



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	潮間帯植物の耐凍性と冬期の生態（予報）
Author(s)	丹野, 皓三; TANN0, Kouzou; 和田, 実男 他
Citation	低温科学. 生物篇, 24, 15-23
Issue Date	1967-02-10
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/17709
Type	departmental bulletin paper
File Information	24_p15-23.pdf



潮間帯動物の耐凍性と冬期の生態 (予報)*

丹野 皓三・和田 実男

(低温科学研究所 生物学部門)

(昭和 41 年 11 月受理)

I. 緒 言

潮間帯動物の耐凍性に関して今までに二、三の報告があるが、あつかわれた種類数はほんの数種である。Sömme は最近潮間帯動物の耐凍性が季節的に変化する事を報告した¹⁾。このような現象に関しても現在までほとんど調べられていなかった。

著者等はまず潮間帯動物のどの様な種類がどの程度の凍結に耐えられるかを知る目的で行なった観察結果を本報にまとめてみた。

II. 材料と方法

材料： 第 1 表に示した北海道産の 48 種の潮間帯動物を実験材料に使った。これらの動物の採集日と産地は次のとおりである。1963 年 11 月 20 日——小樽近傍桃内, 1964 年 1 月 31 日及び同年の 2 月 11 日——桃内, 1965 年 10 月 27 日——忍路, 1966 年 8 月 29 日より 9 月 1 日まで——厚岸, 同年の 10 月 3 日から 6 日まで——忍路。

耐凍性の観察： 採集した動物をポリエチレンの袋又はペトリ皿に入れてアイス・ストッカー又は低温室内の恒温箱の空气中で凍結させた。凍結温度として -5 , -10 , -15 及び -20°C をえらんだ。動物を各温度で 24 時間凍結させてから室温の海水中で融解させた。融解後一個体として全く害をうけない最低の凍結温度をもってその動物の耐凍性とした。

冬期の野外生態観察： 1964 年の 1 月 31 日に桃内の海岸で潮間帯動物の生態を観察した。これらの動物の垂直並びに水平分布を調べるために、2 m 間隔で海から陸の方向へ 9 個のステーションをとった。各ステーションの面積は 2 m 平方となるように木枠で定め、このなかに入る動物を水面下と水面上に分けて種別に数えた。

III. 結 果

1. 耐 凍 性

北海道の海浜に普通に見い出される潮間帯動物の耐凍性を調べた。夏と冬の数回の調査結果をまとめて第 1 表に示した。シロガイとタマキビ類をのぞいて、ほとんどの種の耐凍性は季節的に変化する事はなかった。調べた 48 種の 71% にあたる 34 種は -5°C で 24 時間の凍結

* 北海道大学低温科学研究所業績第 819 号

第1表 北海道潮間帯動物の耐凍性

学名	和名	耐凍性*
Coelenterata		
<i>Tubularia venusta</i> Yamada	ヒメクダウミヒドラ	-5°C<
<i>Sertularella miurensis</i> Stechow	キイロウミシバ	-5°C<
<i>Anthopleura midori</i> Uchida et Muramatsu	モエギイソギンチャク	-10°C
<i>Anthopleura pacifica</i> Uchida	ヒオドシイソギンチャク	-10°C
<i>Actinia equina</i> (Linné)	ウナボシイソギンチャク	-10°C
Annelida		
<i>Nereis ezoensis</i> Izuka	エゾゴカイ	-5°C<
<i>Potamilla myriops</i> Marenzeller	エラコ	-5°C<
<i>Audouinia comosa</i> Marenzeller	ミヅヒキゴカイ	-5°C<
<i>Hydroides ezoenses</i> Okuda	エゾカサネカンザシ	-5°C<
<i>Physcosoma yezoense</i> Ikeda	エゾサメハダホムシ	-5°C<
Arthropoda		
<i>Chthamalus dalli</i> Pilsbry	イワフジツボ	-10°C
<i>Balanus cariosus</i> (Pallas)	チシマフジツボ	-10°C
<i>Idotea japonica</i> Richardson	イドテア	-5°C<
<i>Caprella</i> sp.	ワレカラの一種	-5°C<
<i>Orchestia platensis</i> Kröyer	ヒメハマトビムシ	-5°C<
<i>Pagurus samuellis</i> (Stimpson)	ホンヤドカリ	-5°C<
<i>Telmessus cheiragonus</i> (Tilesius)	クリガニ	-5°C<
<i>Hemigrapsus pencillatus</i> (de Haan)	ケフサイソガニ	-5°C<
<i>Gaeticus depressus</i> (de Haan)	ヒライソガニ	-5°C<
Mollusca		
<i>Acanthochiton rubrolineatus</i> (Lischke)	ヒメケハダヒザラガイ	-5°C<
<i>Lepidozona albrechti</i> (Schrenck)	エゾヤスリヒザラガイ	-5°C<
<i>Arca boucardi</i> Jousseaume	コペルトフネガイ	-5°C
<i>Mytilus grayanus</i> Dunker	エゾイガイ	-10°C
<i>Pecten yessoensis</i> Jay	ホタテガイ	-5°C<
<i>Ostrea gigas</i> Thunberg	マガキ	-10°C
<i>Anomia lischkei</i> Dautzenberg et Fischer	ナミマガシワ	-5°C
<i>Clinocardium californiense</i> (Deshayes)	エゾイシカゲガイ	-5°C<
<i>Entodesma maviculoides</i> (Yokoyama)	オオウキフネ	-5°C<
<i>Haliotis discus hannai</i> INO	エゾアワビ	-5°C<
<i>Collisella pelta</i> (Eschscholtz)	シロガイ	-5°C~-10°C**
<i>Cellana toreuma</i> (Reeve)	ヨメガカサ	-5°C<
<i>Monodonta labio</i> (Linné)	インダタミ	-5°C
<i>Calorostoma argyrostoma lischkei</i> (Tapparone-Canefri)	クボガイ	-5°C<
<i>Omphalius rustica</i> (Gmelin)	コンダカガンガラ	-5°C<
<i>Littorina squalida</i> Broderip & Sowerby	エゾタマキビ	-10°C

学名	和名	耐凍性*
<i>Littorina atkana</i> Dall	クロタマキビ	-10°C
<i>Serpulorbis imbricatus</i> (Dunker)	オオヘビガイ	-5°C
<i>Fusitriton oregonensis</i> (Redfield)	アヤボラ	-5°C<
<i>Buccinum schantaricum</i> (Middendorff)	エゾバイ	-5°C<
<i>Aplysia kurodai</i> (Baba)	アメフラシ	-5°C<
Echinodermata		
<i>Asterina pectinifera</i> (Müller & Troschel)	イトマキヒトデ	-5°C<
<i>Aphelasterias japonica</i> (Bell)	エゾヒトデ	-5°C<
<i>Strongylocentrotus nudus</i> (Agassiz)	キタムラサキウニ	-5°C<
<i>Strongylocentrotus intermedius</i> (Agassiz)	エゾバフンウニ	-5°C<
<i>Stylochopus japonicus</i> Selenka	ナマコ	-5°C<
<i>Cucumaria japonica</i> Semper	キノコ	-5°C<
<i>Cucumaria chronhjelmii</i> Théel	イシコ	-5°C<
Protochordata		
<i>Halocynthia hilgendorfi</i> f. <i>ritteri</i> (Oka)	リッテルボヤ	-5°C<

* 24時間の凍結に一個体として完全に耐えられる最低の温度

** シロガイの耐凍性は第2表に示したように季節的に変化する。夏期には-5°Cの凍結には耐えられるが、-10°Cの凍結では凍害を受ける。冬期には-10°Cの凍結に耐えられる。シロガイとタマキビ類以外のものの耐凍性は季節的にほとんど変化しない

に耐えられなかった。-5°Cの凍結に耐えられて-10°Cの凍結には耐えられないものは4種であった。-10°Cで24時間の凍結に耐えられるものは全体の21%にあたる10種であった。-15°C以下の温度で24時間凍結した場合に融解後に於いて個体として生存出来るものはひとつもなかった。しかし個体として生存出来なくても一部分の組織が-15°C以下の温度で生存していた場合はかなりあった。例えば-20°Cで凍結し融解したマガキでは、その閉殻筋は弛緩し、殻は開いたままになり心臓は止まったままであるが、一方鰓の上皮細胞は活潑に纖毛運動をして生存していた。

タマキビ類とシロガイに於いて、わずかであるが耐凍性の季節的変化がみられた。第2表に示したように、夏期のタマキビ類は-10°Cで24時間の凍結に耐えて融解後まったく正常に生存出来るが、-15°Cでの凍結にはまったく耐えられなかった。一方冬期には-15°Cの凍結

第2表 潮間帯動物の耐凍性の季節的変化

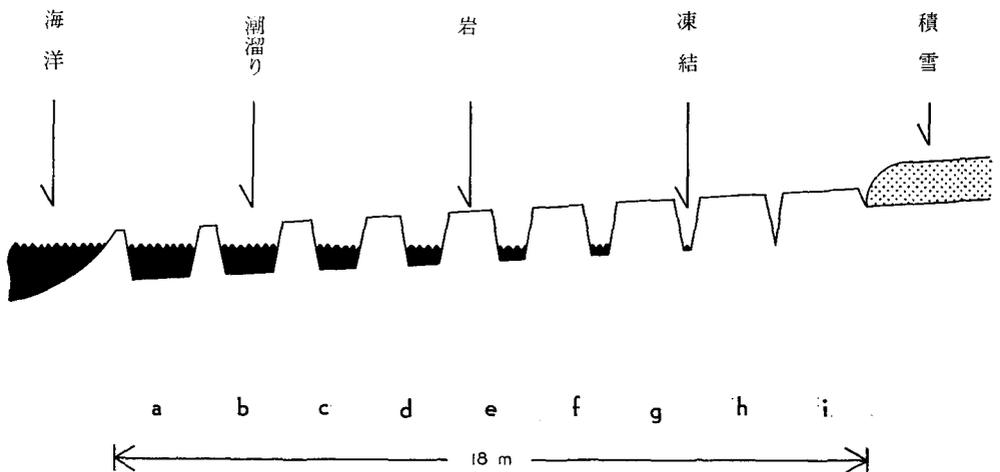
凍結温度 (24時間)	夏期 1966年8月30日 (厚岸)						冬期 1964年1月31日 (桃内)					
	-10°C			-15°C			-10°C			-15°C		
	生	存	死亡	生	存	死亡	生	存	死亡	生	存	死亡
エゾタマキビ	100	0	0	0	0	100	100	0	0	0	30	70
クロタマキビ	100	0	0	0	0	100	100	0	0	0	30	70
シロガイ	0	100	0	0	0	100	100	0	0	0	0	100

によって凍害を受けながら融解後1日間であるが生存出来る個体が30%あった。この凍害を受けて生存している個体は蓋を半開きにしており、針で腹足の一部を刺激すると殻の中に入りこもうとする運動がかすかに認められた。冬期のシロガイは -10°C で24時間の凍結に完全に耐えたが、夏期のもは -10°C の凍結によりすべて凍害を受けた。融解後このシロガイは外套膜を極端に収縮させており、ピンセットの先端で刺激するとわずかに触手を動かす程度で状態で1日間生存した。 -5°C の凍結に対しては夏期のシロガイも完全に耐えた。

次にそれぞれの種の耐凍性の限界を越えてそれ以下の温度で各個体を凍結した場合について融解後の観察結果を述べる。まず二枚貝はさきにマガキについて述べた例とまったく同じであった。融解後に切り取った鰓組織は未凍結の対照に比べて非常に崩壊し易く、切り出すとすぐに繊毛を持った上皮細胞が組織からはなれてバラバラに海水中に遊泳し四散した。ナマコやイソギンチャク類は融解後数分にして個体の上皮から崩壊し始め、数時間後には海水を満したペトリ皿の底に1個の粘張な固まりとなって沈着した。 -5°C で24時間凍結したヒメクダウミヒドラを融解後数分たってから海水中で軽く揺ると、そのポリプの部分が共肉部から簡単にはずれた。ウニ類及びヒトデ類では、融解後数分たつとその管足が脱落した。これらの観察事実は細胞間質の凍結による崩壊という共通な現象としてとらえられる。

2. 冬期の野外生態観察

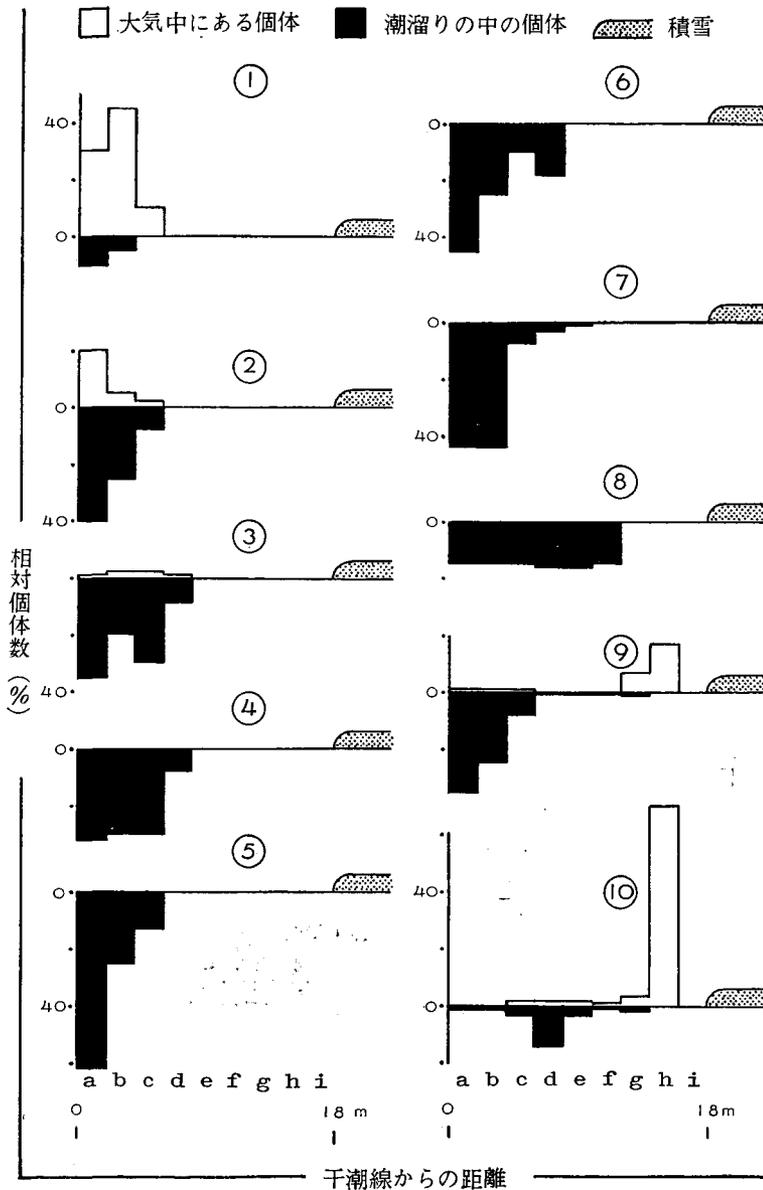
寒さのきびしい1964年の1月31日北海道の日本海側に位置する桃内の海岸で潮間帯動物の生態を観察した。この海岸は岩浜であって、海岸線に直角な垂直断面を模式的に示した図が第1図である。当日の干潮と満潮の時刻及び標準海面からの潮汐差はそれぞれ干潮は11時29分、 -8 cm 、23時41分、 -5 cm 、満潮は4時15分、 15 cm 、18時38分、 12 cm であった。図は干潮時の午前11時頃の状況である。積雪の位置は満潮時にここまで海水が押し寄せることを示している。岩浜にはたくさんの潮溜りがあった。海洋に近いaからdまでの潮溜りは互



第1図 潮間帯動物を観察した岩浜の環境模式図

1964年1月31日、北海道桃内にて

いに部分的に連絡して海洋に続いていたが、e から g までの潮溜りはそれぞれ孤立していた。また陸地に近い潮溜りほど小さくそして浅くなっており、従って潮溜りの海水温度も低くなっていた。海洋の水温は 2.0°C であったが、g の潮溜りの水温は -2°C であり氷が浮いていた。気温は -8°C であった。この様な状況のもとで潮間帯動物がどのように分布していたかを第 2 図



第 2 図 冬期の潮間帯動物の分布 (1964 年 1 月 31 日, 北海道桃内にて)

- | | | | |
|------------|-------------|-----------|-----------|
| 1. イワクジツボ | 2. エゾイガイ | 3. シロガイ | 4. ヨメガカサ |
| 5. イトマキヒトデ | 6. コシダカガンガラ | 7. ホンヤドカリ | 8. ヒライソガニ |
| 9. クロタマキビ | 10. エゾタマキビ | | |

に示した。

観察したイワフジツボの85%の個体は海洋に近い岩の上に分布しており凍結していた。エゾイガイとシロガイはイワフジツボが着いている岩のすこし低い場所に着いていた。大気中で凍結していた個体はエゾイガイでは27%、シロガイでは6%であった。これらの凍結していた個体を実験室に持ち帰って融解してみたところ、3種類のすべての個体が生存していた。この結果はこれら3種の動物の耐凍性が高い事実と一致している。シロガイに比較的近い種類であるヨメガカサはシロガイと同様にaからdまでの潮溜りに分布していたが、岩の上ののぼって大気中で凍結している個体はひとつもなかった。ヨメガカサが -5°C の凍結にも耐えられない事実から考えると当然の分布であろう。ヨメガカサの大部分の個体は潮溜りの水面すれすれに岩のまわりをかなりの移動速度ではいまわっていた。 -5°C の凍結に耐えられない種類であるイトマキヒトデ、コンダカガンガラ、ホンヤドカリ及びヒライソガニはすべての個体が潮溜りの中に分布していて、岩の上で凍結しているものはなかった。冷たい潮溜りの中でこれらの動物は夏期のものとそう変わらず非常に活発に活動していた。イトマキヒトデは海洋に近い潮溜りの中で自身の胃を体外に出してコンダカガンガラ等をその胃で包んで捕食していた。ホンヤドカリは非常に敏感であり、人影を見ると殻の中に急に身を隠し水中の岩の上をころがり落ちて逃げた。特にヒライソガニは移動速度が大きかった。ヒライソガニはそのために潮汐に合わせてすばやく移動する事が出来、従ってかなり陸に近い潮溜りにまでも分布していられるのであろう。タマキビ類は非常に興味ある分布を示している。エゾタマキビの70%の個体は

第3表 潮間帯動物の耐凍性と冬期垂直分布

垂直分布	固着生活を営む動物	可動性の動物	耐凍性
干潮線よりかなり上まで分布する。(長時間凍結する可能性がある。)	イワフジツボ, チシマフジツボ, エゾイガイ, マガキ	シロガイ, エゾタマキビ, クロタマキビ	-10°C
干潮線よりわずか上まで分布する。(比較的短時間であるが、凍結する可能性がある。)	モエギイソギンチャク*, ヒオドシイソギンチャク*, ウメボシイソギンチャク*, コペルトフネガイ, ナミマガシワ, オオヘビガイ	イシダタミ	$-5 \sim -10^{\circ}\text{C}^*$
干潮線以下又は潮溜りに分布する。(凍結する可能性はほとんどない)	ヒメクダウミヒドラ, キイロウミシバ, エラコ, ミヅヒキゴガイ, エゾカサネカンザン, リッテルボヤ	エゾゴカイ, エゾサメハダホシムシ, イドテア, ワレカラ一種, ヒメハマトビムシ, ホンヤドカリ, クリガニ, ケフサイソガニ, ヒライソガニ, ヒメケハダヒザラガイ, エゾヤスリヒザラガイ, ホタテガイ, エゾイシカゲガイ, オオウキフネ, エゾアワビ, ヨメガカサ, クボガイ, コンダカガンガラ, アヤボラ, エゾバイ, アメフラシ, イトマキヒトデ, エゾヒトデ, キタムラサキウニ, エゾバフンウニ, ナマコ, キンコ, イシコ	$-5^{\circ}\text{C} <$

* イソギンチャク類は -10°C の凍結に耐えられる

満潮時にしか海水が来ない陸に近い岩のくぼみに集まって凍結していた。これらの個体は海水中に入れるとまもなく動き出し、すべて生存していた。タマキビ類は -10°C の凍結に24時間耐えられる事実からして、この様な分布はもちろん可能である。

以上に述べた生態観察と耐凍性との関係をまとめて第3表に示した。動物の垂直分布と耐凍性の間には密接な関係が認められた。干潮線よりかなり上まで分布する種類は -10°C の耐凍性を示した。干潮線よりわずかに上まで分布している種類の耐凍性はイソギンチャク類をのぞいて -5°C であった。イソギンチャク類の耐凍性は -10°C であった。 -5°C の凍結に耐えられない種類はすべて干潮線下又は潮溜りの中に分布していた。

IV. 考 察

昆虫の一個体としての耐凍性について今までに多くの研究がなされた。そして、 -196°C での凍結にも耐えられる様な非常に耐凍性の高い昆虫がいくつか発見された²⁾。いっぽう本報で明らかにしたように、潮間帯動物は昆虫に比べて非常に凍結に対して弱く、最も強いものでも -10°C で24時間の凍結に耐えられる程度であった。Sömme はノルウェーのオスロフィヨルドで真冬に採集したタマキビガイ科の *Littorina rudus* Jeffreys と *L. littorea* (L.) 及びフジツボ科の *Balanus balanoides* (L.) が -10°C の凍結には耐えるが -20°C の凍結には耐えられない事実を報告しており¹⁾、本報中の近縁種での結果と良く一致している。一方 Kanwischer は同じ種である *L. littorea* (L.) が -22°C で数日間の凍結に耐えられる事を報告しており³⁾、Sömme の結果と矛盾している。イガイ、*Mytilus edulis* は -10°C の凍結に耐えるがハマグリ類の *Venus mercenaria* は -6°C の凍結に耐えない事を Williams が報告しており³⁾、本報の近縁種での結果と一致している。

潮間帯動物の耐凍性に季節的変化が存在する事実を本報で用いた48種のうち3種に認めた。一方 Sömme は凍結時間で比較した場合の耐凍性に季節的変化が存在する事を前述の3種で明らかにした¹⁾。彼によれば、 -10°C で凍結した場合に冬期の個体は比較的長期間の凍結に耐えるが、夏期の個体は一、二日の凍結にしか耐えられない。この様に或る種の潮間帯動物は季節的に耐凍性の変化を示すが、昆虫に於いて見られるような大きな変化ではない。多くの潮間帯動物では耐凍性の季節的変化はほとんどなさそうである。多くの昆虫では耐凍性が季節的に変化する時に変態やグリセリン含量等の著しい変化が体内で起こるが潮間帯動物ではその様な事はなさそうである。この事が潮間帯動物の耐凍性の季節的変化が昆虫ほどに激しくはない理由のひとつとなりうるであろう。もっとも細胞レベルでは、ウニ卵の様に受精と云う非常に激しい変化に伴って耐凍性が急激に高まる事実が報告されている⁵⁾。

マガキ等二枚貝を致死的温度で凍結した場合に融解後、鰓の上皮細胞は生存しているが鰓の組織からはなれて四散する事実は細胞間質が凍結により崩壊する事を物語っている。一個体としての耐凍性を研究する場合特にナマコやイソギンチャク類の様に体のほとんどの部分が細胞間質で出来ているものでは細胞間質の問題が重要な条件のひとつとなるだろう。

次に冬の野外観察の結果について考察した。潮間帯動物の体液の氷点は海水とほとんど同

じ程度であり又低温度に体がさらされるとほとんど過冷却することなく凍結する⁶⁾。従って北海道の冬の海浜で大気中に露出した岩の上に分布している生物はしばしば凍結するに違いない。生物の着いている岩が干潮のために低温度の大気中に露出して生物体の凍結が始まっても岩がぬれているため又岩の熱容量が大きいために、生物体の温度は気温ほどには下らないであろう。又潮干帯動物が凍結してもやがて潮が満ちて来るから大潮の時でも24時間以上凍結する事はありえない。この様に自然状態では潮間帯動物が非常に低い温度で長時間にわたり凍結する可能性はほとんどないと思われる。北海道の海浜で真冬に -20°C 前後の気温が数日間続く場合があるが、上に述べた理由のためにある程度耐凍性のある潮間帯動物は凍結しても生存出来るのであろう。

摘 要

北海道の海浜に普通に見い出される潮間帯動物の耐凍性を調べた。調べた48種の71%にあたる34種は -5°C で24時間の凍結に耐えられなかった。これらの種はすべて干潮線下又は潮溜りの中に分布しており、冬期の干潮時に自然状態で凍結することはなかった。 -5°C の凍結に耐えられて -10°C の凍結に耐えられないものは4種であった。これらの種は干潮線よりわずか上まで分布しており、冬期には短時間であるが干潮時には大気中にさらされて凍結する可能性があった。 -10°C で24時間の凍結に耐えられるものは10種であった。これらの種の多くは干潮線よりかなり上まで分布しており、冬期には比較的長時間干潮時に大気中にさらされて凍結していた。 -15°C 以下の温度で24時間凍結した場合に融解後一個体として生存出来るものはひとつもなかった。

タマキビ類とシロガイに於いてわずかであるが耐凍性の季節的变化が認められた。冬期の個体の方が夏期のものより低い温度での凍結に耐えられた。他の45種には耐凍性の季節的变化はほとんど認められなかった。

ナマコやイソギンチャク類の様に細胞間質の多いものをその種の耐凍性の限界を越えてそれ以下の温度で凍結させた場合に、融解させてから数分後、細胞間質が崩壊し始め、正常な個体の原形を失なった。この現象は生物1個体としての凍害の原因として重要である。

実験動物を採集する折、便宜をはかって下さった北海道大学理学部附属厚岸臨海実験所の狩野教授並びに職員の皆様、水産学部附属忍路臨海実験所の職員の皆様に厚く御礼申し上げます。終りに御校閣くださった本研究所の朝比奈教授に感謝します。

文 献

- 1) Sömme, L. 1966 Seasonal changes in the freezing-tolerance of some intertidal animals. *Nytt Magasin for Zoologi*, **13**, 52-55.
- 2) Asahina, É. 1966 Freezing and frost resistance in insect. In *Cryobiology* (H. T. Meryman, ed.), Academic Press, London, 451-486.
- 3) Kanwischer, J. W. 1955 Freezing in intertidal animals. *Biol. Bull.*, **109**, 56-63.
- 4) Williams, R. J. 1966 Studies on the resistance of intertidal mollusks. *Cryobiology*, **2**, 299-300.

- 5) Asahina, E. and Tanno, K. 1963 A remarkably rapid increase of frost resistance in fertilized egg cells of the sea urchin. *Exptl. Cell Res.*, **31**, 223-225.
- 6) Scholander, P. F., Kanwischer, J. W., Hammel, H. T. and Gordon, M. S. 1957 Supercooling and osmoregulation in arctic fish. *J. Cell. Comp. Physiol.*, **49**, 5-24.

Summary

Frost resistance was examined in a variety of intertidal animals commonly found on seacoast of Hokkaido.

1. Of 48 species studied, 34 species could not survive freezing at -5°C for one day. Since these tender animals invariably are inhabitants below tide level or in tide pools, they are never subjected to freezing under natural winter conditions.

2. 4 species were found to survive freezing at -5°C , but not at -10°C . These are distributed from below to slightly above low water level, and thus sometimes suffer body freezing in their habitats at least for a short time.

3. 10 species could tolerate freezing at -10°C for one day without injury. Most of these are found in intertidal zone. They were frequently observed to freeze for relatively long periods in winter seashore.

4. None of the intertidal animals studied could survive freezing at -15°C for one day.

5. None of the animals examined showed seasonal variations in freezing tolerance except a periwinkle, *Littorina squalida* and a limpet, *Collisella pelta* both of which were more resistant in winter to low temperatures than in summer.

6. In sea cucumbers or sea anemones, freezing below tolerable temperatures resulted in an entire body collapse following thawing, due to the damage in intercellular cementing substances. This may be a chief cause of freezing injuries in various intact whole animals.

低温科学生物篇第 24 輯訂正

頁	行	誤	正
12	上から 13	あたため時	あたためる時
13	上から 15	partial	slight
13	上から 17	partially	slightly
17	上から 4	したし	しかし
30	下から 18	耐えられるが	耐えられるのが
32	上から 15	高分子分質	高分子物質

付 録

v	積雪分科会の著者	Dumani	Doumani
vii	氷分科会-1 の座長	Bonson	Benson
ix	氷分科会の座長	L. Levi	C. S. Benson
xi	名簿, 8 人目	*●新井	●新井
xiii	同, 下から 6 人目	●石原	石原
xiv	同, 11 人目	●小泉	小泉
xviii	下から 9 行目	Hanovr	Hanover
viii	上から 2 行目	Luyet, B. J. の講演は前頁, 氷分科会-2 の同氏の講演に引続き行なわれた。	