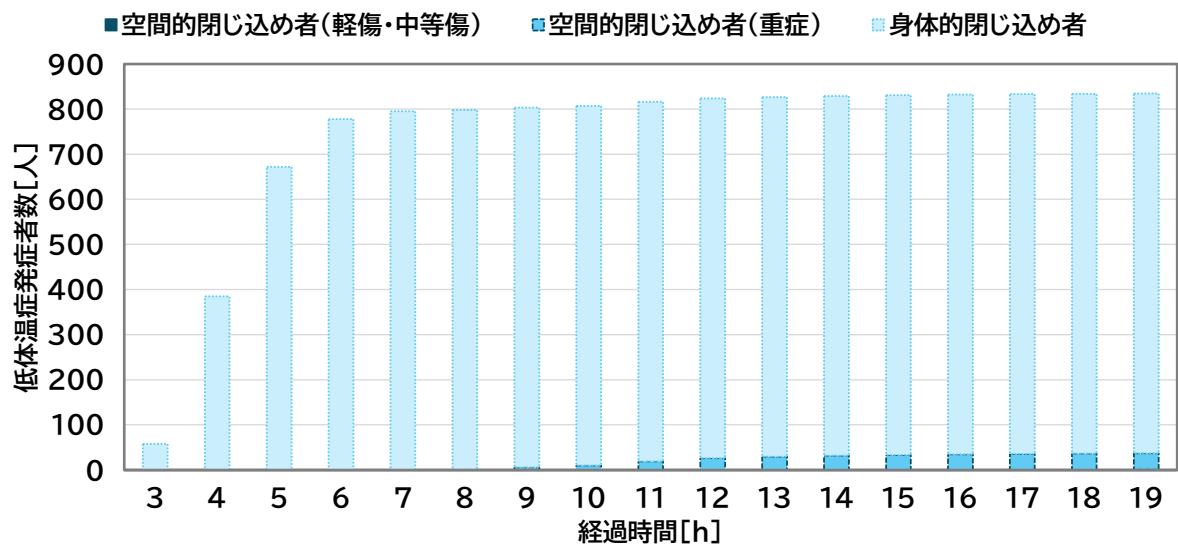


Fig. 5.63 閉じ込め状況・負傷程度別低体温症発症者（北見商圏・標津断層帯）

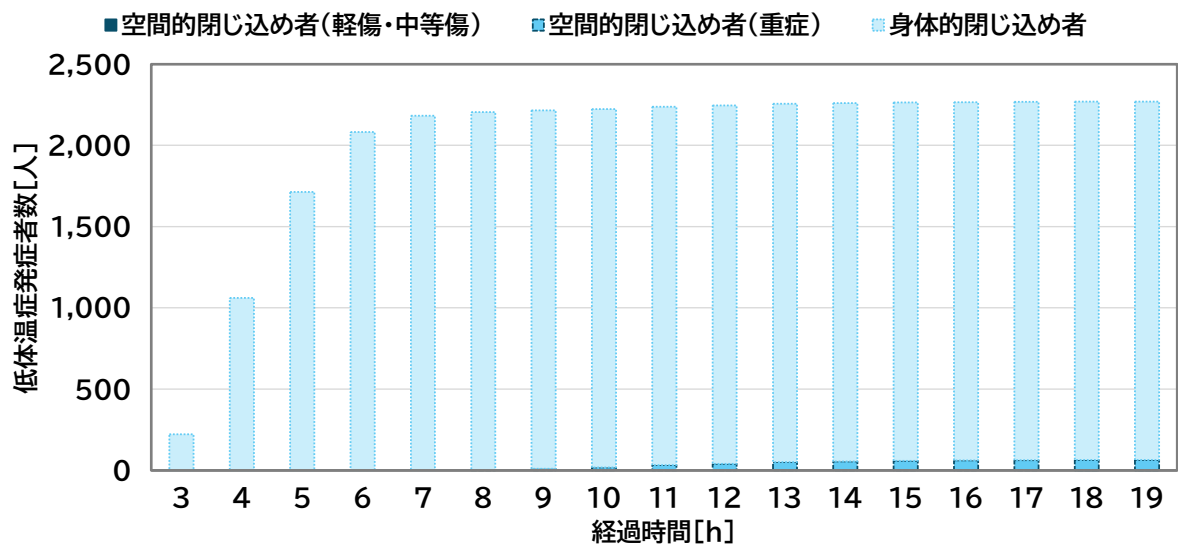


Fig. 5.64 閉じ込め状況・負傷程度別低体温症発症者
（胆振日高商圏・石狩低地東縁断層帯南部）

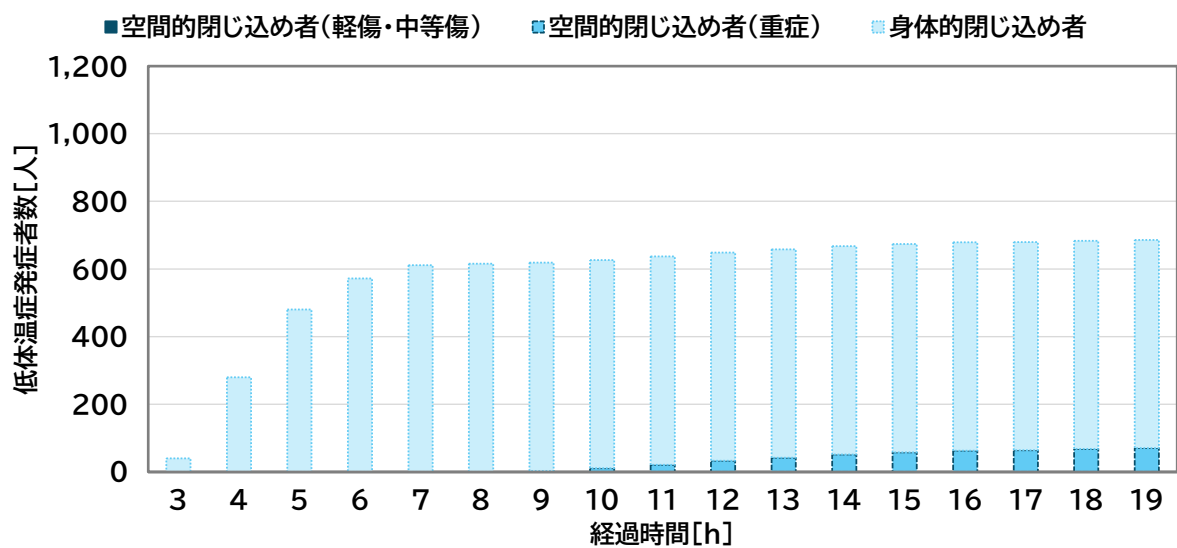


Fig. 5.65 閉じ込め状況・負傷程度別低体温症発症者（稚内商圏・サロベツ断層帯）

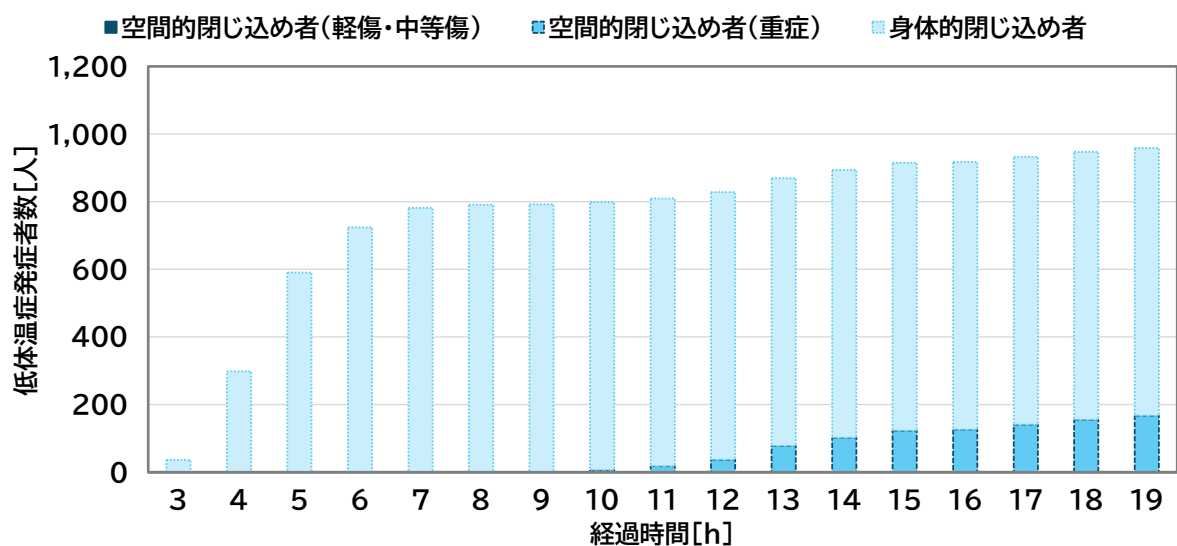


Fig. 5.66 閉じ込め状況・負傷程度別低体温症発症者（稚内商圏・北海道北西沖）

5.3. 津波避難者の津波避難ビル等屋外における偶発性低体温症リスク

津波による人的被害については、角田ら¹¹⁾の手法を用いた。さらに、積雪寒冷環境下における避難速度の低下²⁴⁾を考慮した冬期の津波死者を評価対象とし、避難者完了者に対して低体温症リスクの評価を実施する。対象地域は釧路商圏、対象地震は十勝沖地震とした。**Fig. 5.67**に津波避難での低体温症発症者数推定フロー、**Fig. 5.68**に津波浸水想定区域図²⁵⁾を示す。

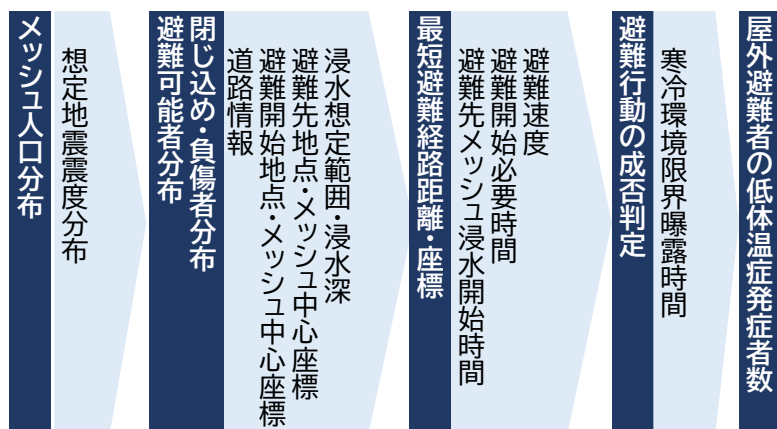


Fig. 5.67 津波避難における低体温症発症者数推定のフローチャート

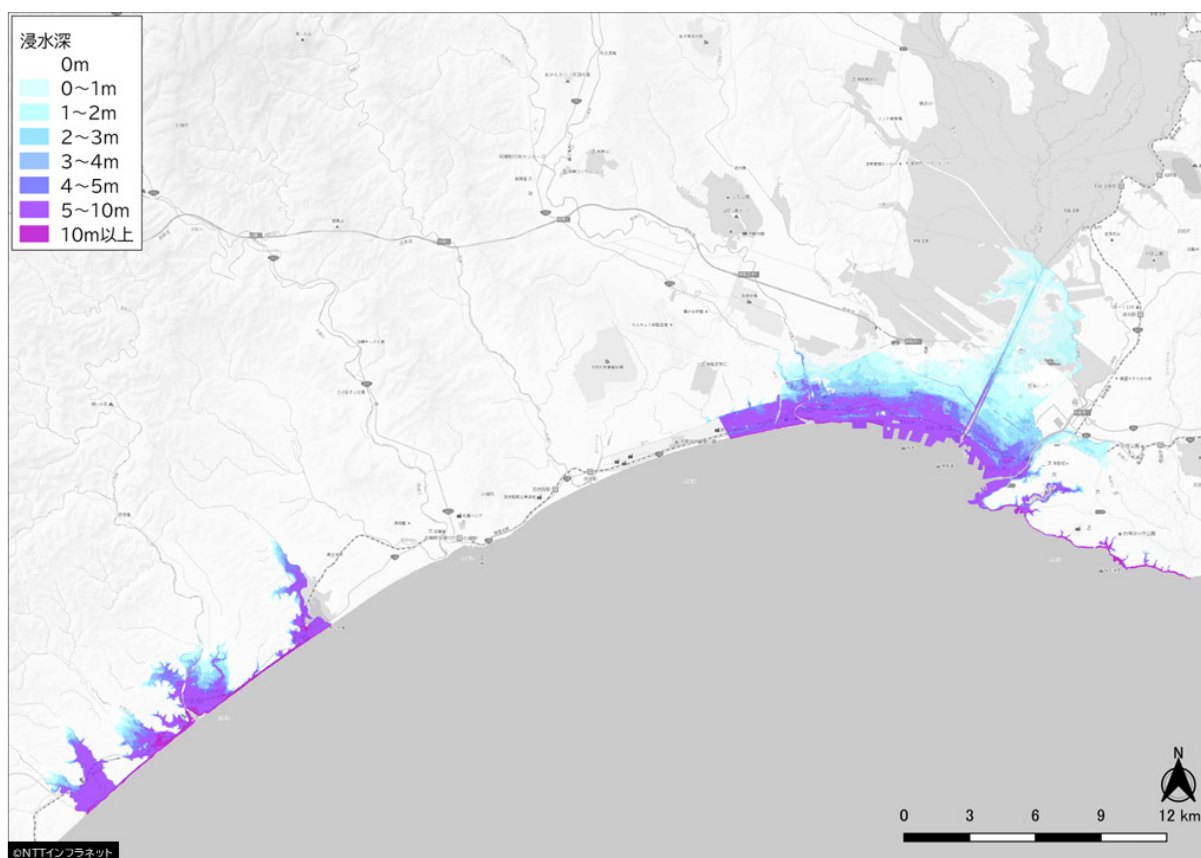


Fig. 5.68 十勝沖地震津波浸水想定区域図²⁵⁾

5.3.1. 津波避難における積雪等による影響

釧路商圏や帯広商圏では、日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震による津波の被害が発生する。建物倒壊による死傷・重傷や閉じ込めを回避した被災者のうち、津波の浸水域の住民は発災直後に、避難場所や津波避難ビル、高台等に避難することとなるが、ここでも積雪寒冷環境による影響が発生する。

積雪寒冷環境下においては、路上積雪や凍結により歩行速度が低下することが知られている。そこで、冬期の避難速度について北海道建築指導センター発行のセンターレポート²⁶⁾による、冬期における歩行速度に係る低減率は0.833とした。

5.3.2. 津波避難時間不足者推定

太平洋沿岸の津波浸水域については、北海道の公表資料²⁵⁾より、浸水深および浸水開始時間データを用いた。津波による死者数算定においては内閣府²⁷⁾による浸水深と死者率の関係において、浸水深 1m の時点で死者率が 100%、家屋の半壊率が 80%としている (Fig. 5.69)。よって、浸水深が 1m を超える時刻を 1m 浸水開始時間として死者発生の判断に用いる。

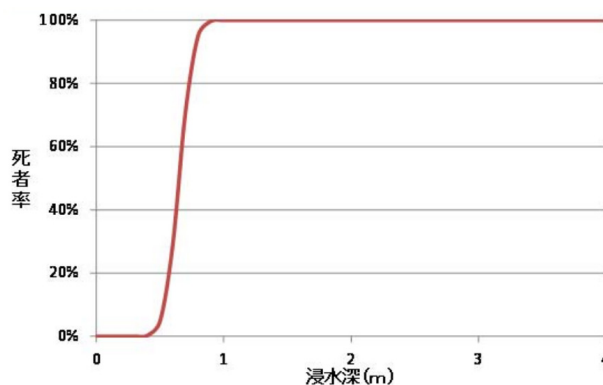


Fig. 5.69 津波に巻き込まれた場合の死亡率²⁷⁾

はじめに式(5-25)にて避難猶予時間 t_g を求める。

$$t_g = \left(\frac{d_h}{s_h} + \frac{d_v}{s_v} \right) - t_{1m} - t_s \quad (5-25)$$

s_v : 垂直避難速度

s_h : 水平避難速度

t_{1m} : 避難先メッシュの 1m 浸水開始時間

t_s : 避難開始時間

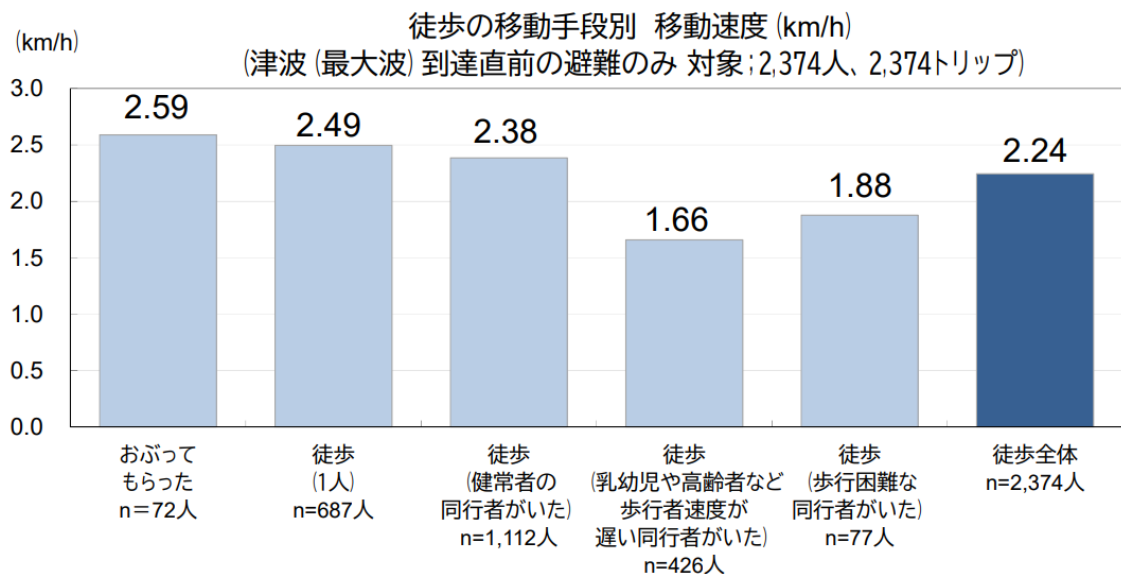
d_h : 水平避難距離

d_v : 浸水域内避難先施設の浸水深 (1m 浸水域外への避難の場合は 0)

夏期（無積雪状態）での水平避難速度 s_h は、国土交通省の調査²⁸⁾より 65 歳以上で 1.66km/h, それ以外の一般人は 2.49km/h であるが、本論では全体平均として 2.24km/h を、また、垂直避難速度 s_v は、林ら²⁴⁾を参考に 0.294km/h を採用した。

水平避難距離 d_h は角田ら¹¹⁾による避難施設及び浸水深 1m 以下となる道路座標点の内から最短となる避難地点、最短避難経路及び最短避難経路長を用いる。避難開始時間は釧路市津波避難計画²⁹⁾より一律で 10 分とした。

浸水域内避難先施設の浸水深 d_v は浸水域内避難先施設として釧路市津波避難計画²⁹⁾の「大津波警報」発令時の緊急避難場所、津波緊急避難施設、津波避難ビルを想定した。



* 分析対象: 津波到達前に避難を開始した人 (5,524人) の内、徒歩避難者 (2,374人)

Fig. 5.70 アンケート調査結果²⁸⁾

また、避難開始時間を t_s とすると、夏期の避難評価は式(5-26)で、冬期の避難評価は冬期における歩行速度に係る低減率を用いて式(5-27)で示される。

$$t_{gs} = v_s \times d_h + t_s \quad (5-26)$$

$$t_{gw} = 0.833 \times v_s \times d_h + t_s \quad (5-27)$$

t_{gs} 及び t_{gw} が負となるもの（以下「避難時間不足者」とする）は避難行動が間に合わず津波により死亡するとし、1m 浸水域内での避難時間不足による死者数を下記式(5-28)にて算出する。

$$P_T = \sum (p - p_L - \sum_{I=9}^{75} p_{nLI} | t_{gs}, t_{gw} < 0) \quad (5-28)$$

p : メッシュ内人口

p_L : メッシュ内閉じ込め者数

p_{nLI} : 非閉じ込めかつ重傷以上により避難行動を行えない被災者

避難時間不足者数 P_T と 1m 浸水域内の閉じ込め者数 P_L 、負傷により自力での避難行動をとることが出来ない住民数 P_{nLI} をすべて足し合わせることで津波による総死者数 P_A を算出する。

$$P_A = P_T + P_L + P_{nLI} \quad (5-29)$$

最大浸水深が 1m 以上となるメッシュ外に浸水開始時間内に避難した住民（津波避難完了者）を P_{es} とする。Table. 5.33 は、釧路商圏における避難時間不足者数 P_T と 1m 浸水域内の閉じ込め者数 P_L 、負傷により自力での避難行動をとることが出来ない住民数 P_{nLI} 及び津波避難完了者数 P_{es} を整理した表である。

冬期は移動速度が遅くなることにより、夏期の 2.18 倍もの避難時間不足者が発生する。また、建物被害が多くなることにより、閉じ込め者や重傷者も増え、結果として津波避難困難者が多く、津波による死者数は夏期の 1.6 倍となる。

Table. 5.33 夏期・冬期の津波被災者と津波避難者数

	避難時間 不足者 P_T	1m 浸水域内の 閉じ込め者 P_L	重傷による 避難不能者 P_{nLI}	津波避難 完了者 P_{es}	津波による 死者総数
夏期	6,080	14,461	32	149,127	20,573
冬期	13,242	19,523	117	143,965	32,881

5.3.3. 津波避難完了者における低体温症発症者数推定

前項で算出した津波避難完了者数 P_{es} を用いて、津波避難完了者における避難場所や津波避難ビル、高台での低体温症リスクの評価を実施した。

避難先の種別を **Table. 5.34** に示す。これより、普通建物、堅牢建物に避難した場合は屋内相当、普通無壁舎、堅牢無壁舎に避難した場合は屋外相当とみなし評価を行った。ただし、屋内相当とした場合、室温は暖房がなされていないものとして 10°C を基準とし、屋外気温との温度差で徐々に低下すると設定した。

Table. 5.34 避難先の建物種別 ³⁰⁾

建物種別	各建物種別の説明
普通建物	3 階未満の建物及び 3 階以上の木造等で建築された建物をいう。
堅牢建物	鉄筋コンクリート等で建築された建物で、地上 3 階以上又は 3 階相当以上の高さのものをいう。
普通無壁舎	側壁のない建物、温室及び工場内の建物類似の建築物で、3 階未満のものをいう。 例：外付け階段、ポーチ、渡り廊下 等
堅牢無壁舎	鉄筋コンクリート等で建築された側壁のない建物及び建物類似の建築物で、地上 3 階以上又は 3 階相当以上の高さのものをいう。 例：外付け階段、ポーチ、渡り廊下 等

Table. 5.35 は津波避難完了者における低体温症発症者数を発災からの経過時間ごとに推定した表、**Fig. 5.71** は、その時間推移をグラフで示したものである。避難者は建物内の閉じ込め者とは異なり、避難時に防寒具を着用して避難を開始するため、6 時間経過頃までは低体温症発症者の発生は僅かとなっているが、特に堅牢無壁舎や浸水域外の屋外に避難した被災者は、寒冷環境に長時間曝されることとなるため、8 時間経過時から急激にリスクが高まり、9 時間後には低体温症発症者数はピークに達する。

Table. 5.35 津波避難完了者における低体温症発症者数

発災後 経過時間 [h]	低体温症発症者[人]			発災後 経過時間 [h]	低体温症発症者[人]		
	屋外 堅牢無壁舎 避難者	普通建物 堅牢建物 避難者	合計		屋外 堅牢無壁舎 避難者	普通建物 堅牢建物 避難者	合計
3	0	0	0	12	57,103	6	57,109
4	0	0	0	13	57,103	201	57,304
5	0	0	0	14	57,103	848	57,951
6	29	0	29	15	57,103	7,622	64,725
7	5,912	0	5,912	16	57,103	16,553	73,656
8	44,420	0	44,420	17	57,103	44,273	101,376
9	57,103	0	57,103	18	57,103	57,268	114,371
10	57,103	0	57,103	19	57,103	66,200	123,303
11	57,103	0	57,103				

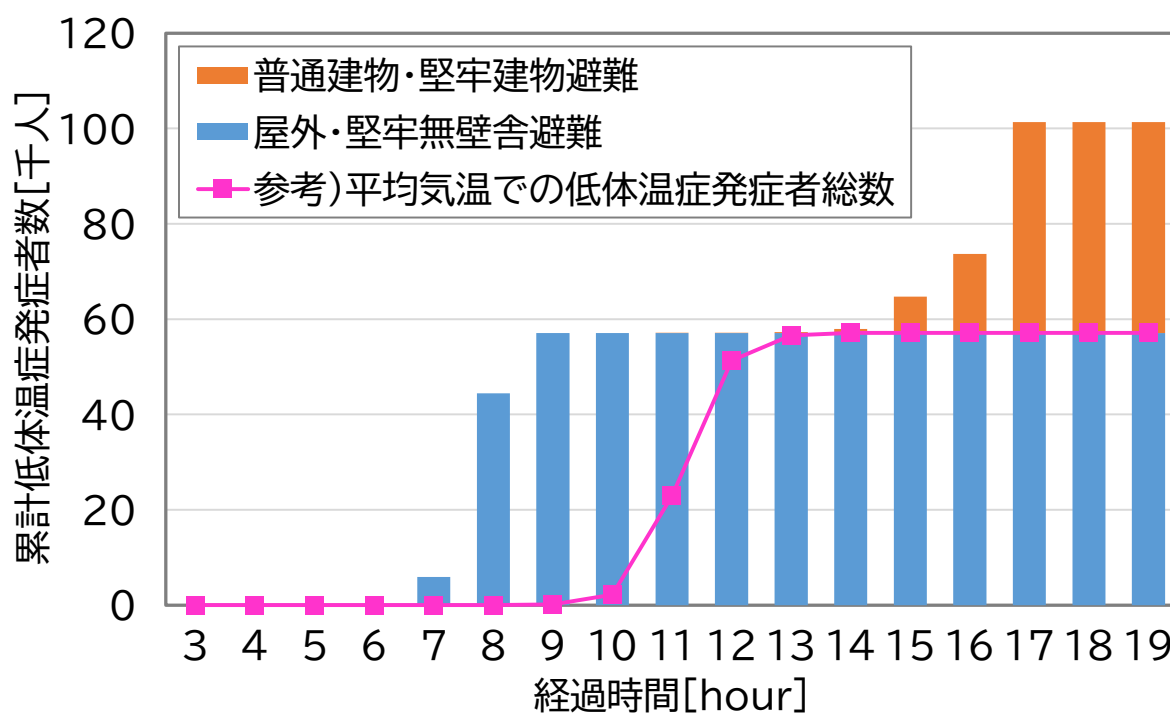


Fig. 5.71 津波避難完了者における低体温症発症者数の推移

Table. 5.36 緊急避難場所等一覧（参考）（1/4）²⁹⁾

避難対象地域	緊急避難場所	収容 可能 人数	津波 緊急避難施設	収容 可能 人数	津波 避難ビル
春採地区					
千代ノ浦、春採、 武佐、紫雲台、興 津、益浦、桂恋、 三津浦	春採生活館	140	旧桂恋小学校	370	釧路広域連合清掃 工場
	春採中学校	3,800	武佐小学校	1,300	
	東部地区コミュニティ センター（コア大空）	857			
	はまなす会館	179			
	東雲小学校	2,000			
	湖畔小学校	3,300			
橋南地区					
柏木町、富士見、 千歳町、春湖台、 鶴ヶ岱、大町、入 舟、南大通、港町、 知人町、弁天ヶ浜、 米町、弥生、宮本 大川町、城山、住 吉、材木町、貝塚、 緑ヶ岡	富士見会館	150	高齢者生きがい 交流プラザ（プラ ザよねまち）	570	道東経済セン タービル
	児童発達支援センター	1,800	釧路センチュリー キャッスルホテル	750	
	幣舞中学校	3,700	城山小学校	1,000	
	工業高等学校	9,900			
	湖陵高等学校	6,600			
	旧東栄小学校	850			
	釧路小学校	2,200			
	宮本会館	140			
	生涯学習センター	4,500			
	教育大学釧路校	8,100			
	清明小学校	3,100			
	青陵中学校	3,600			
橋北地区					
旭町、川上町、栄 町、末広町、北大 通、錦町、黒金町、 幸町、浪花町、南 浜町、仲浜町、浜町、 寿、宝町、海運	工業高等学校	前掲	ホテルクラウンヒル ズ釧路	220	旭改良住宅
	湖陵高等学校	前掲	総合福祉センター	165	ヤマダ電機
	生涯学習センター	前掲	フィッシャーマン ズワーフMOO	2,400	マリントボス （水産センタ ー）
			ANAクラウンブラ ザホテル釧路	1,400	浜町ポンプ場
			釧路プリンスホテル	1,400	釧路ガス

Table. 5.36 緊急避難場所等一覧（参考）（2/4）²⁹⁾

避難対象地域	緊急避難場所	収容 可能 人数	津波 緊急避難施設	収容 可能 人数	津波 避難ビル
			市役所本庁舎	1,700	
			市役所防災庁舎	1,700	
			釧路地方合同庁舎	2,500	
			釧路ロイヤルイン	490	
			中央小学校	780	
			道営住宅であえーる 幸団地	1,000	
鉄北地区					
川北町、新釧路町、 堀川町、松浦町、 新富町、共栄大通、 若松町、双葉町、 新栄町、中島町、 花園町、柳町、暁 町、治水町、白金 町、若竹町、若草 町、喜多町、春日 町、新川町、駒場 町、川端町、住之 江町、新橋大通			共栄小学校	390	道営住宅川北団 地 D34 号棟 (D34A、D34B 合 算)
			共栄中学校	570	釧路製作所
			ラストイングホテル	380	駒場団地(S7)
			北中学校	1,200	駒場団地(S8)
			青葉小学校	460	新川北団地ふた ば
			コーチャンフォ ー釧路文化ホー ル（市民文化会 館）	2,500	
愛国地区					
古川町、入江町、 光陽町、東川町、 豊川町、中園町、 愛国、愛国東、愛 国西、美原、芦野、 文苑	湿原の風アリーナ	8,500	光陽小学校	470	古川下水終末処理場
	釧路中央 IC 避難高台広 場	300	江南高等学校	2,700	
			景雲中学校	1,800	
			愛国小学校	730	
			明輝高等学校	1,900	
			芦野小学校	730	
			釧路公立大学	9,700	
			美原小学校	1,700	
			美原中学校	2,000	
			中部地区コミュニ ティセンター（コ アかがやき）	400	
鳥取地区					
新富士町、 鳥取大通、鳥取北、 鳥取南、昭和、 昭和町、昭和北、 昭和南、昭和中央、 北園、安原、西港			公設地方卸売市場	910	鳥取南団地しん よう1
			ホテルマーシュラ ンド	230	鳥取南団地しん よう2
			鳥取小学校	490	道新総合印刷釧 路工場

Table. 5.36 緊急避難場所等一覧（参考）（3/4）²⁹⁾

避難対象地域	緊急避難場所	収容 可能 人数	津波 緊急避難施設	収容 可能 人数	津波 避難ビル
			市役所本庁舎	1,700	
			市役所防災庁舎	1,700	
			釧路地方合同庁舎	2,500	
			釧路ロイヤルイン	490	
			中央小学校	780	
			道営住宅であえる 幸団地	1,000	
鉄北地区					
川北町、新釧路町、 堀川町、松浦町、 新富町、共栄大通、 若松町、双葉町、 新栄町、中島町、 花園町、柳町、暁 町、治水町、白金 町、若竹町、若草 町、喜多町、春日 町、新川町、駒場 町、川端町、住之 江町、新橋大通			共栄小学校	390	道営住宅川北団 地 D34 号 棟 (D34A、D34B 合 算)
			共栄中学校	570	釧路製作所
			ラストイングホテル	380	駒場団地(S7)
			北中学校	1,200	駒場団地(S8)
			青葉小学校	460	新川北団地ふた ば
			コーチャンフォ ー釧路文化ホー ル（市民文化会 館）	2,500	
愛国地区					
古川町、入江町、 光陽町、東川町、 豊川町、中園町、 愛国、愛国東、愛 国西、美原、芦野、 文苑	湿原の風アリーナ	8,500	光陽小学校	470	古川下水終末処理場
	釧路中央 IC 避難高台広 場	300	江南高等学校	2,700	
			景雲中学校	1,800	
			愛国小学校	730	
			明輝高等学校	1,900	
			芦野小学校	730	
			釧路公立大学	9,700	
			美原小学校	1,700	
			美原中学校	2,000	
			中部地区コミュニ ティセンター（コ アかがやき）	400	
鳥取地区					
新富士町、 鳥取大通、鳥取北、 鳥取南、昭和 昭和町、昭和北、 昭和南、昭和中央、 北園、安原、西港			公設地方卸売市場	910	鳥取南団地しん よう1
			ホテルマージュラ ンド	230	鳥取南団地しん よう2
			鳥取小学校	490	道新総合印刷釧 路工場

Table. 5.36 緊急避難場所等一覧（参考）（4/4）²⁹⁾

			鳥取西小学校	760	釧路市港湾庁舎
避難対象地域	緊急避難場所	収容可能人数	津波緊急避難施設	収容可能人数	津波避難ビル
			鳥取コミュニティセンター(コ7鳥取)	720	イオンモール釧路昭和
			鳥取西中学校	840	鳥取団地とっとり
			鳥取中学校	2,200	
			昭和小学校	1,400	
			商業高等学校	2,800	
大楽毛地区					
星が浦大通、星が浦北、星が浦南、鶴野、鶴野東、中鶴野、大楽毛、大楽毛西、大楽毛北、大楽毛南、新野、山花	釧路空港ビル	3,500	鶴野小学校	600	サンエス電気通信
	釧路新道大楽毛避難階段		大楽毛下水終末処理場	450	マルセンクリーニング本社工場
	湿原展望台	734	大楽毛中学校	440	王子マテリア社宅(7棟)
	山花小中学校	284	釧路鶴野支援学校	1,600	王子マテリア社宅(9棟)
	山花温泉リフレ	419	釧路優心病院	430	王子マテリア社宅(独身寮)
			工業高等専門学校	2,080	釧路交通本社ビル
音別地区					
音別	体験学習センター	1,700			西消防署音別支署
	拓北会館	60			音別町行政センター
	音別公園墓地駐車場				音別学園
	チノミ台高台(旧音別学園付近)				音別神社
					㈱大塚製薬工場 釧路工場
尺別	尺別中央会館	60			
直別	直別生活館東の高台路肩				
阿寒地区					
阿寒本町	阿寒町行政センター	810			
	阿寒町公民館	1,400			
	阿寒町スポーツセンター	1,300			
	阿寒小学校	2,100			
	阿寒中学校	1,400			
	計	77,483	計	61,325	

※ 大津波警報発表時の収容可能人数は、原則として避難者の待機場所として想定している階層の面積の50%を待機スペースとし、避難者一人当たり1㎡で収容者数を算定している。

5. 4. 偶発性低体温症リスクの集計結果

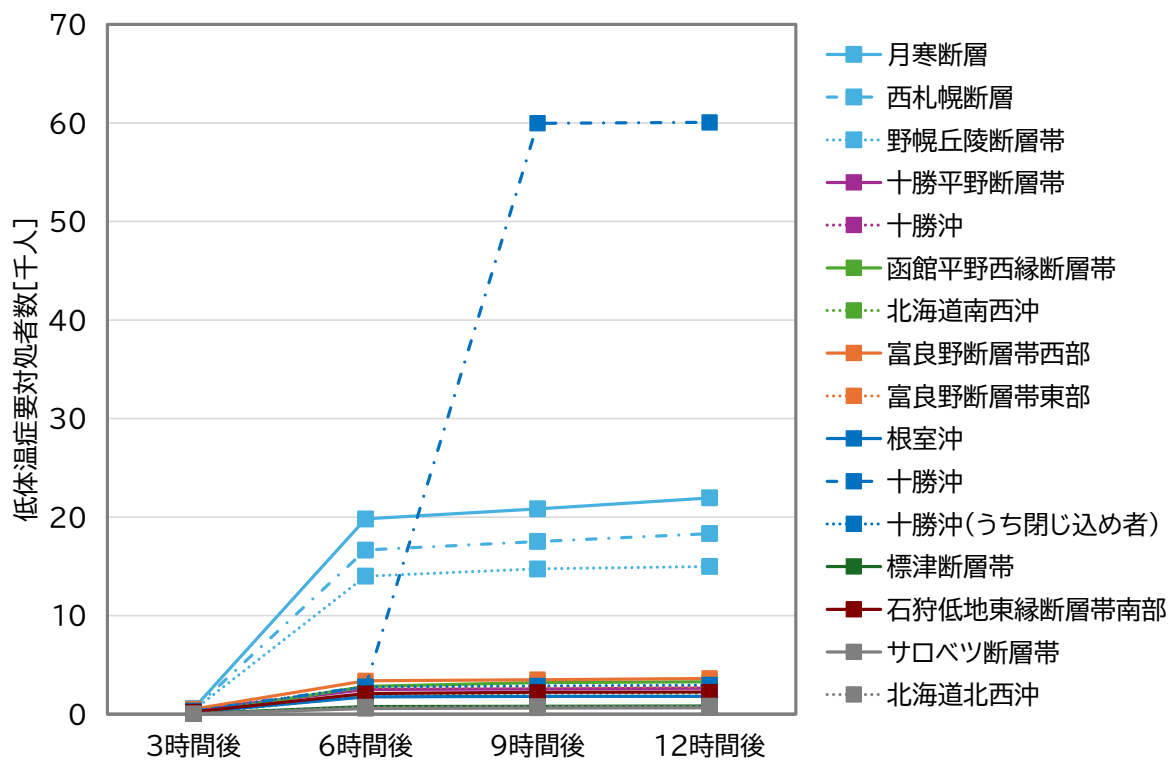
本章にて算出した建物倒壊により算出した以下の総和をもって、積雪寒冷期における地震・津波複合災害による低体温症発症者数の推計結果とする。

Table. 5.37 は各想定地震における発災から 3、6、9、12 時間後の低体温症発症者数を整理した表、**Fig. 5.72** は、その時間推移をグラフで示したものである。

Table. 5.37 発災から 3、6、9、12 時間後の自治体別低体温症発症者数

商圏	想定地震	3 時間後		6 時間後		9 時間後		12 時間後	
		発症者数[人]	対人口比	発症者数[人]	対人口比	発症者数[人]	対人口比	発症者数[人]	対人口比
札幌商圏	月寒断層	575 (0.020%)		19,817 (0.695%)		20,839 (0.731%)		21,946 (0.769%)	
	西札幌断層	480 (0.017%)		16,655 (0.584%)		17,525 (0.614%)		18,326 (0.642%)	
	野幌丘陵断層帯	413 (0.014%)		14,009 (0.491%)		14,746 (0.517%)		14,980 (0.525%)	
商圏 帯広	十勝平野断層帯	405 (0.069%)		2,501 (0.427%)		2,548 (0.435%)		2,647 (0.451%)	
	十勝沖	283 (0.048%)		1,758 (0.300%)		1,782 (0.304%)		1,789 (0.305%)	
商圏 函館	函館平野西縁断層帯	44 (0.010%)		2,816 (0.668%)		3,199 (0.759%)		3,278 (0.777%)	
	北海道南西沖	23 (0.005%)		1,844 (0.437%)		2,130 (0.505%)		2,130 (0.505%)	
商圏 旭川	富良野断層帯西部	518 (0.058%)		3,378 (0.378%)		3,494 (0.391%)		3,627 (0.406%)	
	富良野断層帯東部	418 (0.047%)		2,725 (0.305%)		2,759 (0.309%)		2,784 (0.312%)	
釧路商圏	根室沖	178 (0.054%)		1,745 (0.529%)		1,801 (0.546%)		1,805 (0.548%)	
	十勝沖	321 (0.097%)		2,788 (0.846%)		59,966 (18.192%)		60,056 (18.219%)	
	うち津波避難者	0 (0.000%)		29 (0.009%)		57,103 (17.323%)		57,109 (17.325%)	
商圏 北見	標津断層帯	58 (0.011%)		778 (0.149%)		803 (0.154%)		823 (0.158%)	
日高商圏 胆振・	石狩低地東縁断層帯南部	221 (0.028%)		2,082 (0.263%)		2,216 (0.280%)		2,245 (0.284%)	
商圏 稚内	サロベツ断層帯	40 (0.063%)		572 (0.894%)		619 (0.966%)		649 (1.013%)	
	北海道北西沖	36 (0.057%)		724 (1.130%)		792 (1.237%)		829 (1.294%)	

※本論では、津波の影響は十勝沖地震の釧路市のみを評価対象としている。



※本論では、津波の影響は十勝沖地震の釧路市のみを評価対象としている。

Fig. 5.72 発災から3、6、9、12時間後の自治体別低体温症発症者数

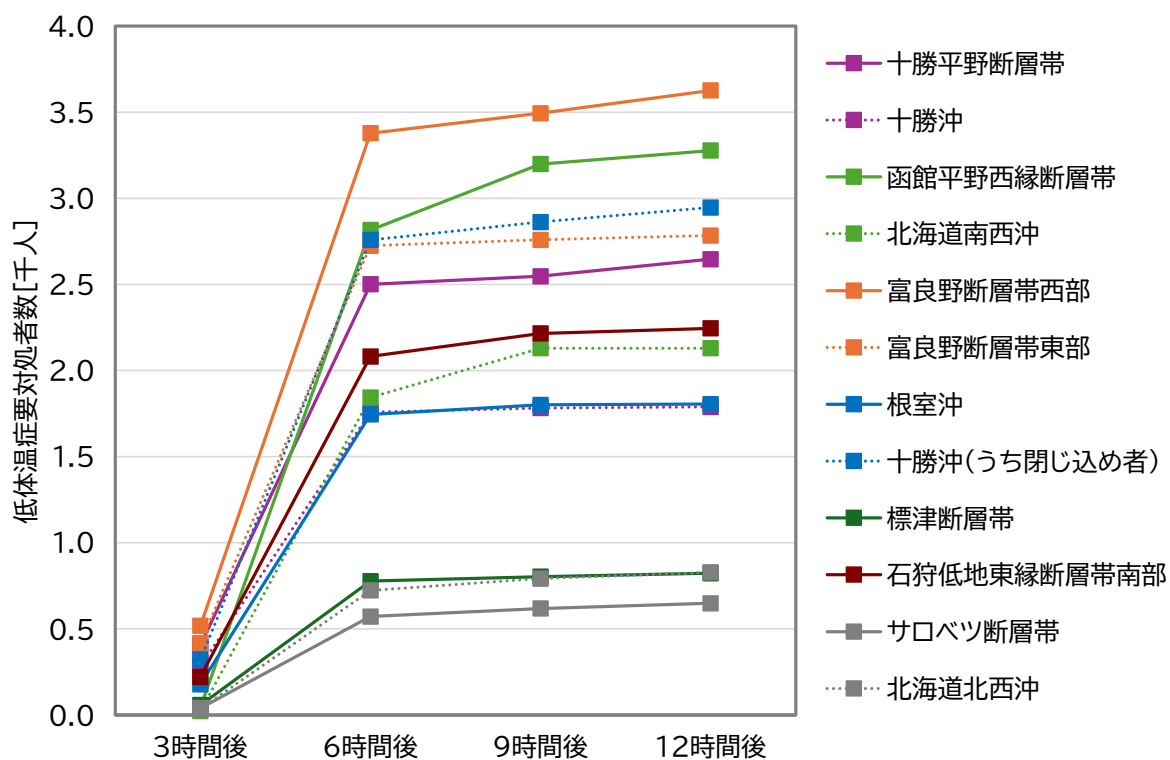


Fig. 5.73 発災から3、6、9、12時間後の自治体別低体温症発症者数（津波除く）

第5章 「低体温症発症者数推定」の参考文献

- 1 北海道危機対策局危機対策課：想定地震・被害想定, 2018.02., 2025.04 現在
https://www.pref.hokkaido.lg.jp/sm/ktk/jishin_sotei.html
- 2 岡田成幸, 中嶋唯貴：大地震に伴う人的被害の重症度指標別詳細評価法の提案～想定南海トラフ巨大地震による震動及び津波被害を例に試算～, 大規模地震に対する地域保健基盤整備実践研究平成 26 年度総括・分担研究報告書, 147-162, 2015.
- 3 群馬県：群馬県地震被害想定調査の結果について, 2025.04 現在
<https://www.pref.gunma.jp/page/8133.html>
- 4 防災科学技術研究所：全国を概観するリアルタイム地震被害推定・状況把握システムの開発, 防災科学技術研究所研究資料, 第 432 号, p.1-311, 2019 年 3 月
DOI: <https://doi.org/10.24732/nied.00002209>
- 5 佐伯琢磨, 時実良典, 清水智, 中村洋光, 藤原広行：近年の内陸活断層型地震の被害データに基づく重篤な負傷者の予測手法の高度化, 地域安全学会論文集, 34 巻, p.37-45, 2019 年
DOI: <https://doi.org/10.11314/jisss.34.37>
- 6 中嶋唯貴・岡田成幸：時間軸上の死者低減率最大化を主目標とした木造住宅耐震化戦略の策定—東海・東南海連動型地震を対象とした東海 4 県への適用事例—, 日本建築学会構造系論文集, 2008 年, 73 巻, 623 号, p.79-86
DOI: <https://doi.org/10.3130/aijs.73.79>
- 7 財団法人救急振興財団：救急搬送における重症度・緊急度判断基準作成委員会報告書, 2025.04 現在
<http://www.fasd.or.jp/tyousa/hanso01.pdf>
- 8 相川直樹他：救急データブック, 中外医学社, 149-155, 2001.
- 9 総務省統計局：e-stat, 2024.06.03 現在
<https://www.e-stat.go.jp/gis>
- 10 岡田成幸, 高井伸雄：木造建築物の損傷度関数の提案と地震防災への適用:地震動入力を確定的に扱う場合, 日本建築学会構造系論文集, 第 582 号, 31-38, 2004.
DOI: https://doi.org/10.3130/aijs.69.31_5
- 11 角田勲亮, 岡田成幸, 中嶋唯貴：少子高齢化現象が地震津波複合災害の人的被害に与える影響評価～自助・共助・公助による減災対策効果の限界～, 日本地震工学会論文集, 19 巻 5 号, 5_4 23-5_439, 2019.
DOI: https://doi.org/10.5610/jaee.19.5_423
- 12 建築防災協会：木造住宅の耐震診断と補強方法（改訂版）, 2004.
- 13 竹内慎一, 中嶋唯貴, 岡田成幸, 麻里哲広：北海道の積雪期に対応した建物リスク評価手法の基礎的検討 その 2 一般診断法による積雪を考慮した被害計算方法, 日本建築学会北海道支部研究報告集, No.95, 19-22, 2022.
- 14 竹内慎一, 岡田成幸, 中嶋唯貴：地域性及び時代性を考慮した木造建築物の地域地震被害率関数構築法の提案—北海道を例とした耐震評点分布を利用した方法—, 日本建築学会構造系論文集, 第 83 巻 753 号, 1549-1559, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.3130/aijs.83.1549>
- 15 岡田成幸, 中嶋唯貴：大規模地震に対する地域保健基盤整備実践研究 大地震に伴う人的被害の重症度指標別詳細評価法の提案～想定南海トラフ巨大地震による震動及び津波被害を例に試算～, 大規模地震に対する地域保健基盤整備実践研究, 平成 26 年度 総括・分担研究報告書, 14 7-161, 2015.
- 16 岡田成幸：建物の空間機能の震害尺度構成, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 第 1992 巻, p. 273-274, 1992.
- 17 日本外傷データバンク：日本外傷データバンクレポート 2013, 2014.1, 2024.08 現在
<http://www.jtcr-jatec.org/traumabank/dataroom/data/JTDB2013.pdf>

- 18 気象庁, 過去の気象データ検索, 2024.05.06 現在
https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php?prec_no=14&block_no=47412&year=&month=&day=&view=
- 19 村上ひとみ, 竹田宏樹: 1995 年兵庫県南部地震における閉じ込めと人的被害発生に関する樹形モデルー東灘区アンケートデータよりー 東濃地震科学研究報告, 57-76, 2003.
- 20 渡部幸樹, H.B.リジャル, 中谷岳史: 岐阜の住宅における熱的快適性に関する実態調査その 12, 着衣量の検討, 日本建築学会関東支部研究報告集(82), 161-164, 2012.
- 21 長谷川兼一, 桑沢保夫: 住宅環境改善の健康状態に関する効果の検証 省エネルギー法の普及に伴う室内温熱環境の改善効果推定のための明け方最低室温の推計, 厚生労働行政推進調査事業費補助金分担研究報告書, 202209001A, 2023.08 現在
<https://mhlw-grants.niph.go.jp/project/162294>
- 22 葉石猛夫, 末吉修三, 斎藤寿義: 木造試験住宅の温熱的性能第 2 報 暖房時における木造住宅と PC コンクリート造住宅の温熱的特徴, 林試研報, Bull. For. & For. Prod. Res. Inst., No. 345,15-42, 1987.
- 23 日本建築学会編: 日本建築学会設計計画パンフレット 2, 住宅の保温設計, 彰国社, p27, 1976
- 24 林響太, 中嶋唯貴, 岡田成幸, 飯田彬斗: 積雪寒冷期における地震津波複合災害の人的被害に与える影響評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 II (2020), 17-18, 2020-09.
- 25 北海道電子自治体共同運営協議会: 北海道の津波浸水想定公表資料(データ集)【北海道】, 太平洋沿岸の津波浸水想定公表資料
https://www.constr-dept-hokkaido.jp/ks/ikb/sbs/tsunami/shinsuisoutei/open_data2.html
- 26 北海道建築指導センター: センターレポート通巻第 166 号秋号, pp.2-5, 2008.
- 27 内閣府中央防災会議: HP 南海トラフの巨大地震建物被害, 人的被害の被害想定項目及び手法の概要について, 2019.01 現在
http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku/pdf/2_2.pdf
- 28 国土交通省都市局街路交通施設課: 津波避難を想定した避難路、避難施設の配置及び避難誘導について(第 3 版), 平成 25 年 4 月., 2025.04 現在
<https://www.mlit.go.jp/common/000233464.pdf>
- 29 釧路市総務部防災危機管理課: 釧路市津波避難計画, 第 8 版, 2021 年 8 月, 2025.04 現在
https://www.city.kushiro.lg.jp/res/projects/default_project/page/001/003/709/000178150.pdf
- 30 国土地理院: 公共測量標準図式, 2025.04 現在
<https://www.gsi.go.jp/common/000258741.pdf>

6. 低体温症発症者低減施策の検証

地震時の低体温症リスクを低減するためには、以下の2つの方針が考えられる。

ひとつ目は、リスクの高い建物閉じ込め者や屋外避難者を減少させることである。本論では、閉じ込め者を減少させる方法として、家屋の目標耐震評点（最低耐震評点）を向上させた場合について検証を行った。また、津波避難時における屋外避難者を減少させる方法としては、屋外の避難場所にプレハブ等の簡易的な避難空間を設け、風を防げる状況を仮定して検証を行った。

ふたつ目は、温熱環境の改善により低体温症発症までの猶予時間を長期化させることである。こちらについては、建物の断熱性能向上を図った際の閉じ込め者における低体温症発症者数の推定を行い、対策の効果検証を行った。

6.1. 建物倒壊に伴う閉じ込め者軽減に係る耐震改修

第5章で示したとおり、厳冬期の地震においては、積雪荷重の影響により耐震評点変動¹⁾し、夏期（無積雪時）よりも被害が拡大する傾向にある。そこで、耐震化により厳冬期の建物被害を軽減させることで低体温症発症者の対象となり得る確率の高い建物内閉じ込め者数を減少させることが可能となる。

家屋の目標耐震評点（最低耐震評点）を向上させた場合についての検証は、築年数に関わらず耐震評点 0.5 以下の家屋について、耐震評点 0.5 まで耐震性能を向上させた場合を想定した。

耐震評点は先述のとおり、式(5-4)で算出している。

（再掲）

$$s(x) = \left\{ \frac{I - a(x)}{b(x)} \right\}^{1/c(x)} \quad - (5-4)$$

つまり、式(6-1)及び(6-2)で、旧耐震基準の家屋（ここでは耐震評点 0.5 未満）などの耐震性を向上させた状況を想定している。

$$s(x) = \left\{ \frac{I - a(x)}{b(x)} \right\}^{\frac{1}{c(x)}} \quad \left(s(x) = \left\{ \frac{I - a(x)}{b(x)} \right\}^{\frac{1}{c(x)}} \geq 0.5 \right) \quad - (6-1)$$

$$s(x) = 0.5 \quad \left(s(x) = \left\{ \frac{I - a(x)}{b(x)} \right\}^{\frac{1}{c(x)}} < 0.5 \right) \quad - (6-2)$$

ISS 別閉じ込め者数 $P_{L,ISS}$ を算出し、そのうえで低体温症発症者数を算出した。なお、本章における低体温症発症者数推定手法は第5章と同様なので、詳細は第5章を参照されたい。

建物倒壊に伴う身体的閉じ込め者及び空間的閉じ込め者における商圈ごとの低体温症発症者の減少数を **Table. 6.1** に、減少割合を **Table. 6.2** に整理した。

耐震性の低い家屋について改修を実施しているため、身体的閉じ込め者が大幅に減少し、低体温症リスクが大幅に減少している。減少割合を見ると、建物の多い札幌商圈や気温の低い稚内等が、40%程度の減少となり、軽減効果が高いことが分かった。

Table. 6.1 耐震改修による低体温症発症者数減少数[人]

経過時間[h]	札幌			帯広		函館		旭川			釧路		北見	胆振 日高	稚内
	月寒	西札幌	野幌	十勝平野	十勝沖	函館平野西縁	南西沖	富良野西部	富良野東部	根室沖	十勝沖	標津	石狩低地	サロベツ	北西沖
3	134	97	55	79	19	12	1	53	16	2	72	6	23	18	13
4	1,967	1,408	850	303	74	195	27	240	74	81	414	37	73	117	111
5	4,118	2,981	1,796	442	108	413	62	320	99	136	602	66	101	199	227
6	5,133	3,705	2,276	485	120	550	83	342	106	153	660	74	113	235	279
7	5,342	3,860	2,385	490	121	599	93	343	106	160	672	75	114	250	302
8	5,377	3,888	2,404	493	121	608	94	360	109	160	678	76	115	252	306
9	5,408	3,911	2,411	499	122	609	94	387	112	161	692	78	119	255	307
10	5,554	4,016	2,439	515	123	619	94	416	116	161	710	80	123	263	312
11	5,676	4,103	2,469	536	124	631	94	430	118	162	727	85	130	273	322
12	5,954	4,306	2,527	547	125	647	94	446	120	163	734	88	133	285	339
13	6,084	4,400	2,559	555	126	680	94	454	121	164	745	90	138	294	376
14	6,197	4,482	2,587	567	126	697	94	462	122	165	749	91	140	304	397
15	6,291	4,550	2,612	572	127	712	94	464	123	165	752	92	142	310	416
16	6,369	4,607	2,632	575	127	724	94	466	123	165	754	92	143	315	419
17	6,430	4,649	2,648	578	127	733	94	467	123	166	756	93	144	316	432
18	6,477	4,684	2,660	579	127	736	94	468	123	166	757	93	144	320	445
19	6,510	4,709	2,669	580	127	742	94	471	125	166	759	93	145	322	456

Table. 6.2 耐震改修による低体温症発症者数減少割合

経過時間[h]	札幌				帯広		函館		旭川		釧路		北見	胆振 日高	稚内
	月寒	西札幌	野幌	十勝平野	十勝沖	函館平野西縁	南西沖	富良野西部	富良野東部	根室沖	十勝沖	標津	石狩低地	サロベツ	北西沖
3	0.23	0.20	0.13	0.20	0.07	0.27	0.06	0.10	0.04	0.01	0.23	0.10	0.10	0.31	0.29
4	0.25	0.22	0.16	0.19	0.07	0.21	0.05	0.11	0.04	0.08	0.25	0.10	0.07	0.29	0.30
5	0.26	0.22	0.16	0.19	0.07	0.20	0.05	0.10	0.04	0.09	0.24	0.10	0.06	0.29	0.32
6	0.26	0.22	0.16	0.19	0.07	0.20	0.04	0.10	0.04	0.09	0.24	0.10	0.05	0.29	0.32
7	0.26	0.22	0.16	0.19	0.07	0.19	0.04	0.10	0.04	0.09	0.24	0.09	0.05	0.29	0.33
8	0.26	0.22	0.16	0.19	0.07	0.19	0.04	0.10	0.04	0.09	0.24	0.09	0.05	0.29	0.33
9	0.26	0.22	0.16	0.20	0.07	0.19	0.04	0.11	0.04	0.09	0.24	0.10	0.05	0.29	0.33
10	0.26	0.23	0.16	0.20	0.07	0.19	0.04	0.12	0.04	0.09	0.24	0.10	0.06	0.29	0.33
11	0.27	0.23	0.17	0.20	0.07	0.19	0.04	0.12	0.04	0.09	0.25	0.10	0.06	0.29	0.33
12	0.27	0.23	0.17	0.21	0.07	0.20	0.04	0.12	0.04	0.09	0.25	0.11	0.06	0.30	0.33
13	0.27	0.24	0.17	0.21	0.07	0.20	0.04	0.12	0.04	0.09	0.25	0.11	0.06	0.30	0.34
14	0.28	0.24	0.17	0.21	0.07	0.21	0.04	0.13	0.04	0.09	0.25	0.11	0.06	0.30	0.34
15	0.28	0.24	0.17	0.21	0.07	0.21	0.04	0.13	0.04	0.09	0.25	0.11	0.06	0.30	0.34
16	0.28	0.24	0.17	0.21	0.07	0.21	0.04	0.13	0.04	0.09	0.25	0.11	0.06	0.30	0.34
17	0.28	0.24	0.17	0.21	0.07	0.21	0.04	0.13	0.04	0.09	0.25	0.11	0.06	0.31	0.34
18	0.28	0.25	0.17	0.21	0.07	0.21	0.04	0.13	0.04	0.09	0.25	0.11	0.06	0.31	0.34
19	0.28	0.25	0.17	0.21	0.07	0.21	0.04	0.12	0.04	0.09	0.25	0.11	0.06	0.31	0.35

Fig. 6.1～Fig. 6.15 に時間推移をグラフで示した。耐震改修による効果は主に身体的閉じ込め者の軽減に大きく寄与する。そのため、時間推移を確認すると、発災直後から低体温症発症者数の軽減率はほぼ一定となる。つまり、耐震改修は寒冷環境における限界曝露時間 DLE_F を伸ばす作用ではなく、低体温症の対象者自体を減らすことに作用するものであることが分かった。

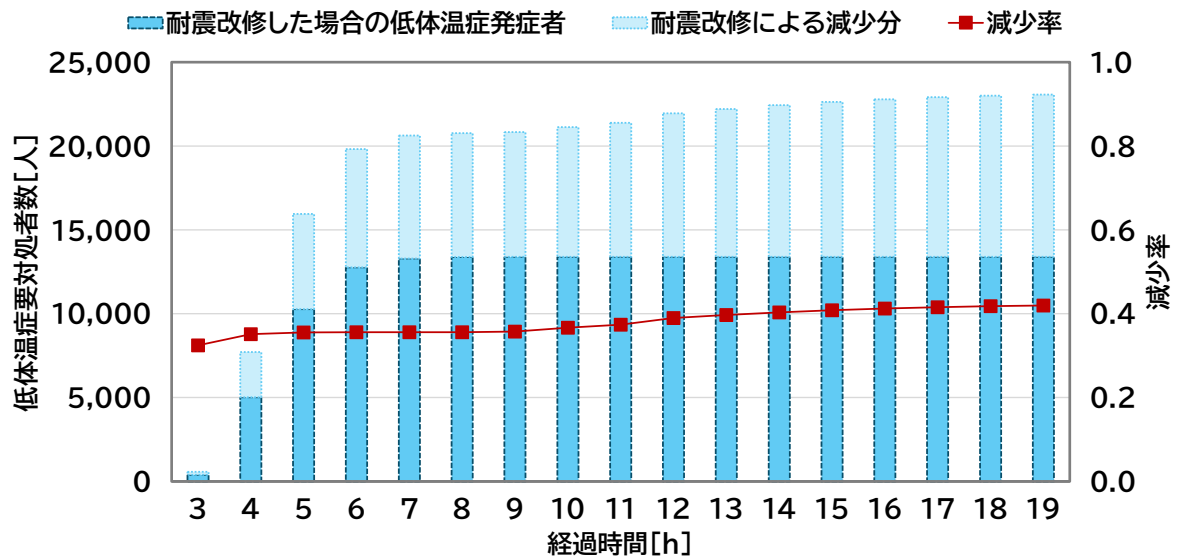


Fig. 6.1 耐震改修した場合の低体温症発症者（札幌商圏・月寒断層）

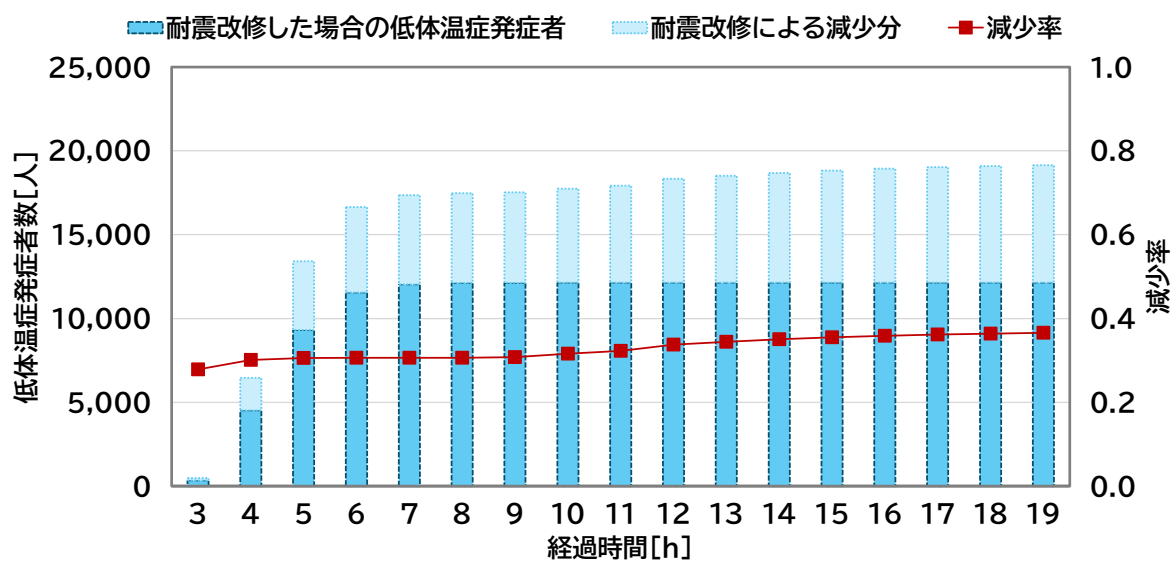


Fig. 6.2 耐震改修した場合の低体温症発症者（札幌商圏・西札幌断層）

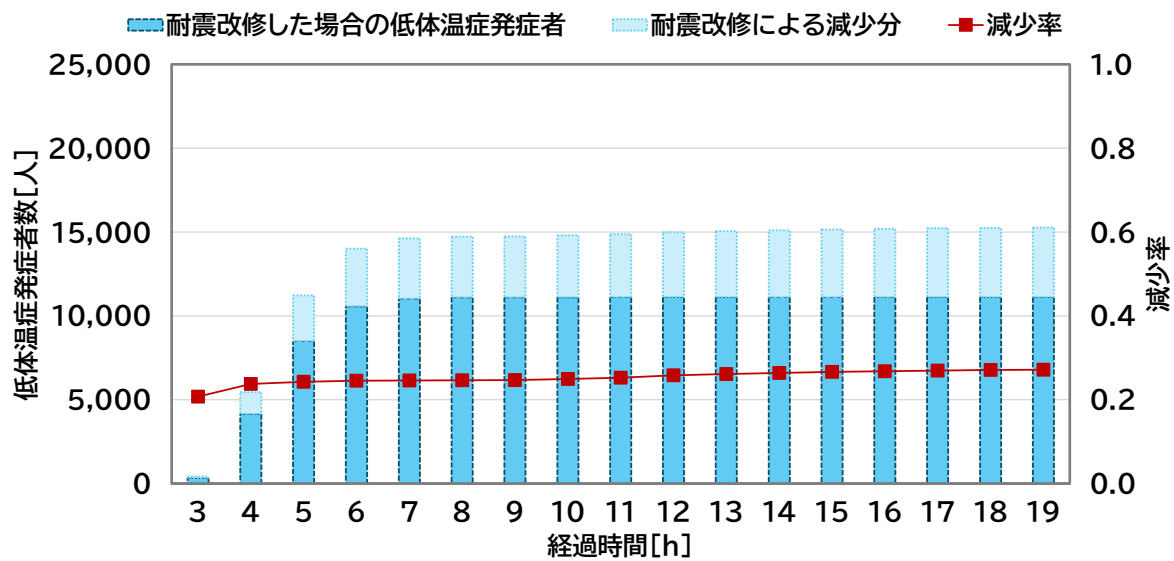


Fig. 6.3 耐震改修した場合の低体温症発症者（札幌商圏・野幌丘陵断層帯）

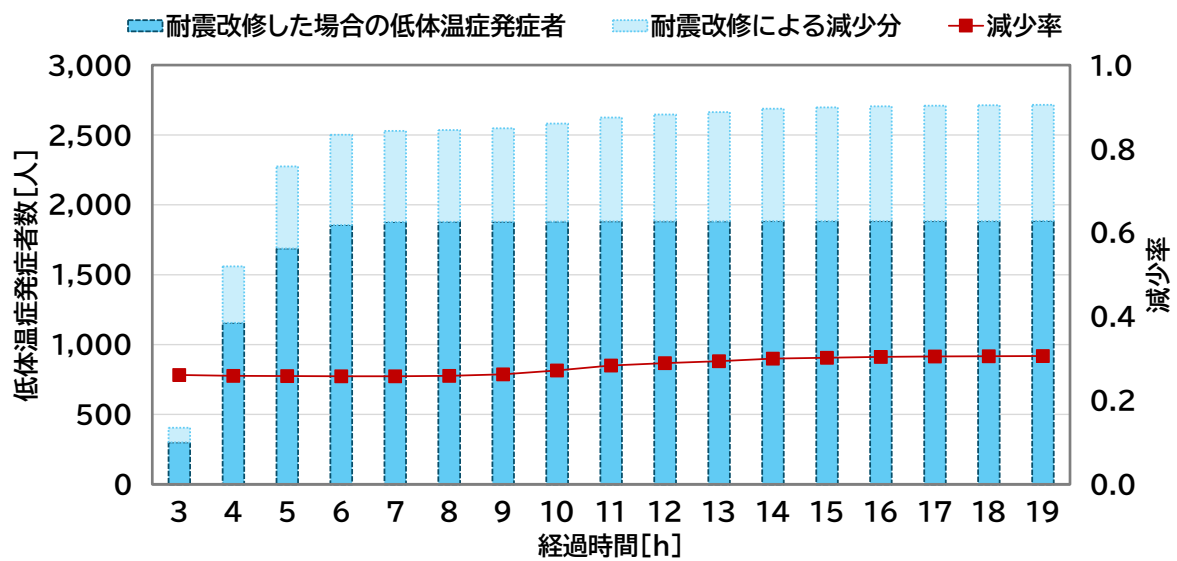


Fig. 6.4 耐震改修した場合の低体温症発症者（帯広商圏・十勝平野断層帯）

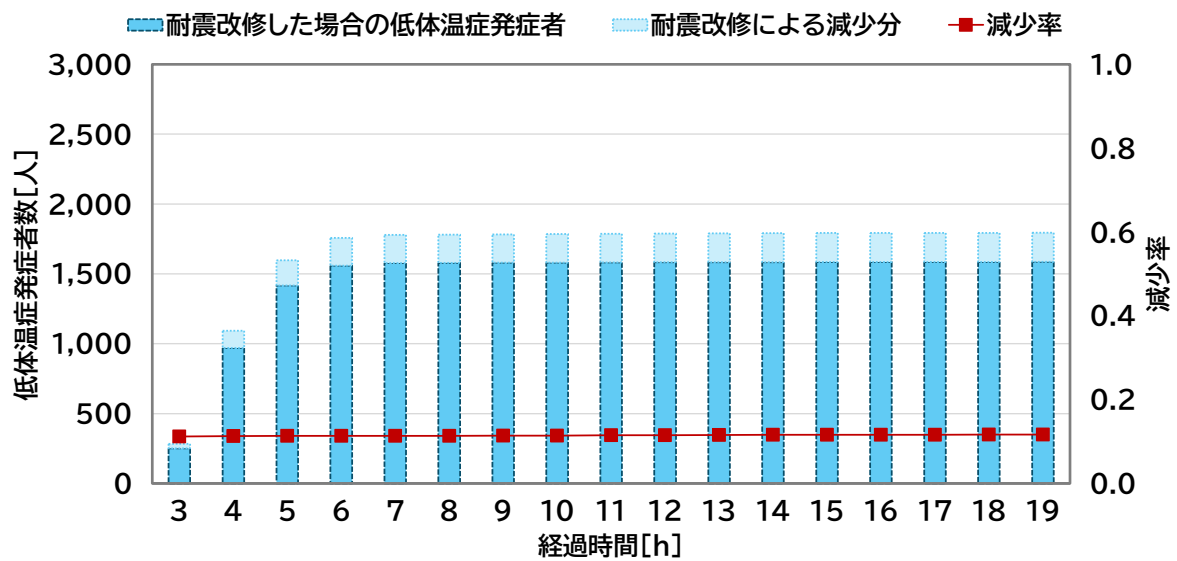


Fig. 6.5 耐震改修した場合の低体温症発症者（帯広商圏・十勝沖）

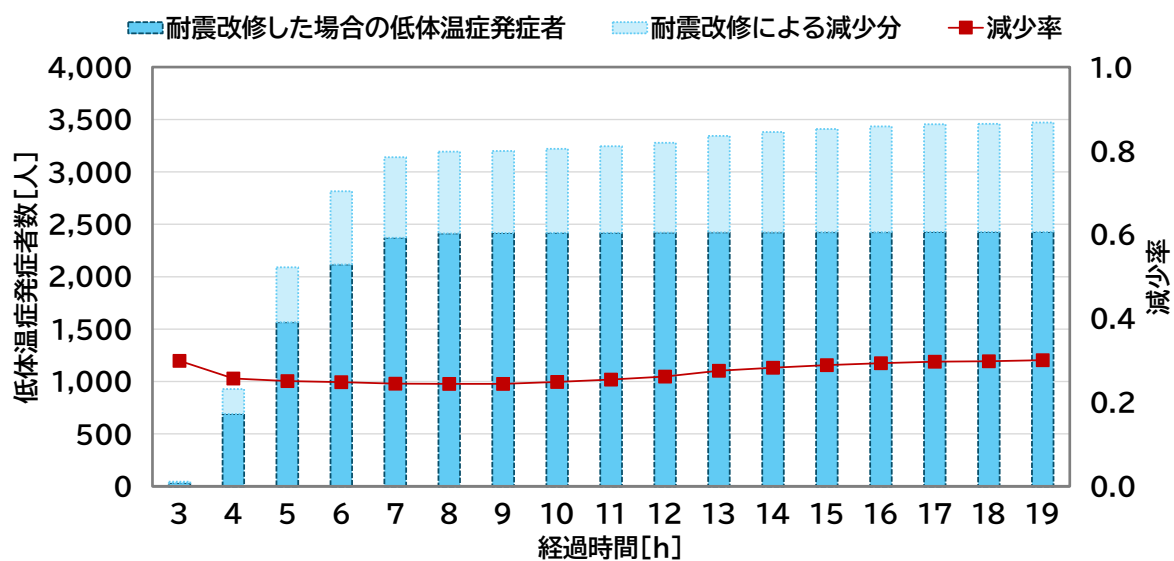


Fig. 6.6 耐震改修した場合の低体温症発症者（函館商圏・函館平野西縁断層帯）

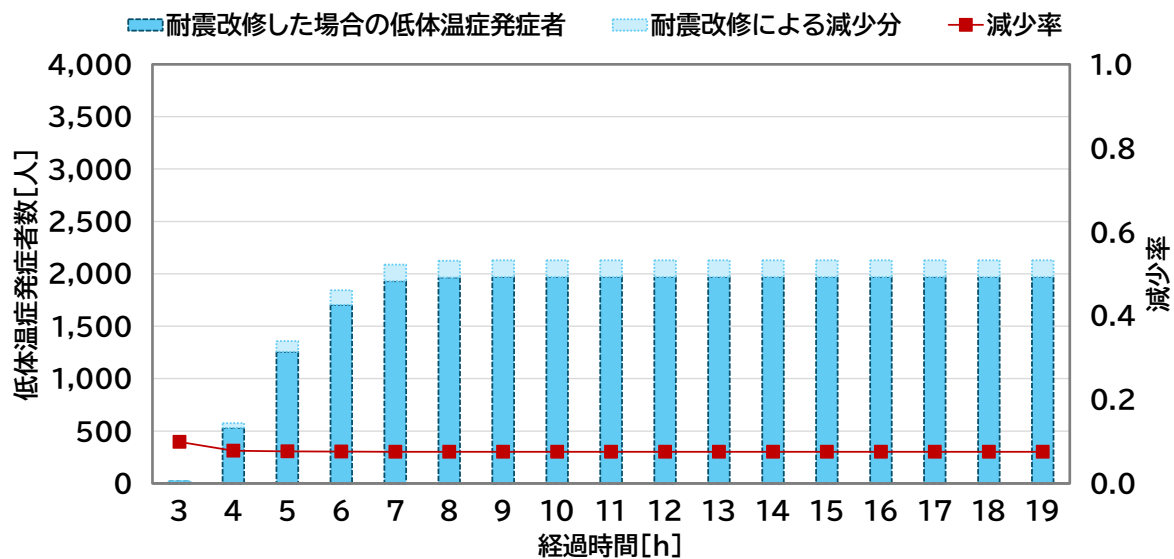


Fig. 6.7 耐震改修した場合の低体温症発症者（函館商圏・北海道南西沖）

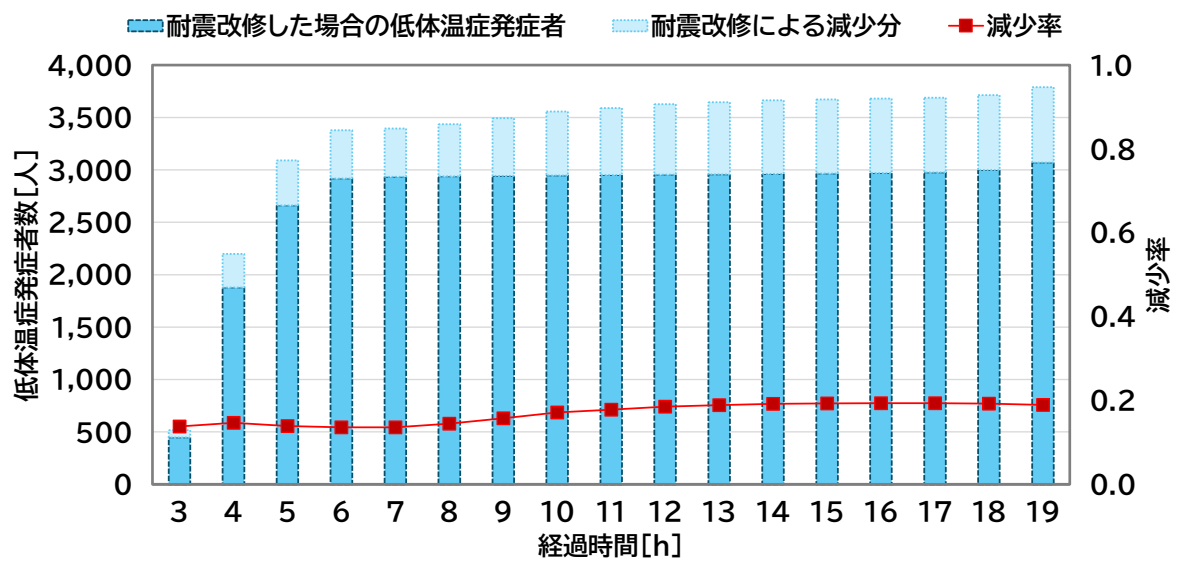


Fig. 6.8 耐震改修した場合の低体温症発症者（旭川商圏・富良野断層帯西部）

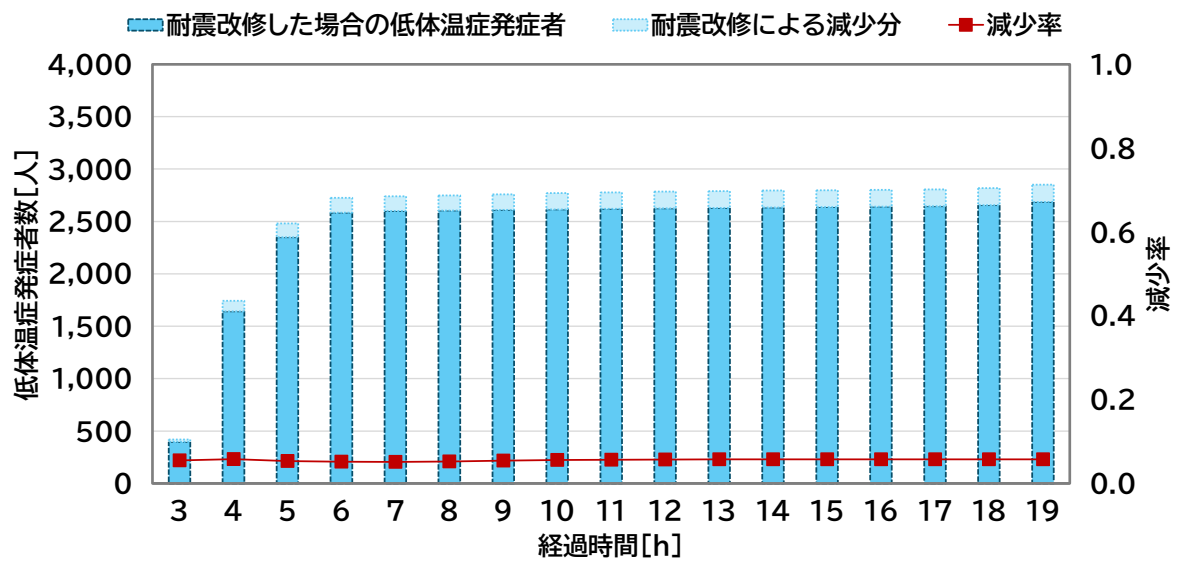


Fig. 6.9 耐震改修した場合の低体温症発症者（旭川商圏・富良野断層帯東部）

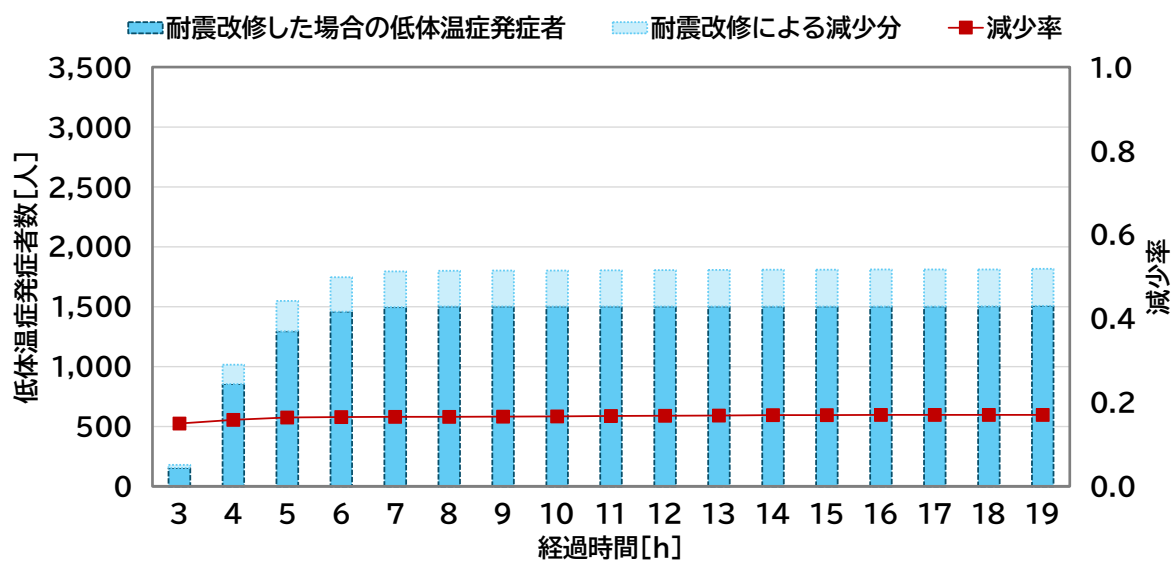


Fig. 6.10 耐震改修した場合の低体温症発症者（釧路商圏・根室沖）

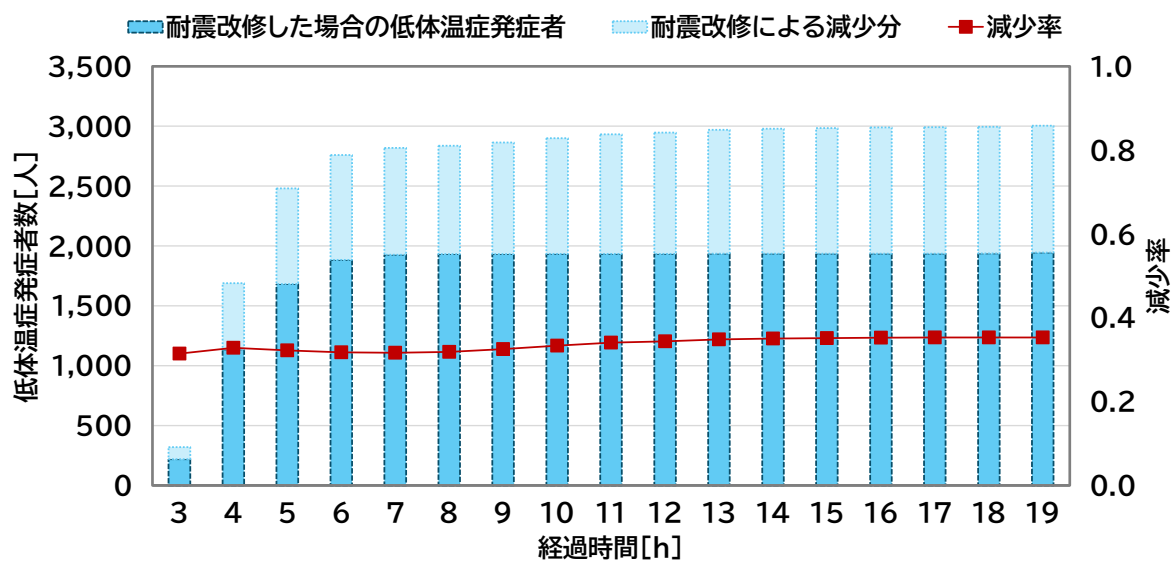


Fig. 6.11 耐震改修した場合の低体温症発症者（釧路商圏・十勝沖）

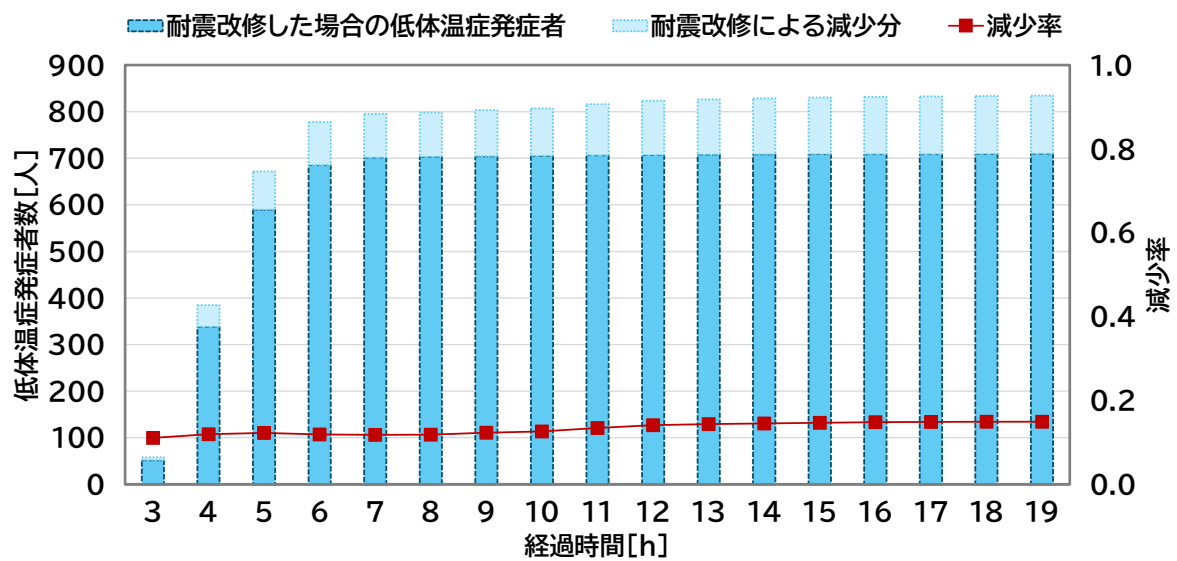
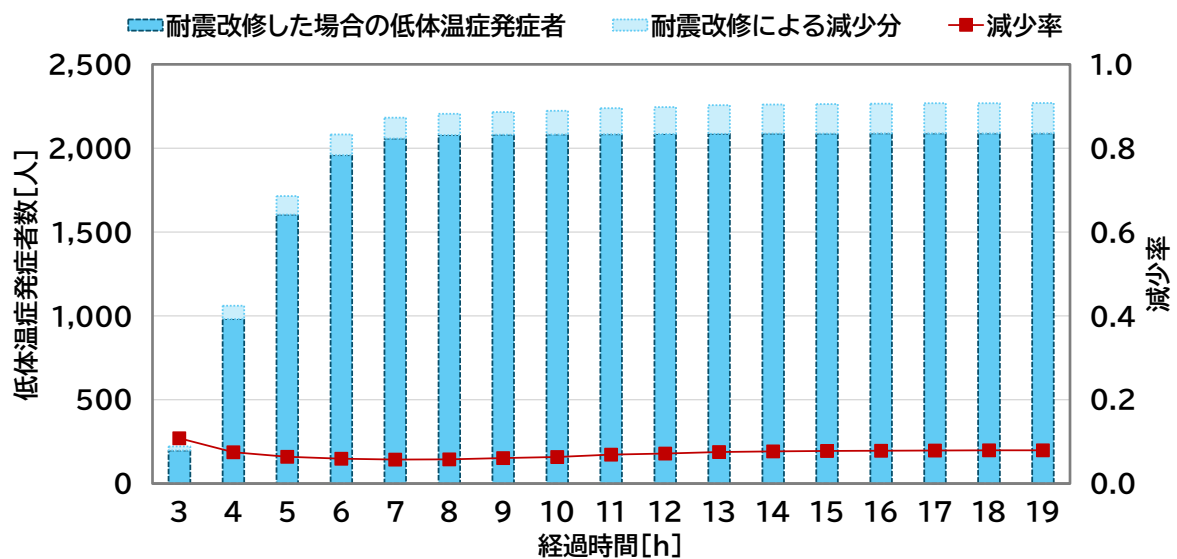


Fig. 6.12 耐震改修した場合の低体温症発症者（北見商圏・標津断層帯）

Fig. 6.13 耐震改修した場合の低体温症発症者
(胆振日高商圏・石狩低地東縁断層帯南部)

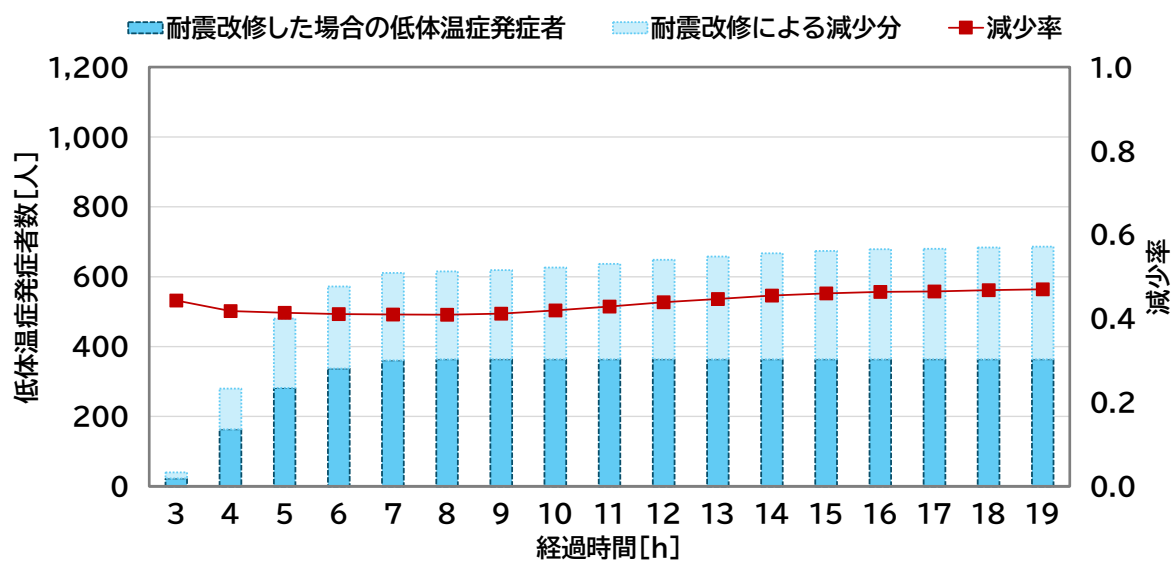


Fig. 6.14 耐震改修した場合の低体温症発症者（稚内商圏・サロベツ断層帯）

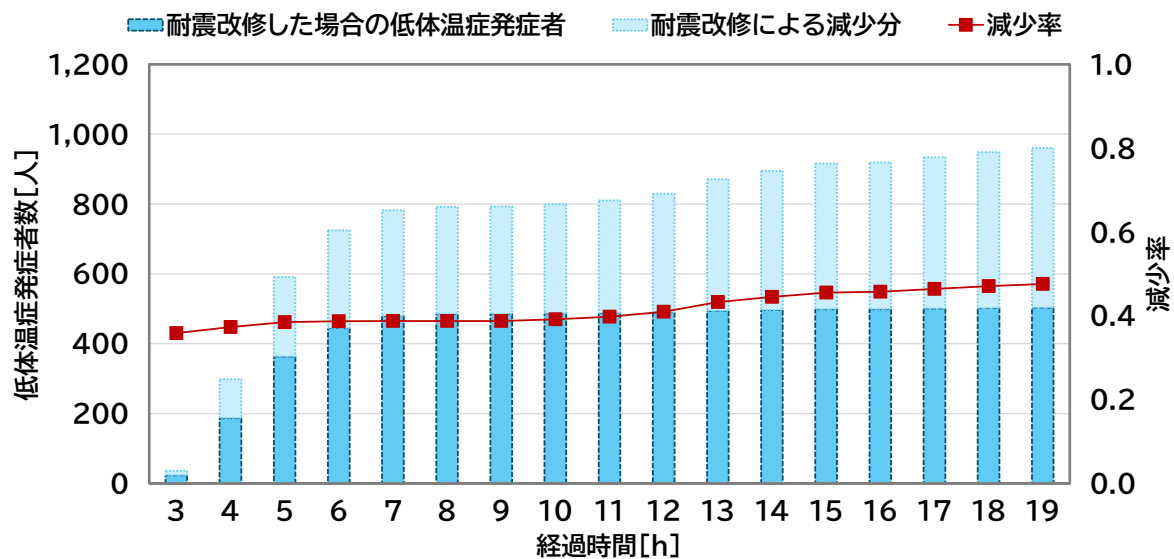


Fig. 6.15 耐震改修した場合の低体温症発症者（稚内商圏・北海道北西沖）

6.2. 災害時の家屋内温熱環境改善に係る住宅の断熱性能向上

建物被害による空間的閉じ込めが発生した場合、家屋内の温熱環境が低体温症リスクに直結する。そこで、建物の断熱性能を向上させた場合の低体温症発症者数の比較を行い、耐震性能向上の効果検証を行った。

本論では断熱性能として、葉石ら²⁾を参考に室温変動率 δ [1/h]を用いている。そこで、室温変動率を2分の1にした場合の低体温症発症者の減少数を検証した。なお、温室変動率は高いほど室温変動が激しい、すなわち断熱性能が低いことを示す指標である。

以下に建物内の残存空間の室温低下 θ_i [°C]の算出式(5-24)について再掲する。

(再掲)

$$\theta_i = \left(\theta_0 + \frac{H}{W} \right) (1 - e^{-\delta t}) + \theta_0 e^{-\delta t} \quad - (5-24)$$

ここに、各パラメータは以下のとおりである。

θ_0 : 変化前の室温[°C]

H : 供給熱量[W/h]であり、その場に座り込んで移動等ができない状況の被災者からの代謝熱量として、 $61.6[\text{W}/\text{m}^2] \times 1.63[\text{m}^2] = 100.408$ とする。

W : 熱損失量[W/h・°C]であり、室温変動率は葉石ら²⁾により、90.1325とする。

$(77.5[\text{kcal}/\text{h} \cdot ^\circ\text{C}] \times 1.163 = 90.1325[\text{W}/\text{h} \cdot ^\circ\text{C}])$

δ : 室温変動率[1/h]であり、Table. 6.3 一例を示す。

t : 経過時間[h]

つまり、ここでの想定は、室温変動率 δ [1/h]を、0.10としたものである。なお、 $\delta = 0.10$ は厚さ15cm程度のコンクリート外壁を有するRC造住宅と同程度の室温変化率である。

建物倒壊に伴う身体的閉じ込め者及び空間的閉じ込め者における商圈ごとの低体温症発症者の減少数をTable. 6.4に、減少割合をTable. 6.5に整理した。

Table. 6.3 住宅の室温変動率の例²⁾

建物種類	構造外壁	室温変動率[1/h]
木造試験住宅	ブラスタ 1.0cm	0.20
	ラスボード 0.7cm	
	中空層 5.9cm	
	グラスウール 5.0cm	
	中空層 1.0cm	
	木片セメント板 1.2cm	
RC造住宅 ³⁾	コンクリート壁 15.0cm	0.102
	コンクリート壁 21.0cm	0.064

Table. 6.4 断熱性能向上による低体温症発症者数の減少数[人]

経過時間[h]	札幌			帯広		函館		旭川		釧路		北見	胆振 日高	稚内	
	月寒	西札幌	野幌	十勝平野	十勝沖	函館平野 西縁	南西沖	富良野西部	富良野東部	根室沖	十勝沖	標津	石狩低地	サロベツ	北西沖
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	5	0	0	0	36	5	0	11	1	2	0	0
9	61	44	11	17	1	1	0	92	12	1	38	6	10	3	0
10	355	257	68	51	3	21	0	152	20	2	74	10	17	11	7
11	604	434	127	94	6	47	0	176	23	4	107	19	32	21	18
12	1,167	844	245	116	8	79	0	196	26	6	118	26	39	33	37
13	1,430	1,035	309	127	8	145	0	192	25	7	133	28	49	41	78
14	1,597	1,156	355	142	9	181	0	180	24	8	130	29	50	49	101
15	1,673	1,213	379	137	9	204	0	160	21	8	121	28	48	52	122
16	1,651	1,196	389	127	8	214	0	134	18	8	106	25	44	56	120
17	1,769	1,278	411	128	9	231	0	134	19	8	92	22	38	51	124
18	1,622	1,176	384	110	7	215	0	127	22	8	92	22	38	50	138
19	1,685	1,221	398	110	8	225	0	179	50	13	84	18	32	50	135

Table. 6.5 断熱性能向上による低体温症発症者数の減少割合

経過時間[h]	札幌			帯広		函館		旭川		釧路		北見	胆振 日高	稚内	
	月寒	西札幌	野幌	十勝平野	十勝沖	函館平野西縁	南西沖	富良野西部	富良野東部	根室沖	十勝沖	標津	石狩低地	サロベツ	北西沖
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
10	0.02	0.01	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.04	0.01	0.00	0.03	0.01	0.01	0.02	0.01
11	0.03	0.02	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.05	0.01	0.00	0.04	0.02	0.01	0.03	0.02
12	0.05	0.05	0.02	0.04	0.00	0.02	0.00	0.05	0.01	0.00	0.04	0.03	0.02	0.05	0.04
13	0.06	0.06	0.02	0.05	0.00	0.04	0.00	0.05	0.01	0.00	0.04	0.03	0.02	0.06	0.09
14	0.07	0.06	0.02	0.05	0.01	0.05	0.00	0.05	0.01	0.00	0.04	0.03	0.02	0.07	0.11
15	0.07	0.06	0.03	0.05	0.01	0.06	0.00	0.04	0.01	0.00	0.04	0.03	0.02	0.08	0.13
16	0.07	0.06	0.03	0.05	0.00	0.06	0.00	0.04	0.01	0.00	0.04	0.03	0.02	0.08	0.13
17	0.08	0.07	0.03	0.05	0.00	0.07	0.00	0.04	0.01	0.00	0.03	0.03	0.02	0.08	0.13
18	0.07	0.06	0.03	0.04	0.00	0.06	0.00	0.03	0.01	0.00	0.03	0.03	0.02	0.07	0.15
19	0.07	0.06	0.03	0.04	0.00	0.06	0.00	0.05	0.02	0.01	0.03	0.02	0.01	0.07	0.14

耐震性能を向上させた場合と比較すると、断熱性能の向上は構造体の補強には繋がらないため、外気が多量に流入する建物倒壊による低体温症発症者の発生が多い発災初期（発災後 6 時間程度）までは、低体温症発症者の減少はほとんど見られない。ただし、発災後 9 時間以降、すなわち対策をしていない場合に空間的閉じ込め者に低体温症のリスクが高まり始める頃には、断熱性能向上による低体温症発症者数が減少し始める。

発災からおおよそ 12 時間後以降の低体温症発症者減少割合は平均で 4%程度となり、建物被害等が軽微で相対的に救助が後回しになってしまう空間的閉じ込め者の低体温症リスクの軽減に寄与することが分かる。

また、減少率としては耐震性能よりは劣るものの、一定程度の耐震性を有する住居については、断熱性能の向上は住環境の向上に寄与する側面もあるため、普及のしやすさを考えると、一定程度の効果は見込まれるものと考えられる。

以下、Fig. 6.16～Fig. 6.30 は、断熱性能を向上させた場合の低体温症発症者の時間推移をグラフで示したものである。

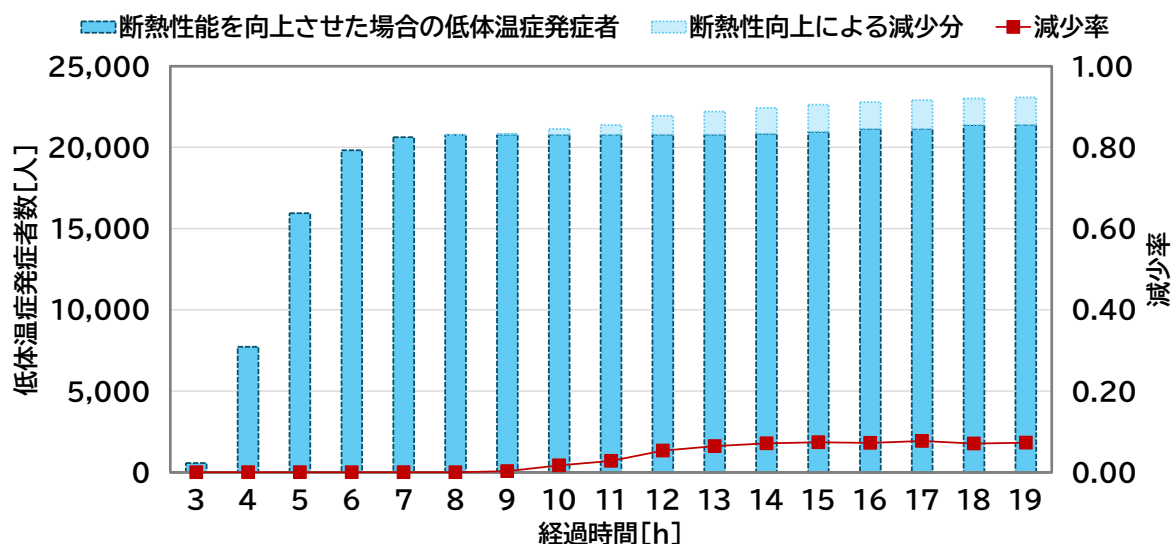


Fig. 6.16 断熱性能を向上させた場合の低体温症発症者（札幌商圏・月寒断層）

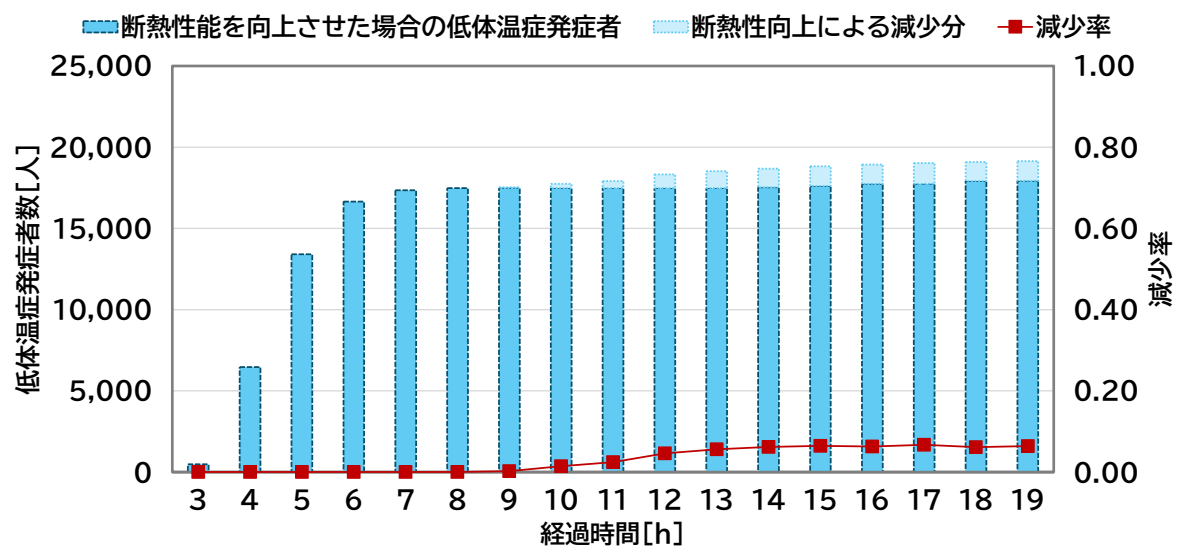


Fig. 6.17 断熱性能を向上させた場合の低体温症発症者（札幌商圏・西札幌断層）

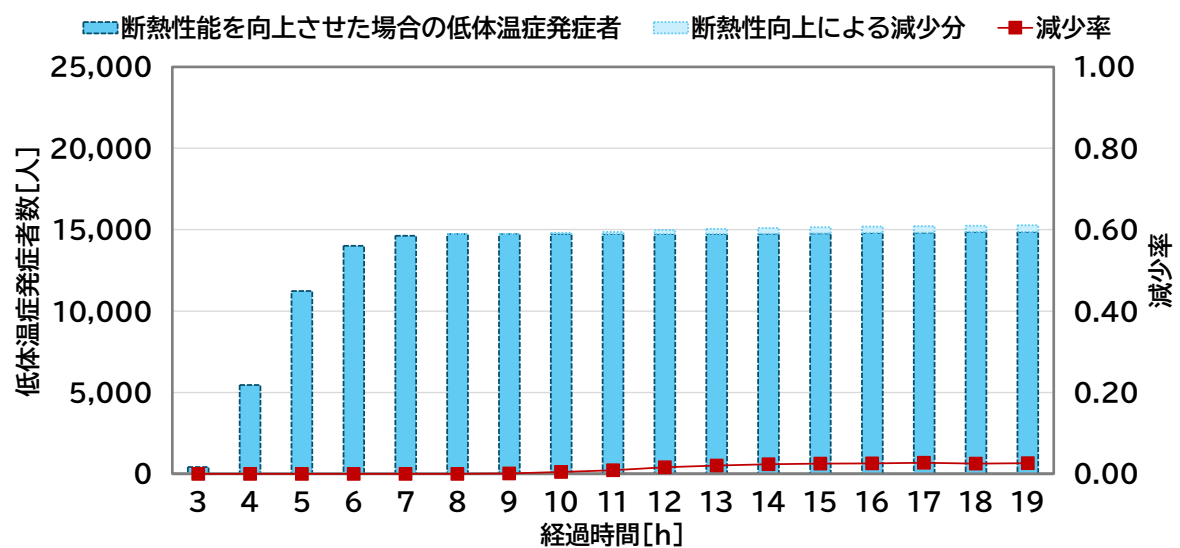


Fig. 6.18 断熱性能を向上させた場合の低体温症発症者（札幌商圏・野幌丘陵断層帯）

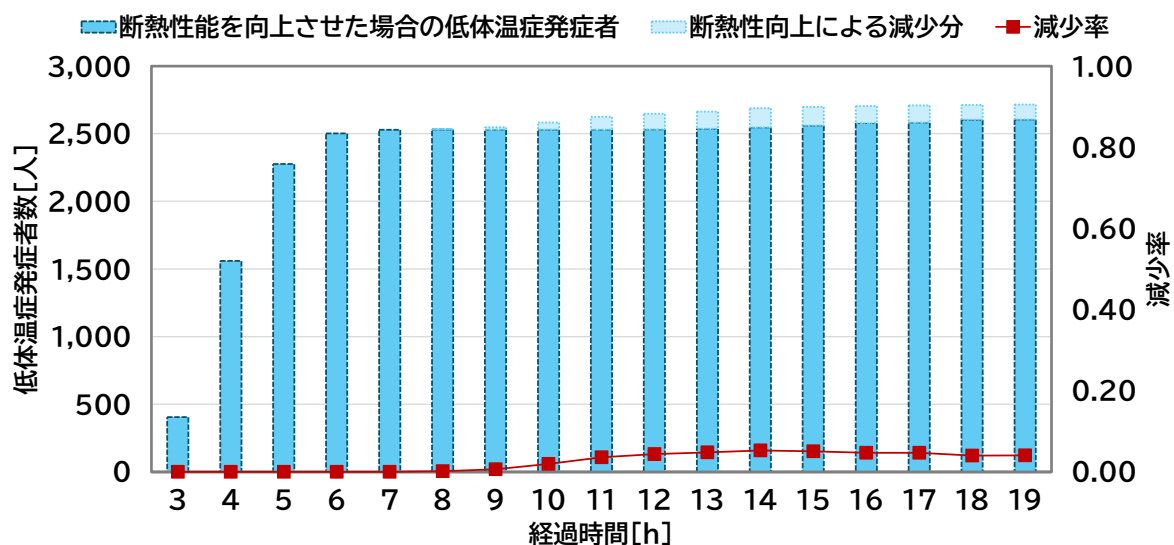


Fig. 6.19 断熱性能を向上させた場合の低体温症発症者（帯広商圏・十勝平野断層帯）

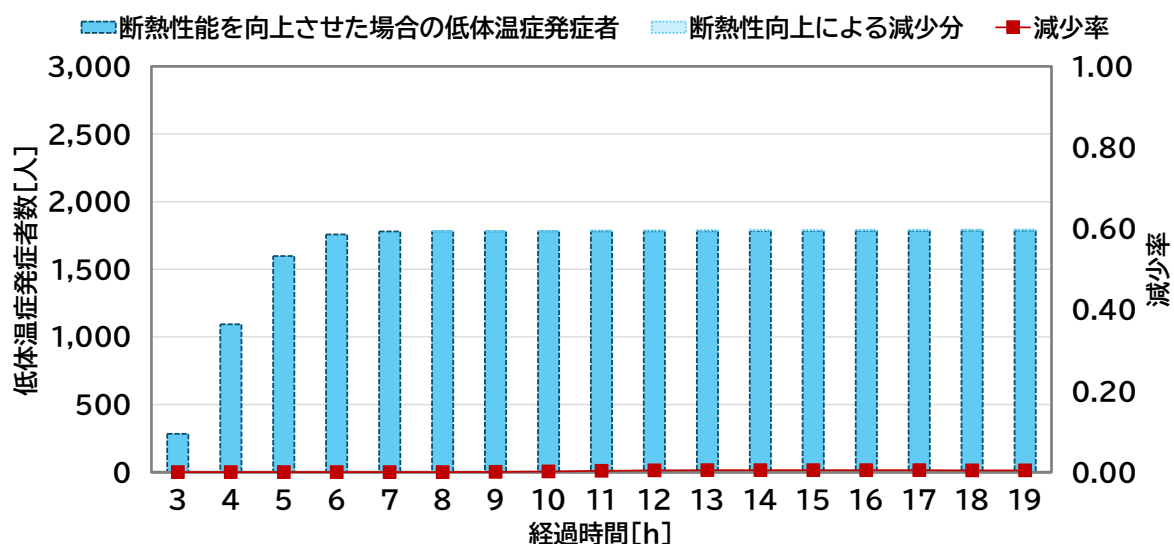


Fig. 6.20 断熱性能を向上させた場合の低体温症発症者（帯広商圏・十勝沖）

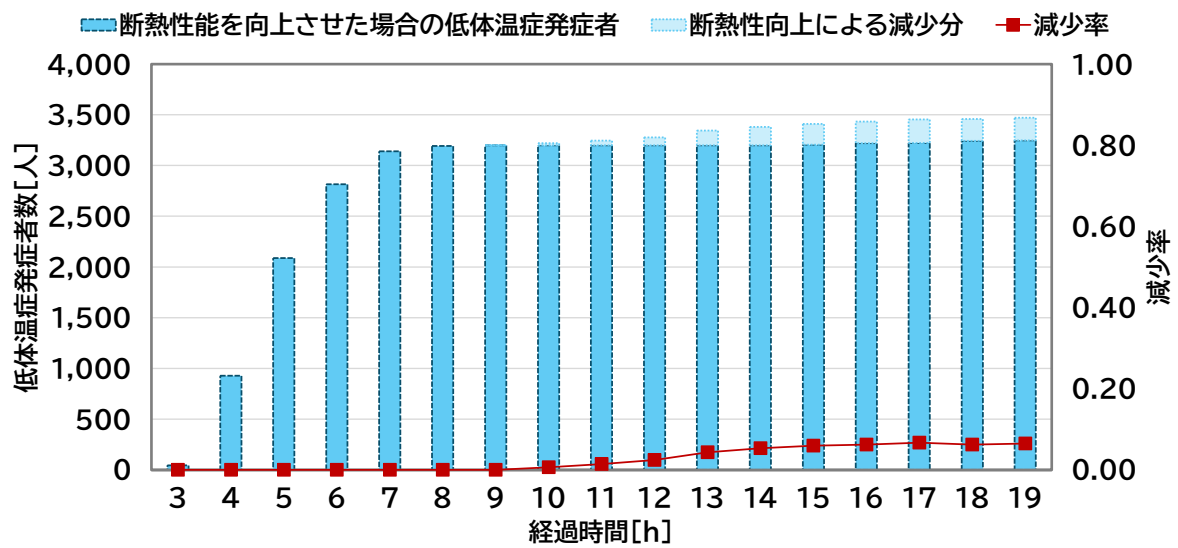


Fig. 6.21 断熱性能を向上させた場合の低体温症発症者（函館商圏・函館平野西縁断層帯）

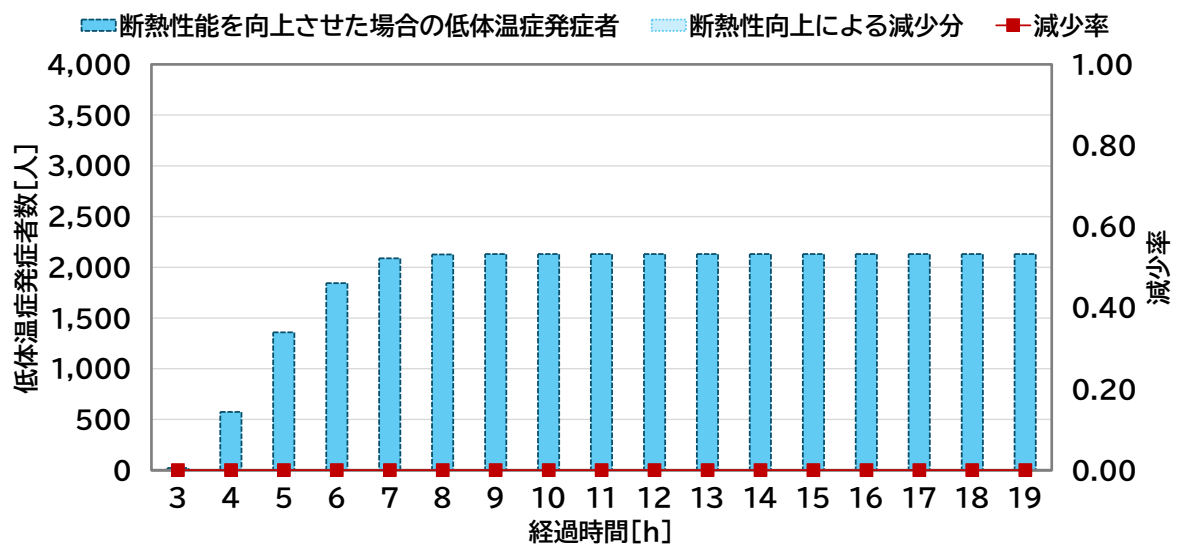


Fig. 6.22 断熱性能を向上させた場合の低体温症発症者（函館商圏・北海道南西沖）

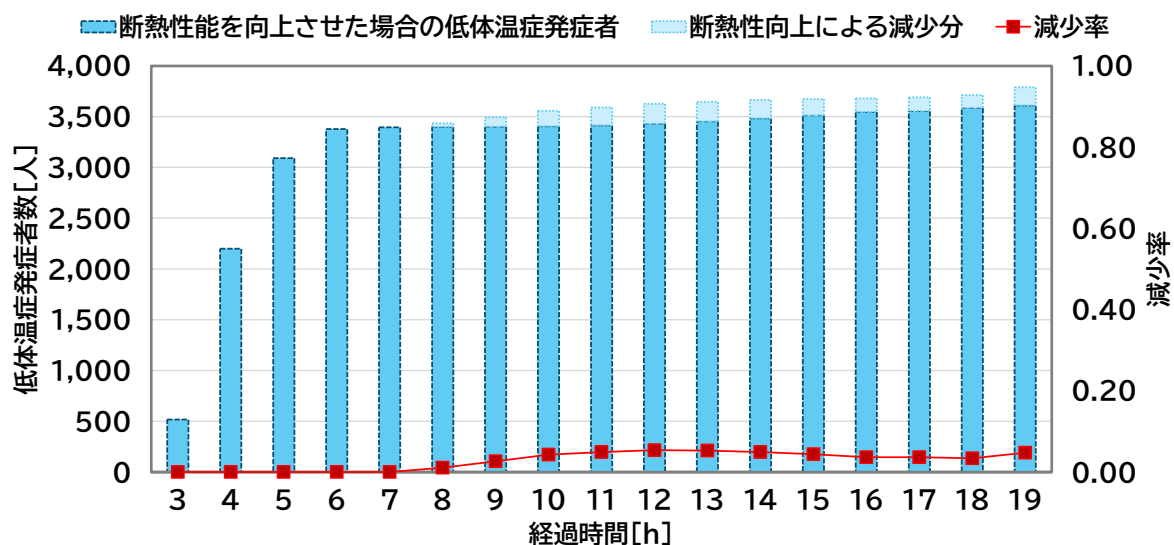


Fig. 6.23 断熱性能を向上させた場合の低体温症発症者（旭川商圏・富良野断層帯西部）

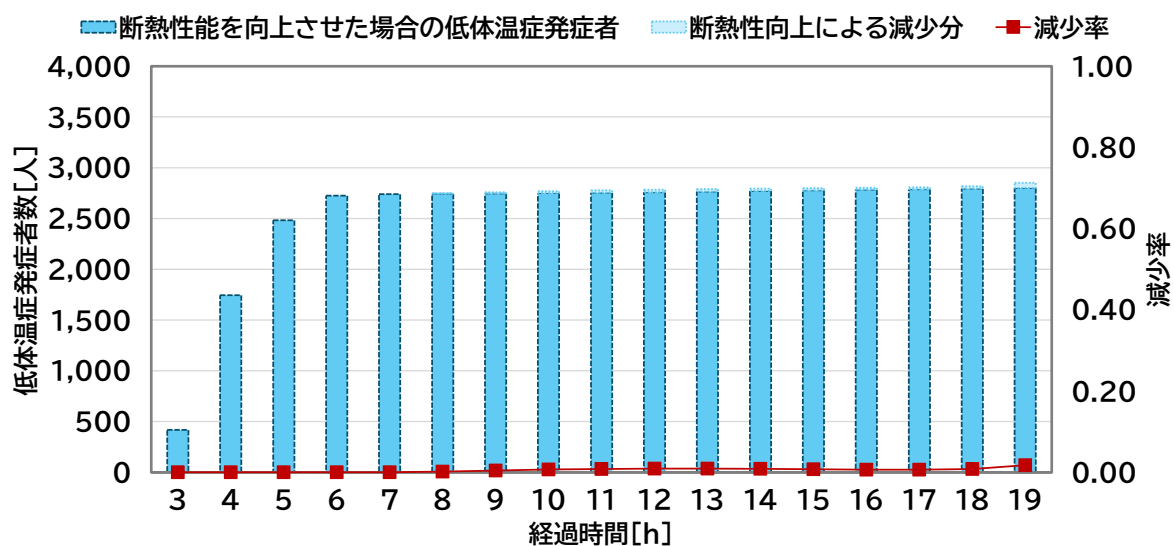


Fig. 6.24 断熱性能を向上させた場合の低体温症発症者（旭川商圏・富良野断層帯東部）

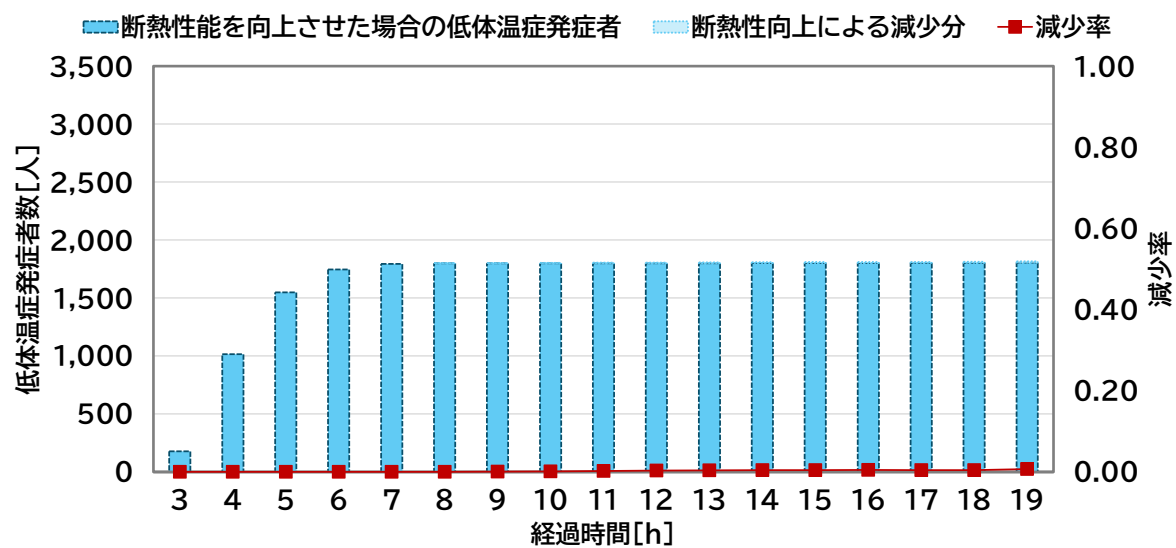


Fig. 6.25 断熱性能を向上させた場合の低体温症発症者（釧路商圏・根室沖）

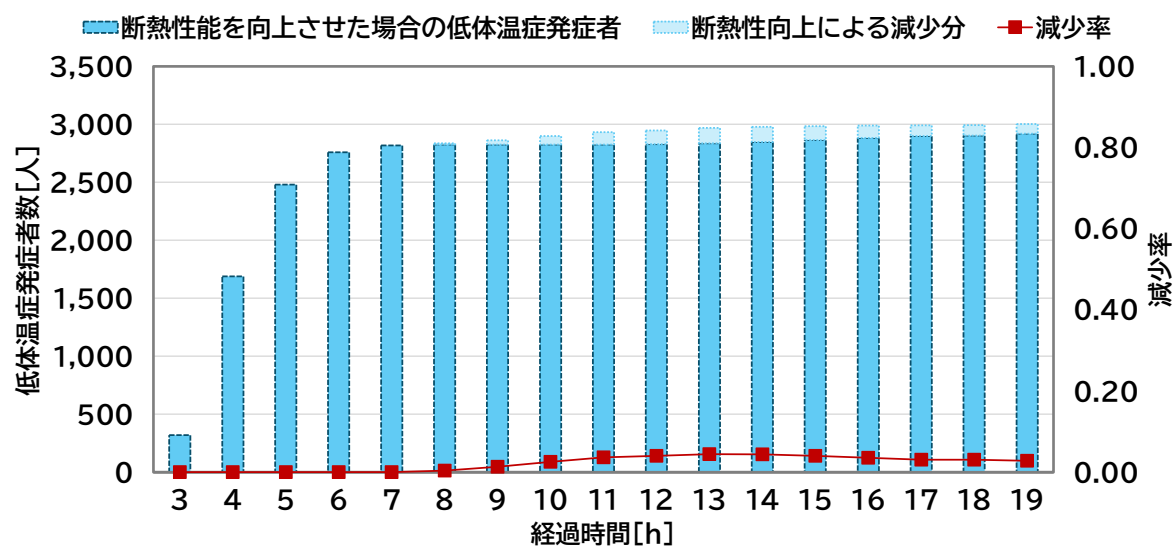


Fig. 6.26 断熱性能を向上させた場合の低体温症発症者（釧路商圏・十勝沖）

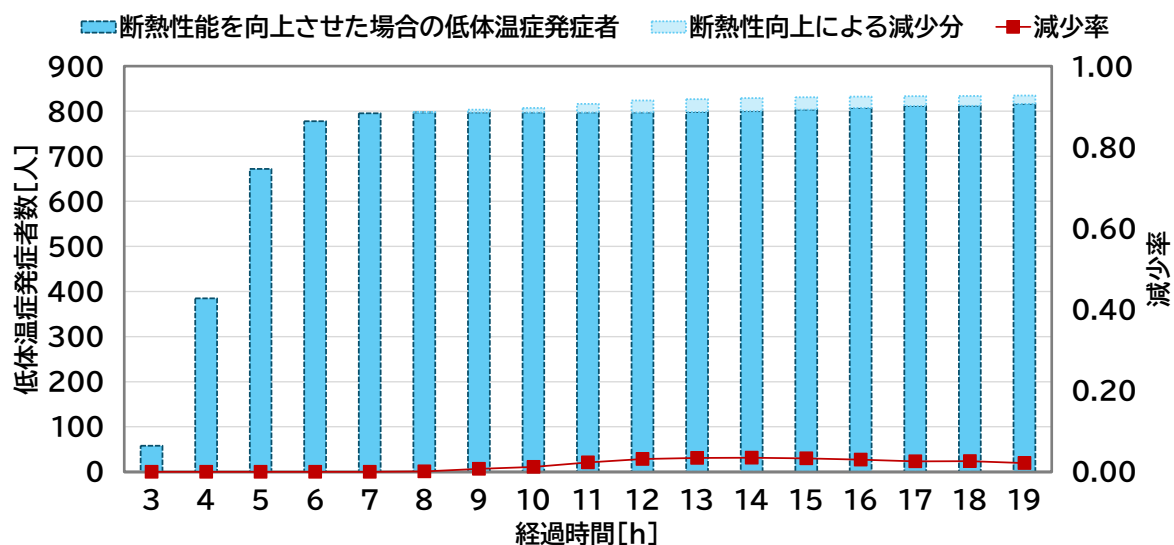


Fig. 6.27 断熱性能を向上させた場合の低体温症発症者（北見商圏・標津断層帯）

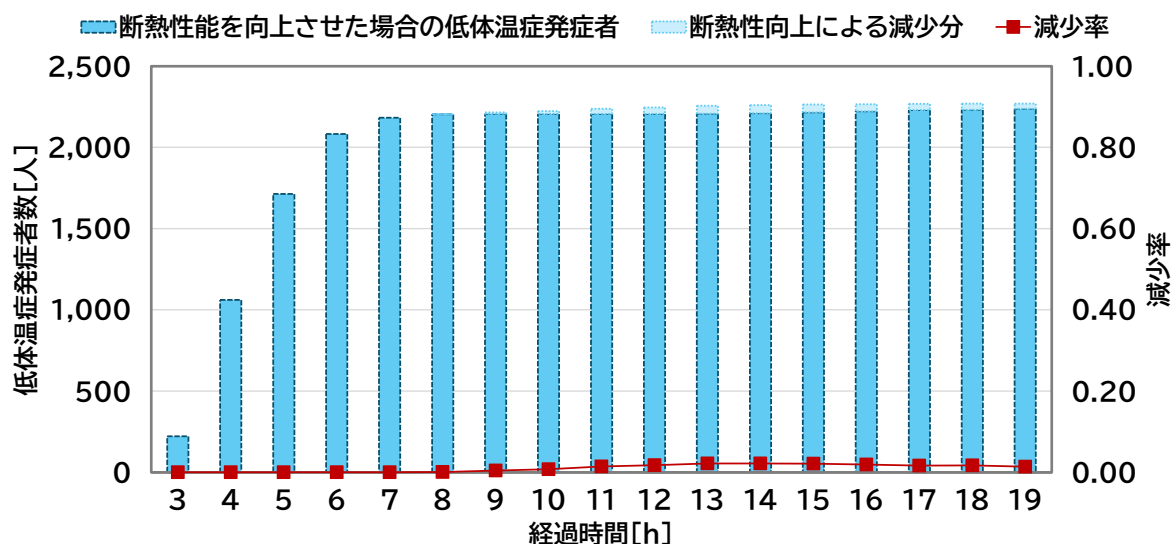


Fig. 6.28 断熱性能を向上させた場合の低体温症発症者
（胆振日高商圏・石狩低地東縁断層帯南部）

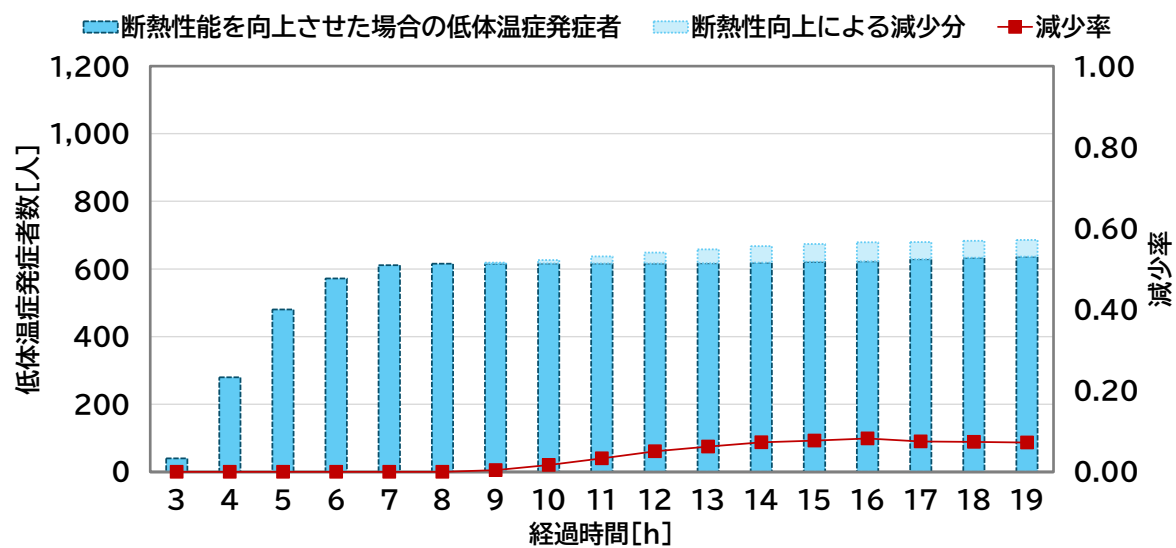


Fig. 6.29 断熱性能を向上させた場合の低体温症発症者（稚内商圏・サロベツ断層帯）

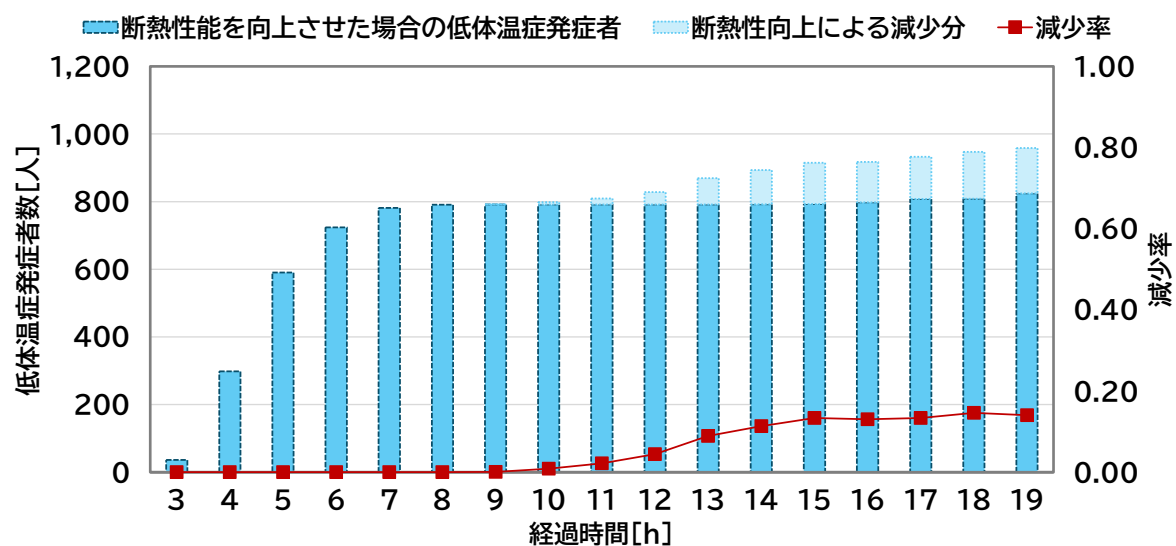


Fig. 6.30 断熱性能を向上させた場合の低体温症発症者（稚内商圏・北海道北西沖）

6.3. 屋外の津波避難場所における防寒

建物に閉じ込められなかった被災者においては、避難先での低体温症リスクを低減させる必要がある。ここでは、津波から避難した先での低体温症リスクを軽減させるため、防風対策として屋外の避難場所にプレハブ等を設置した場合の低体温症発症者数を推定した。

対象とするのは、式(6-3)を満足する避難者のうち、避難先が堅牢無壁舎の建物に避難した 4,972 人及び屋外に避難した 52,131 人である。吹き曝しの環境での待機を余儀なくされる堅牢無壁舎建物や屋外において、壁を設ける等、風雨を凌げる居室のようなものを設けた場合を想定した。

(再掲)

$$P_T = \sum (p - p_L - \sum_{l=9}^{75} p_{nLI} | t_{gs}, t_{gw} < 0) \quad (0 \leq P_T) \quad - (6-3)$$

p : メッシュ内人口

p_L : メッシュ内閉じ込め者数

p_{nLI} : 非閉じ込めかつ重傷以上により避難行動を行えない被災者

t_{gs} : 夏期の避難猶予時間

t_{gw} : 冬期の避難猶予時間

推定の結果、対象とした屋外避難者約 57,000 人については、発災後 12 時間後までは低体温症を発症しておらず、以降急激に低体温症発症者数が増加するものの、救助時間が確保できる等大幅に低体温症リスクを抑えられていることが分かった。

Table. 6.6 屋外の津波避難場所に防寒対策を施した際の低体温症発症者減少数[人]

経過時間 [h]	対策なし	避難場所 (堅牢無壁舎のみ) に防風・防寒対策	避難場所 (堅牢無壁舎・屋外) に防風・防寒対策
3	0	0	0
4	0	0	0
5	0	0	0
6	29	27	0
7	5,912	5,397	0
8	44,420	40,552	0
9	57,103	52,131	0
10	57,103	52,131	0
11	57,103	52,131	0
12	57,109	52,137	10
13	57,304	52,346	358
14	57,951	53,037	1,506
15	64,725	60,268	13,534
16	73,656	69,802	29,392
17	101,376	99,394	78,614
18	114,371	113,267	78,614
19	123,303	122,801	78,614

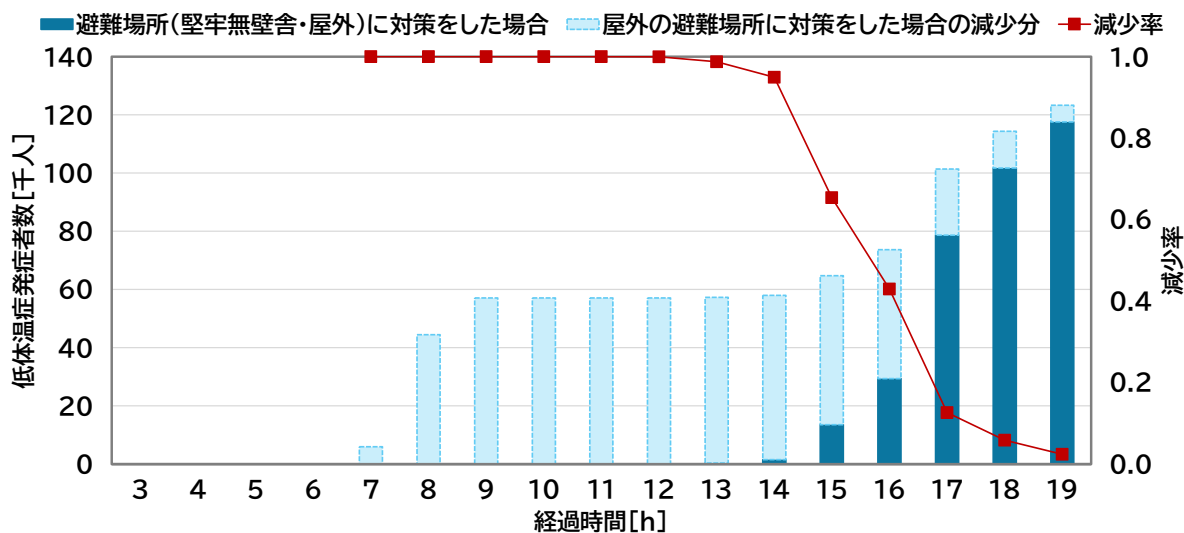


Fig. 6.31 屋外の津波避難場所に防寒対策を施した際の低体温症発症者

第 6 章 「低体温症発症者低減施策の検証」の参考文献

-
- 1 竹内慎一, 岡田成幸, 中嶋唯貴: 地域性及び時代性を考慮した木造建築物の地域地震被害率関数構築法の提案—北海道を例とした耐震評点分布を利用した方法—, 日本建築学会構造系論文集, 第 83 巻 753 号, 1549-1559, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.3130/aijs.83.1549>
 - 2 葉石猛夫, 末吉修三, 斎藤寿義: 木造試験住宅の温熱的性能第 2 報 暖房時における木造住宅と PC コンクリート造住宅の温熱的特徴, 林試研報, Bull. For. & For. Prod. Res. Inst., No.34 5,15-42, 1987.
 - 3 日本建築学会編: 日本建築学会設計計画パンフレット 2, 住宅の保温設計, 彰国社, p27, 1976

7. 結論

7.1. まとめ

本研究では、積雪寒冷地における、夏であれば助けられたはずの生命が厳冬期災害特有の事象により助からなくなる状況を打開すべく、低体温症発症者数の推定手法を開発し、開発手法を用いて北海道の 8 つの経済圏を対象とした被害想定を実施した。さらに、低体温症発症者の削減に資する施策として 3 つの施策について、効果検証を実施した。

以下に、これらの成果について整理した。

(1) 低体温症発症者数推定手法の構築

本研究の結果、地震による建物倒壊の影響で、建物内に閉じ込められた被災者や、屋外に避難したものの、暖をとることができない被災者について、その服装や活動状況に応じて、寒冷環境における限界曝露時間 DLE_F を評価することが可能となった。

限界曝露時間 DLE_F による低体温症発症者数推定手法を用いて、屋内外における限界曝露時間 DLE_F の評価とともに、外気温や積雪量等の季節性が限界曝露時間 DLE_F に与える影響についても検証を実施し、建物倒壊に伴う身体的閉じ込め者は、身体拘束により防寒策を講じることができないまま寒冷環境に曝されるため、低体温症発症リスクが高く、発災から12時間程度でその大多数が低体温症発症者となってしまうことが確認された。季節性に着目すると、1～2月の厳冬期においては、発災6時間後には、低体温症発症者数が増大する結果となった。さらに、春先（4月）や秋口（11月）は低体温症の発症まで7時間程度の猶予があるのに対して、1～2月は5時間後あたりから発症が確認される結果が示され、季節ごとに異なる低体温症対策の難しさが示唆された。

(2) 低体温症発症者数推定結果の考察

本論では、8 つに分けた経済圏に対して、北海道内 15 の想定地震のうち商圏に影響の大きな地震について低体温症リスクを踏まえた人的被害想定を実施した。

低体温症のリスクは、建物倒壊に伴う身体的・空間的閉じ込めにより大きく増大する。閉じ込め者については、夏期推定値に対する冬期推定値を確認すると、地域や対象地震動によって一定程度の差異は見られるものの、おおむね軽傷・中等傷で 2.7 倍、重傷で 2.9 倍、負傷なしで 1.1 倍ほど、冬期の方が閉じ込め者数が多くなる傾向が確認できた。

空間的閉じ込め者の低体温症リスクにおいては、建物内の残存空間を移動して、防寒具を着用、寝具等を被る等の防寒対策をとることが可能で、着衣による防寒が可能であることから、低体温症の発症リスクは低いと想定される。ただし、空間的閉じ込め者のうち、重症以上は身動きが取れないため、防寒対策を取ることが出来ないとし、建物内の残存空間の室温低下を考慮した低体温症発症リスクの評価を行った。

身体的閉じ込め者は 3 時間頃から低体温症リスクが生じる一方で、空間的閉じ込め者は建物被害が少ないため、屋内に入り込む外気が少なく、寒冷環境に曝される時間を遅らせることが可能となり、本論で取り扱った条件では、リスクの発生は 10 時間頃となることが確認できた。

建物倒壊による閉じ込め被害にあわなかった被災者のうち、津波により避難が必要な被災者は津波避難先において、寒冷環境に曝される可能性があるとして別途リスク評価を実施した。

(3) 低体温症発症者数低減に向けた施策効果検証結果の考察

減災施策のひとつとして、以下の3つの施策効果を検証した。

ひとつ目は、リスクの高い建物閉じ込め者や屋外避難者を減少させる方法として、家屋の目標耐震評点（最低耐震評点）を向上させた場合について検証、二つ目は、温熱環境の改善により低体温症発症までの猶予時間を長期化させる方法、最後に、津波避難時における屋外避難者を減少させる方法としては、避難ビルや避難場所にプレハブ等の簡易的な避難空間を設け、風を防ぐ方法である。

家屋の目標耐震評点（最低耐震評点）を向上させた場合の検証の結果として、耐震評点 0.5 以下の家屋を耐震評点 0.5 まで耐震改修した場合は、商圈や対象地震により差があるが、札幌商圈における月寒断層で 38%程度、釧路商圈における十勝沖地震で 42%程度の低体温症発症者数の軽減が確認された。これにより、低体温症発症者の低減には、住宅の耐震性能を向上させることで、建物の倒壊を防ぎ、身体的閉じ込め者を削減することが効果的であることが定量的に示された。

温熱環境の改善、つまり家屋の断熱性向上については、室温変動率を 2 分の 1 にした場合の低体温症発症者の減少数を検証した。耐震性能を向上させた場合と比較すると、外気が多量に流入する建物倒壊による低体温症発症者の発生が多い発災初期までは、低体温症発症者の減少はほとんど見られない。ただし、発災後 9 時間以降、すなわち対策をしていない場合に空間的閉じ込め者に低体温症のリスクが高まり始める頃には、断熱性能向上による低体温症発症者数が減少し始め、発災からおおよそ 12 時間後以降の低体温症発症者減少割合は平均で 4%程度となり、建物被害等が軽微で相対的に救助が後回しになってしまう空間的閉じ込め者の低体温症リスクの軽減に寄与することが分かった。

津波からの避難者が津波避難ビルや屋外の避難場所に避難した際は、寒冷環境下に長時間曝されることがネックとなる。そこで、津波避難ビルにプレハブ等の簡易的な避難空間を設け、風雨を防ぐことによる、低体温症発症者の減少数を検証した。対象としたのは、堅牢無壁舎の建物（津波避難ビル等）への避難者である。対象者については、対策を施さなかった場合は発災後 6 時間後から低体温症発症者数が激増したのに対して、対策を施した場合、発災後 12 時間後までは低体温症をほとんど発症せず、低体温症リスクを大幅に抑えられていることが分かった。

7.2. 今後の課題・展望

本研究は、これまで定量的に評価できなかった災害時の低体温症について、定量評価する初の手法を提案するものである。そのため、今後も精度の向上や適用範囲の拡大など、様々な課題があることを認識している。

以下に、本研究の発展に向け、今後の課題を整理した。

(1) 蓄積データの不足

気温と凍死までの猶予時間の相関を示すデータは、本研究で採用した内閣府のデータ以外に乏しいのが実情である。また、研究倫理の観点より、実験によるデータの取得は困難である。よって、今後の人的被害推定精度向上のため、本研究の成果として必要な項目を整理したうえで、今後の災害等における気温と凍死までの猶予時間の相関データの蓄積と活用が望まれる。

(2) 個人特性等を用いた高度化の難しさ

4章で個人特性について少々触れたものの、本研究では個人特性を評価式に組み込むまでは至っていない。しかし、解剖学や臨床検査等の医療的側面からは、個人特性が確かに確認されているのも事実である。こういった個人特性をより多く取り込むことでより高度な人的被害想定が可能となる。特に年齢による差異については、今回採用したデータが、内閣府の山岳遭難者における低体温・凍死データであり、老人や幼児は適用外のものとなっており、平均的な日本人の評価に留まっている。(1)に示した蓄積データ不足にも関連するが、データが補完された際に、乳児や年配者等にも適用範囲を拡大できるよう検討を行う必要がある。

しかし一方で、全国の自治体での被害想定においては、収集できる情報に時間的・倫理的制約があることや、内閣府中央防災会議の提示する被害想定との整合等についても検討する必要がある。そういった条件の中で、高度であるが必要な情報が得られない等の現象が発生してしまう可能性がある。そこで、被害想定的高度化と実用性の向上はある程度トレードオフの関係にあることを理解しつつ、その最適な落としどころを検討すべく、今後も想定手法の高度化を続けていく必要があると言える。

(3) 避難所・避難所外への避難者の取扱い

本研究では、津波による屋外避難者及び住宅における身体的閉じ込め者を対象とした低体温症発症者を評価した。しかし、避難所の環境が劣悪であり避難者が暖を取れない状況にある場合や、能登半島地震により散見された、農業用ビニールハウス等への避難者における低体温症については考慮されていない。孤立集落や避難所が何らかの理由で使えない等の状況が発生した際は、劣悪な環境での一時避難生活が余儀なくされる可能性がある。

こういった場面を想定し、農業用ビニールハウスや倉庫、車中等の環境や、それらを活用する可能性のあるエリア等についても事前に整理すればシナリオを前提とした一定程度の被害想定は可能となるだろう。自治体全域でなくとも、特異点的に評価を行う等、様々な活用の仕方を模索していくことも必要となると考える。

(4) 中等度低体温症の評価

本研究では、心肺停止となる重度低体温症を対象とした低体温症発症者数の推定を行った。一方で、中等度低体温症については、その判断に医療的な観点での見解が必要であるため、行動不能までの限界曝露時間を適用するだけでは、その評価が困難である。しかし、中等度以上の低体温症については基本的に医療的な緊急措置が必要であるため、今後、医療関係者の見解を踏まえて、中等度低体温症に適用範囲を拡大していく必要がある。

(5) 低減施策における断熱性能についての更なる検討

本研究における断熱性能向上による低体温症発症者数の低減効果検証では、室温変動率を用いることで室温低下を抑えることによる影響を検証するに留まっている。今後、断熱改修等を施策に落とし込むにあたり、熱損失係数や貫流率を用いた低減効果検証を検討する必要がある。

(6) 公的な屋内の避難所での低体温症についての検討

本研究では、低体温症による被害が最も多く発生する建物内閉じ込め者と津波による屋外避難者について言及し、それらに起因する低体温症発症者の推定・低減対策の効果検証を中心に検討を進めた。一方で、近年の地震災害等においては、屋内避難所においても低体温症の発症が確認されており、今後、本手法を基に、避難所の状況を考慮した低体温症についても評価可能な手法を検討していく必要がある。

(7) 厳冬期特有の条件設定

本研究で用いた積雪寒冷の条件は積雪荷重による耐震評点の変化と積雪や道路凍結による避難速度の減衰及び、低体温症にかかる点として気温、風速、着衣にとどまっている。しかし、負傷者の余命時間短縮、避難所における関連死、救助活動の遅れ等、厳冬期災害においては検討すべき項目は多数存在する。これらを多く取り入れ、より現実 に即した冬期の人的被害評価を可能にする必要がある。

厳冬期災害特有の事象について、これほどまでに検討・対策を要する地域は世界的に見ても少ない。本研究における低体温症発症者の提案関数及びその減災施策の効果検証が、北海道の災害に強い都市づくりに寄与することを願い、今後も引き続き、厳冬期災害をはじめとした地震・津波等の自然災害における減災に資する研究を続ける所存である。

謝辞

本論文は、北海道大学大学院工学院建築都市空間デザイン専攻博士後期課程に在籍した平成 31 年 10 月から令和 7 年 9 月にかけての研究成果をまとめたものです。本論文に関わる調査やデータ収集・解析および研究の遂行にあたり、ご指導ご鞭撻、また、ご支援ご協力いただきましたすべての皆様に深く感謝申し上げます。

本論文の主査をお引き受けいただいた北海道大学工学研究院 中嶋唯貴准教授には、研究・論文等全般にわたり、ご指導をいただき、深く感謝申し上げます。中嶋先生には私が学部生として研究室に配属された頃より、親身に相談に乗っていただき、要所で叱咤激励をいただきました。研究に限らず、コロナ禍における将来についての漠然とした不安や就職等、公私ともに様々なご助言をいただき、人生の師としてその背中を追いかけてきました。

北海道大学工学研究院 岡崎太一郎教授、菊地優特任教授、若林斉准教授には、ご多忙の折、本論文の副査をお引き受けいただき、研究内容・展開や論文の独自性、実務へのつながり等についてご指導、ご助言をいただき、厚く御礼を申し上げます。

また、学位授与審議委員として論文内容に関する貴重なご指摘やご意見をいただきました、下記先生方には深く感謝申し上げます。

建築計画学研究室 : 森 傑 教授
建築構造性能学研究室 : 濱 幸雄 教授
建築材料学研究室 : 北垣 亮馬 教授
都市地域デザイン学 : 瀬戸口 剛 教授
建築デザイン学研究室 : 小澤 丈夫 特任教授
建築環境学研究室 : 森 太郎 教授
都市防災学研究室 : 高井 伸雄 教授
構造制御学研究室 : 菊地 優 特任教授
建築設計学研究室 : 平野 陽子 教授
構造制御学研究室 : 白井 和貴 准教授
建築構造工学研究室 : 松井 良太 准教授

社会人博士課程に在籍した間は、株式会社エイト日本技術開発において実施した地震被害想定高度化に係る研究成果・知見を活用しています。所属する防災保全事業部防災計画分野及び E/J イノベーション技術センターの皆様にはご配慮いただきありがとうございました。特に、論文投稿にかかる時期は、幾度も繁忙期と重なり、業務面で大変ご配慮いただきました末富岩雄氏、三村昇氏、塚本博之氏、福岡淳也氏には厚く御礼申し上げます。また、本論文執筆終盤にかけて、激励をいただきました所属分野の皆様にも感謝申し上げます。皆様のご配慮ご協力なくして、本研究は成し得ませんでした。

また、学士・修士課程時代の恩師である岡田成幸名誉教授には、本研究におきましても、その深い知見と多角的な視点から様々なご指摘をいただき、研究を発展させる足掛かりをいただきました。防災に関する業務に従事している現在も、岡田先生、中嶋先生のもとで培った防災につい

での考え方の軸が、しっかりと根付いているのを感じております。今後とも、この軸をしっかりと持ちつつ、防災・減災に資する業務・研究に従事していきたいと存じます。

あらためまして、ここに記して謝意を表します。

2025 年 8 月 飯田 彬斗

