HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	積雪寒冷地における積雪期の不圧地下水位の変動について
Author(s)	深見, 浩司
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 75, 15-24
Issue Date	2012-03-19
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.75.15
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/49052
Type	departmental bulletin paper
File Information	75-P15-24.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北海道大学地球物理学研究報告
Geophysical Bulletin of Hokkaido University, Sapporo, Japan
No. 75, March 2012, pp. 15－24

積雪寒冷地における積雪期の不圧地下水位の変動について

深見　浩司
北海道立総合研究機構地質研究所

（2011 年 12 月 27 日受理）

On the Fluctuation of Unconfined Groundwater Level for Snow Period in Snowy Cold Region

Hiroshi FUKAMI
Geological Survey of Hokkaido, Hokkaido Research Organization

（Received December 27, 2011）

The fluctuation of unconfined groundwater level for the snow period was examined, using past 30-years data of groundwater level observatory and neighboring meteorological observatory (AMEDAS observatory) in Ishikari Gulf area that was snowy cold region. The relationship between the accumulated precipitation (maximum water equivalent of snow) from the data of the AMEDAS observatory (ΣP) and the increase of unconfined groundwater level in snow melt season (ΔH) was considerably good. The successive tendency like as decreasing the accumulated precipitation for snow period do not seem to be admitted in the past 30-years.

Ⅰ．は　じ　め　に

北海道立総合研究機構地質研究所では，札幌市北部～石狩湾岸にかけて地下水位・地盤沈下の観測所を設置し，長年にわたる観測を継続して，データを公表してきた．その観測結果は，地下水の利用や保全，あるいは，地盤沈下の対策などに幅広く活用されるとともに，様々な解析も行われてきた．

地下水位の解析は，それまでの観測データの蓄積に応じて行われてきている．1971 年以降各地に設置した地下水位・地盤沈下観測所の調査結果をもとに，松下（1977）は，被圧地下水位の変動に及ぼす様々な要因も検討している．その中で，石狩湾岸地域の 100 m 以浅の被圧帯水層の地下水位が札幌扇状地の地下水位変動の影響を受けている可能性について言及した．また，この地域の主要帯水層である 100 m 以深の被圧帯水層の地下水位の変動（水位低下）の要因について，松下ほか（1985）が，地下水涵養に影響する周辺地域の水田減反率と比較・検討した．それを引

き継ぐ形で，泥炭の広域沈下に関する研究委員会（2002）では，地下水揚水と関連する地域の工業製品出荷額との関連を加えて，同帯水層の変動要因を再検討している．最近では，深見・髙清水（2008）が，帯水層別に長期にわたる地下水位の変動状況を取りまとめている．

地下水位変動に関する解析とは異なるが，本地域では観測井を用いた新たな調査・研究も1990 年代から進められている．それは，地下水の揚水がほとんどない観測井では，地下の温度場がほとんど乱れていないという特質を利用したものである．観測井の地下水温の垂直分布の測定を繰り返すことにより，地下水の流動状況を検討したり，都市化や地球温暖化による気温上昇の影響を地下水温分布の変化から把握できないかといった試みがなされている（例えばDim et. al.，2002；深見ほか，2008）．

以上のような解析や研究は，主として，被圧地下水の観測井を対象としたものであるが，かつて，成瀬・深見（1982）は，積雪調査との関連で，融雪期の不圧地下水位の上昇について考察している．それによれば，融雪期の不圧地下水位の上昇は積雪水量と関係し，積雪寒冷地では，地下水の重要な涵養源であることが示された．しかし，当時はまだデータの蓄積が少ないこともあって，詳細な解析までは実施できなかった．北海道の日本海側など積雪寒冷地では，融雪水が地下水の涵養源として重要なことは論をまたない．にもかかわらず，積雪期の不圧地下水位の変動については，地すべり等の災害調査との関連で報告されることは多いが，平坦な低地における解析事例は，その後，あまり見受けられないようである．

地球温暖化に伴い，積雪寒冷地においては，降雪が降雨に変われば，当然，地下水への涵養に及ぼす影響も変化する．これらのことも考慮すれば，積雪期間中の不圧地下水位変動の現状をまとめておくことも必要であろう．幸い，札幌市北部～石狩湾岸地域では地下水位や地盤沈下の観測が継続され，長年にわたるデータが蓄積されてきた．そこで，あらためて，積雪期間中の不圧地下水位変動について取り上げ，若干の考察を加えて報告することにした．

Ⅱ．観測地点の概要

今回，解析を行った観測地点は，札幌市の北方の石狩湾岸地域に位置する（Fig. 1）．積雪深を観測している地域気象観測所（アメダス観測所）の関係から，不圧地下水の水位変動については，花畔（ばんなぐろ）観測所の不圧地下水位観測井（以下，花畔 B 井と呼ぶ）を使用した（Fig. 1, BAN）．花畔 B 井の深度は 12 m，開口(孔)部（スクリーン，ストレーナともいう）の深度は 9 ～ 11 m である．観測は 1981年から開始され，これまで 30 年の記録がある．

観測所付近は，標高 5 m 前後のほぼ平坦な海岸低地（浜堤列）で，表層は縄文海進以降に堆積した海成砂からなり，深度約 15 m まではほぼ同質の砂層が続く．この砂層の下には粘土・シルト層が低地下に広く分布して，下位の被圧帯水層と区分される．砂層は，現海岸線とほぼ平行するように約 5 km 内陸まで分布し，不圧帯水層を形成する．しかし，溶存鉄の濃度が高い水質であることから，ほとんど利用されていない．そして，降水に涵養された地下水は，周辺の水路等

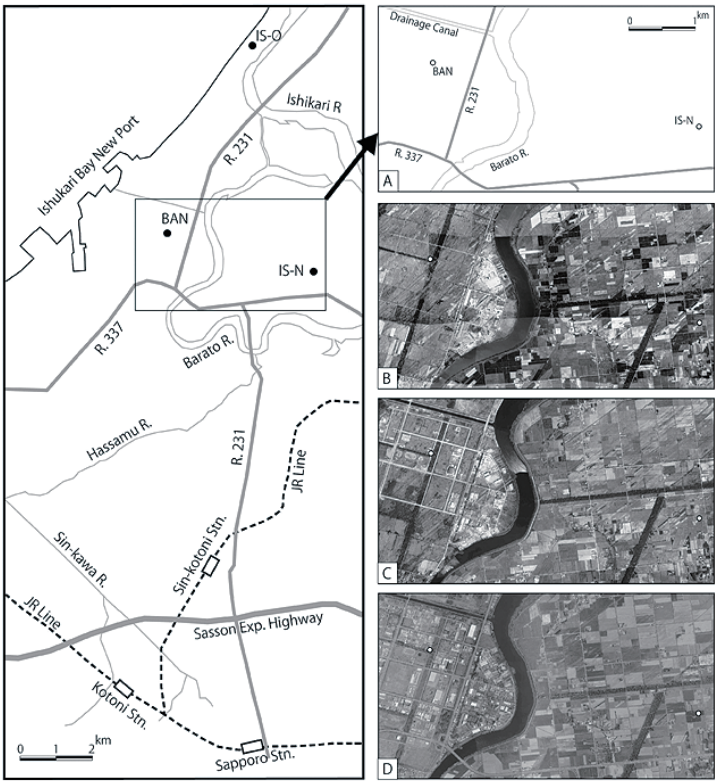

Fig. 1. Location map of observatory. BAN: Ban-naguro groundwater level observatory, IS-N:Ishikari meteorological observatory (after 1990), and IS-O: Ishikari meteorological observatory (before 1990). Figures of right side are enlarged map (A) and aerial photographs (B:1975, C:1985, D:2008) around BAN and IS-N. Aerial photographs were offered from 'Denshi-kokudo' web system of the Geospatial Information Authority of Japan (GSI).

に徐々に排水されるような水文環境にある．従って，地下水の涵養過程を調べるには良好な場所といえる．

気象観測地点は，石狩地域気象観測所（以下，アメダス石狩と呼ぶ）が花畔観測所の東方約4 km にある（Fig. 1，IS-N）．ここでは，各観測項目のうち，積雪深は 1987 年から，それ以外の気温や降水量などは 1990 年から，それぞれ観測が開始された．それ以前は水位観測所の北東約6 km のところで観測されていた（Fig. 1，IS-O）．なお，積雪深・降水量といった気象データは，気象庁 HP の「過去の気象データ検索」のサイトからダウンロードして使用した．

Fig. 1 右側には，地下水位観測所と気象観測所付近の 1975 年，1985 年，2008 年の航空写真（国土地理院の電子国土 Web システムから提供されたもの）を示した．調査地点近傍では，1970 年代後半から，石狩湾新港の開発と後背地での工業団地の造成が進み，様々な土木建設工事が行われている．地下環境に影響を与えたものとしては，港湾の掘りこみ，茨戸川から港へ至る放水路の開削，道路建設等に伴う上下水道といった管渠の埋設，などがあげられる．

Ⅲ．観測結果のとりまとめおよび考察

1．不圧地下水位の長期的な変動

Fig. 2 に，花畔 B 井の 30 年間の変動について月平均水位（海抜標高）の時系列でとりまとめたものを示した．図では各年の左側の線が 1 月を示す．1980 年代前半は，年間の水位変動が大きく，花畔観測所周辺の工事等の影響と推定される地下水位変動が見られるが，その後は，かなり安定した年間の変動を繰り返している．経年的には，ほとんど変化していないように見える．

年間の不圧地下水位の変動状況は以下のようにまとめられる．冬期になって，降水が積雪として地表に留まるようになると，地下水涵養がほとんどなくなるので地下水位がゆるやかに低下する．その後気温が高くなって融雪期に入ると，地下水位は急上昇してその年の最高水位となるパターンが認められる．融雪終了後，地下水位は再び低下していくが，無雪期に顕著な降雨があれば，水位は上昇する．このように，不圧地下水位の変動は，基本的には，融雪期に最大の地下水涵養を受けた，1 年 1 山型の年間変動で特徴づけられる．

Fig. 2 に示された地下水位の長期的な変動パターンから明らかなように，石狩湾岸地域など積雪寒冷地においては，冬期間の積雪とその後の融雪が，不圧地下水の涵養に大きな影響がある．従って，その状況を正しく把握することは，地下水管理の観点だけでなく様々な面からも必要なことといえる．

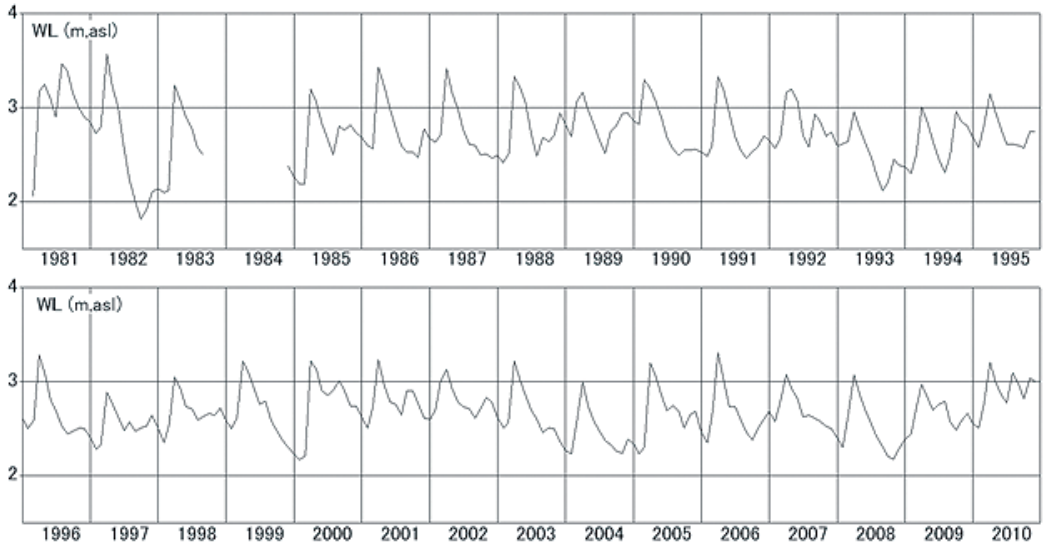

Fig. 2. Long term fluctuation of groundwater level at Ban-naguro B observation well, indicated by monthly mean value (1981–2010). Groundwater level is shown by height above sea level.

2. 積雪期の地下水位と積雪深の関係

次に積雪期の地下水位変動を詳細に見ていくことにする．Fig. 3 と Fig. 4 は，1980 年 12 月～2010 年 4 月の冬期間の花畔 B 井の地下水位（WL）とアメダス石狩の積雪深（SD）の変動を時系列で示し，並べて比較したものである．各年のグラフは，12 月 1 日を左端，5 月 1 日を右端とし，地下水位は日平均水位を実線で，積雪深は日最大積雪深を上下逆転した棒グラフで，それぞれプロットした．

地下水位の変動に注目すると，積雪期の初期には，融雪や降雨により地下水が涵養されるため，地下水位の上昇が生じる．一般的には，地下水涵養がほとんどなくなるのは，12 月になってからのようである．積雪深の変動を見ても，根雪となるのは，11 月の場合もあるが，多くは 12 月からであった．

根雪となってから，積雪深は，降雪による上昇と積雪の圧密による低下を繰り返しながら，積雪水量を増加させて融雪期に向かっていく．一方，地下水位は融雪期の直前までは，徐々に低下していくのが，一般的な傾向である．但し，積雪期間中に顕著な融雪が生じた際には水位上昇が見られることもある．しかし，この厳冬期の融雪現象について積雪深の変動から読み取ることは困難なようである．

日平均気温が 0 ℃を越える日が続くようになる（アメダス石狩の気温データから確認が可能）と本格的な融雪期に入り，地下水位は一転して急上昇を開始する．この本格的な融雪開始の日は，最深積雪日よりは遅い場合が多い．従って融雪開始の日の積雪水量は，その年の最大積雪水量にほぼ等しい．また，融雪開始後の地下水位の上昇パターンが積雪深の減少パターンとかなり似ていること，消雪日と地下水位が最大となった日が大きくずれていないこと，などが注目される．以上のようなことから，融雪期の地下水位上昇は，冬期間に蓄積した積雪が，一気に融雪して，地下水の涵養に大きく影響していることがわかる．

3. 積算降水量（最大積雪水量）と融雪期の地下水位上昇

融雪期の地下水位上昇に，冬期間の積雪が重要な影響を及ぼしている．また，融雪開始直前に，積雪はその年の最大積雪水量をとるようである．従って，融雪期の地下水位については，融雪期直前の最大積雪水量を求めれば，精度よく融雪による上昇量が求められることが予想される．以上のようなことから，成瀬・深見（1982）では，地下水管理の対策として，最大積雪水量分布の調査の有効性を指摘した．しかし，ここでは，最大積雪水量をアメダス石狩の 1 地点のデータから求め，その利用の可能性について検討してみることにした．

アメダス石狩の積雪深と花畔 B 井の地下水位のデータを参考に，降水（積雪）が地下水位涵養に及ぼさなくなった日を根雪開始日とし，その日から地下水位の最高水位を記録した日までの日降水量を積算して積雪期間の積算降水量（ΣP）を求め，融雪期間中の降水を含むが，最大積雪水量とすることにした．一方，融雪期直前の日平均地下水位の最低水位と，融雪終了後の最高水位との差から融雪期の地下水位上昇量（ΔH）を求めた．ΣP と ΔH の関係は Fig. 5 のように

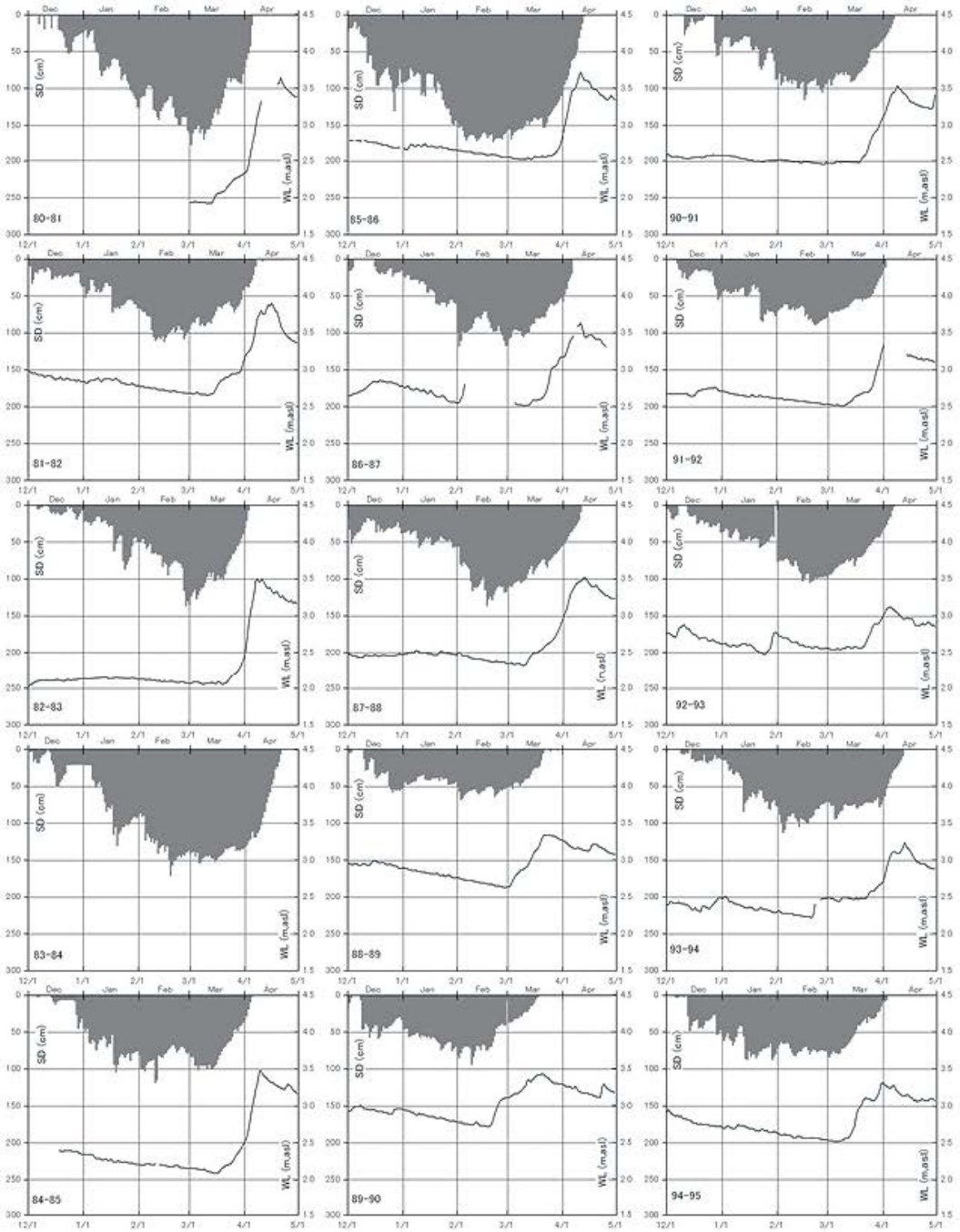

Fig. 3. Time series comparison between fluctuations of groundwater level (WL) and snow depth (SD) for snow period (from 1 December to 30 April, 1980-1995).

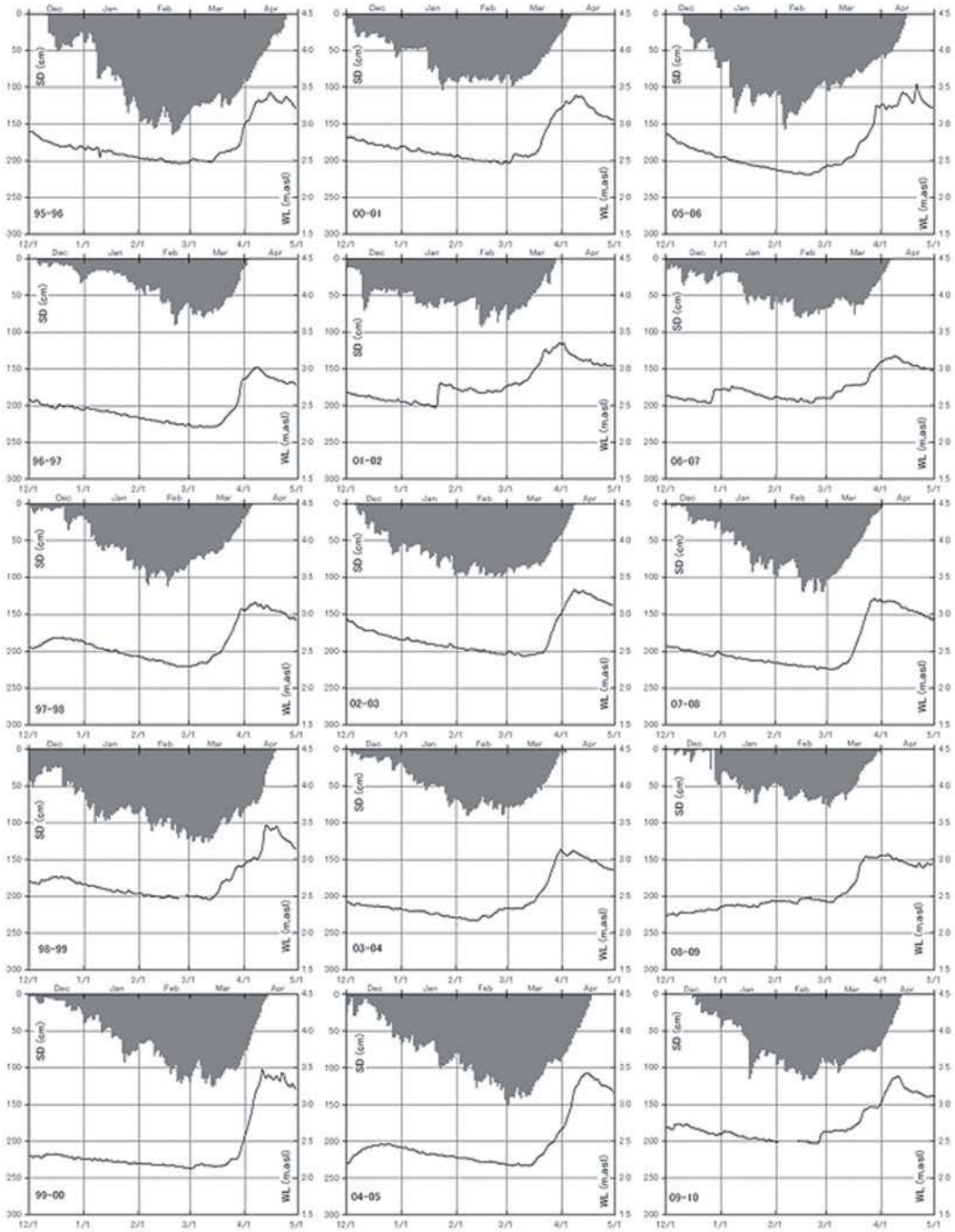

Fig. 4. Time series comparison between fluctuations of groundwater level (WL) and snow depth (SD) for snow period (from 1 December to 30 April, 1995-2010).

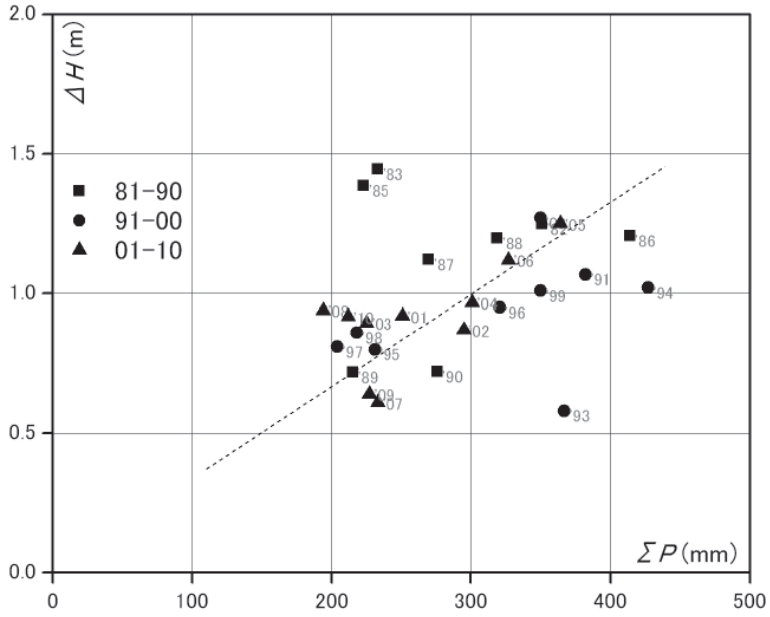

Fig. 5. Relationship between accumulated precipitation (maximum water equivalent of snow) ΣP and increase of groundwater level in snow melt season ΔH.

なった．図中の数字は融雪期の西暦年の下 2 桁を表し，10 年毎にシンボルをかえて示した．なお，この取りまとめに際しては，地下水位データが全く取れなかった 1984 年，融雪期に水位が欠測となった 1981，1992 年の 3 年分は除いている．

積算降水量を最大積雪水量とした場合，地下水位上昇に影響を及ぼす融雪期の降水を考慮はしているが，積雪期間中の融雪の影響を見逃している．また，離れた地点のアメダスデータであるから，それによる誤差も生じるであろう．しかしながら，ΣP と ΔH の関係は，数点を除くと，ある程度の比例関係を示し，かなりまとまったところに分布してプロットされる結果となった．Fig. 5 の中で分布から少し離れたところにプロットされた年は，1983，1985，1993 の 3 年である．このうち 1980 年代の 2 年については，前述したとおり，観測所周辺の土木建設工事の影響を受けている可能性が高い．また，1993 年は，融雪期から秋期に水位が低下してその前後の年とは異なった地下水位の変動パターンであるように見受けられる（Fig. 2 参照）．従って，93 年の融雪期の水位上昇も花畔観測所周辺での工事の影響を受けている可能性がある．このようなことも考慮すれば，アメダス石狩の 1 地点データから得られた積雪期間の積算降水量と花畔 B 井の融雪期の地下水位上昇の関係は，かなり良好であるとみなせる．

本地域の不圧帯水層の有効空隙率は，これまでの様々な調査から 20 % 程度と推定されているので，1 m の水位上昇は 200 mm の地下水涵養となる．ΣP（mm）と ΔH（m）が Fig. 5 に示した直線（$\Delta H = \Sigma P /300$）で表せるとすれば，積算降水量の 2/3 が地下水位上昇（貯留量の増加）に寄与したことになる．この積算降水量（最大積雪水量）と地下水位上昇の関係は，かつて成瀬・

深見（1982）が石狩湾岸地域の別の観測所の不圧地下水位観測井において，融雪期直前の最大積雪深の値から概算した数値（約 70%）とほぼ同じとなった．

また，アメダス石狩の位置が変更となった 1990 年の前後でΣPとΔHの関係を比較すると，1990 年以前のデータ数が少なく土木建設工事の影響も受けている状況ではあるが，後の 20 年間の方が，相関が良好のようである．これは，アメダス石狩の位置変更が，花畔 B 井の地下水位を解析する際に，良い結果をもたらしたことを意味する．しかし，このことは，1 点の気象データのみを利用する際の問題を示している可能性もある．つまり，降水量（特に降雪）は地域的に大きく変化することがあるので，気象観測地点の位置を充分検討してから，地下水位の解析などに使用する必要があることを示唆している．

花畔観測所周辺では，この 30 年間に都市化が進んでいる．従って，雪の堆積環境や地下水の賦存環境も様々な影響を受けているはずである．また，アメダス石狩は 1990 年までにその位置を移動した．そのようなところであるにもかかわらず，この 30 年間の地下水位と気象のデータを整理したところ，かなり意義のある結果が得られたといえる．

4．積算降水量の経年変動

過去 30 年の積雪期間の積算降水量（ΣP）の経年変動を Fig. 6 に示した．前半よりも後半の方が，ΣPが減少しているようにも見える．しかし，Fig. 3，Fig. 4 にまとめた冬期間の積雪深の変動状況を含めて概括すると，積雪期間が短くなった，積雪が減少した，といった明確な傾向は認められないようである．今後，都市化や地球温暖化といった観点も考慮しながら，積雪期間の積算降水量の変動や，それに伴う融雪期の地下水位上昇量の変化について，資料を蓄積していくことが重要である．また，積雪期間中に融雪が生じて地下水位上昇が生じるケースなどにも，注意を払う必要があろう．

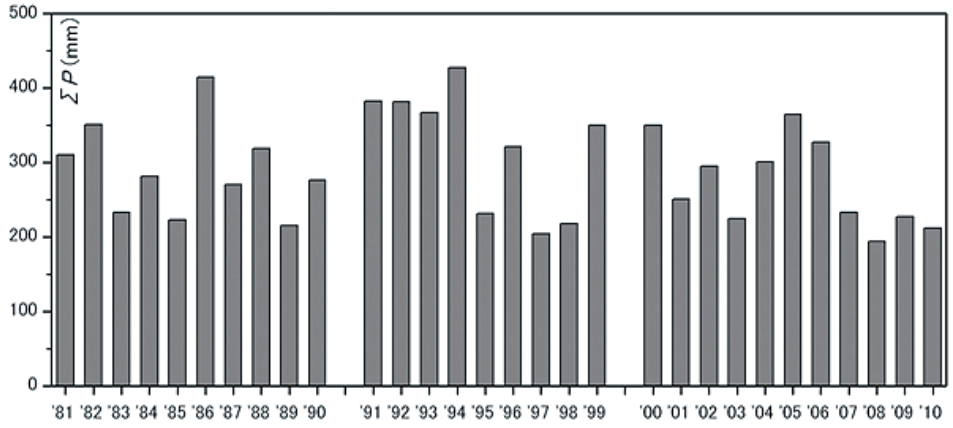

Fig. 6. Yearly variations of accumulated precipitation ΣP (1981–2010).

Ⅳ. お　わ　り　に

北海道立総合研究機構地質研究所では，札幌市北部～石狩湾岸にかけて地下水位・地盤沈下の観測を継続してきた．本論では，1981 年からデータを蓄積している花畔Ｂ井の地下水位の変動について，特に，積雪期間に注目して解析を行った．近傍にあるアメダス石狩のデータを用いて，積雪期間の過去 30 年の積雪深と不圧地下水位の日変動を検討して，積雪（特に最大積雪水量）が融雪期の地下水位上昇に大きな影響を及ぼしていることを明らかにした．アメダス石狩と花畔Ｂ井の観測データから，積雪期間の積算降水量を最大積雪水量として求め，融雪期の地下水位上昇量と比較した．その結果，1 点の気象データから求めた積算降水量（最大積雪水量）と地下水位上昇量はかなり良好な比例関係となり，そこから推定された関係式も妥当とみなせる結果となった．しかし，1 点だけのデータによる解析では，問題が生じる可能性も示唆された．

以上のように，積雪寒冷地における積雪期の不圧地下水位の変動の特徴や現状をまとめたほか，30 年間の積雪期間の積算降水量の経年変化図を作成した．積算降水量や積雪深の変動状況からは，経年的な明確な傾向は認められないようである．

謝辞　長年にわたる札幌市北部～石狩湾岸の地下水位･地盤沈下の観測は，地質研究所のスタッフだけでなく，多くの関係者の皆様のご協力により継続されてきた．ここに記して感謝します．また，陸水物理研究会等を通じて，筆者の調査・研究に関して有意義なご教示をいただくとともに，今回，発表の機会を与えて下さいました，池田隆司教授・知北和久准教授に感謝します．

文　献

泥炭の広域沈下に関する研究委員会（編），2002．北海道の泥炭地盤と沈下の対策，（社）地盤工学会北海道支部，94p．

Dim J. R., Y. Sakura, H. Fukami, and A. Miyakoshi, 2002. Spatial characteristics of groundwater temperature in the Ishikari Lowland, Hokkaido, northern Japan : analytical and numerical applications, *Hydrogeology. J.*, **10(2)**, 294-306.

深見浩司・髙清水康博，2008．石狩湾岸地域の地下水モニタリング．平成 20 年度北海道立地質研究所調査研究成果報告会報告資料集，29-32．

深見浩司・長谷川雄太・佐倉保夫，2008．豊平川左岸域の地下水位変動及び地下水温の垂直分布観測，第 51 回（平成 19 年度）北海道開発局技術研究発表会発表論文集（CD-ROM），環 40．

松下勝秀，1977．石狩低地帯の地下水位低下および地盤沈下について －その１－，地下資源調査所報告，**49**，89-99．

松下勝秀・五十嵐八枝子・梅田安治，1985．石狩泥炭地の生成とその変遷，地下資源調査所報告，**57**，71-88．

成瀬廉二・深見浩司，1982．札幌市とその周辺における積雪分布および地下水位変動，昭和 54-56 年度北海道大学特定研究経費研究成果報告書，19-27．