

8. 積雪寒冷地帯の冬季温暖化に関する時系列変動解析

Time series analysis of winter meteorological variations in snowy and cold regions

伊 藤 駿*

Takeshi ITO

ABSTRACT: Winter warming tendency has been reporting from many places especially from snowy and cold regions in Japan. To investigate such winter meteorological variations, various kind of winter meteorological data were collected and analyzed. From data analysis, we found that accumulate snow cover depth is gradually decreasing in recent years, and daily minimum air temperature in mid winter is increasing. In which, air temperature showed four increasing steps over 100 years and its phenomena appeared clearly in high latitude, i.e., an increase of 3 °C in temperature has been recorded for the period of these 50 years in Sapporo. An indication of periodicity by numerical calculation for the maximum depth of snow cover in Akita was found as 11-year, similarly daily minimum air temperature was 11-year in Sapporo. According to the newly defined climeteorological factor, Ic, the severest winter was in 1945 and the most warmest one was in 1989.

KEYWORDS: Snowy and cold regions, Winter warming system, Time series analysis

1 はじめに

「寒くて雪が多い」ことが積雪寒冷地帯の代名詞になっている。しかし近年、突発性大量降雪が高緯度地方でも頻発したり雪の降り方の低緯度現象が高緯度地方に移行してきたと考えられる現象が起こっている。一方、黄砂の飛来頻度が高まっているなど冬の気象環境に異変が報告されることが多くなってきた^{1), 2)}。本研究ではこうした冬季気象現象を検討するため、積雪寒冷地帯気象官署における観測開始以来から2001年までに及ぶ主として100年以上の各種気象資料を収集しその時系列解析を行った。その結果、本文では積雪寒冷地帯の冬の温暖化が急速に進んでいることを明らかにし、十九世紀末から今日に至るまで数段階にわたる温度上昇傾向を示していたこと、日本の高緯度地方ほど気温上昇率が高く札幌では最近50年間における日最低気温の上昇率は約3℃という驚異的記録を示していたこと³⁾などを明らかにした。

また、こうした現象は気温のみならず降水量特に積雪積算量や凍結指数、日照時間などにも現れていた。そこで各種気象資料の時系列変動についてスペクトル解析を行い周期特性を調べた結果⁴⁾、秋田の最大積雪深には11年、札幌の日最低気温にも11年の卓越周期兆候が見られるなどを明らかにした。さらに気象要因7つを使って雪寒指数を定義し、その指数の変動を調べたところ、わが国の観測史上最も厳しい冬は1945年であり、最も温暖な冬は1989年であったことを検証した。

2 冬季の気温変動

*国立秋田高専環境都市工学科 Department of Civil Engineering, Akita National College of Technology, 1 Bunkyo, Iijima, Akita-shi, Japan 011-8511.

積雪寒冷地帯の冬の厳しさは平均気温よりも最低気温で分かり易いことから、本文では特に真冬（1月と2月）の日最低気温（Tmin と略記する）の変動を対象に調査したことを述べる。

図1は、北海道、東北、北陸の各地方を代表させた札幌、秋田、福井の Tmin (°C) の変動時系列を描いたものである。太い線は平滑化曲線で変動傾向を見やすくした。いずれの地点でも 1945 年あたりを境に気温が著しく上昇しているのが読みとれる。平均気温や最高気温にも同様の変化が現れていた。この中で札幌の気温上昇率が最も

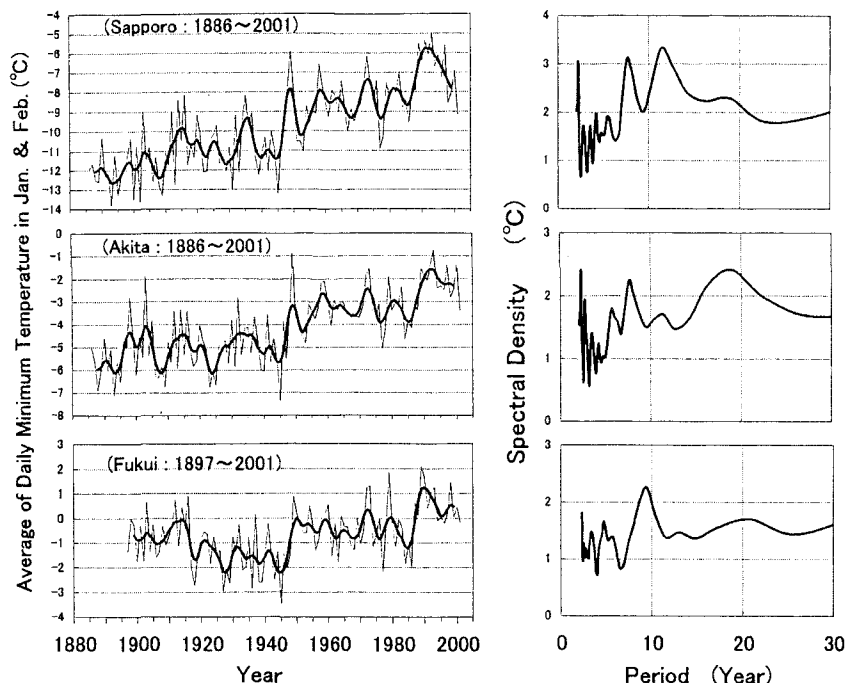


図1 北海道、東北、北陸における日最低気温の変動時系列

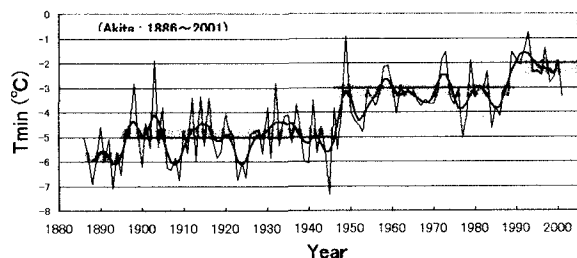


図2 秋田市における Tmin の上昇傾向

高く、最近 50 年間で Tmin は約 3℃という驚異的上昇記録を示していた。次いで秋田が約 2.5℃、福井が約 1.5℃の上昇となっており、明らかに高緯度地方ほどその上昇率が高いことがわかる。なかでも第2次世界大戦の終わりを迎える 1945 年に全国的低温が記録され、その後 1949 年に気温のジャンプ現象がみられ異常高温が記録された。これは対馬暖流の北上勢力が著しく強まったためといわれている。こうした Tmin の上昇について秋田を事例にとると図2のようになり、① 19 世紀末頃まで、② 1945 年頃まで、③ 1989 年まで、④ 1989 年以降、と大きく 4 つの段階にわたって右肩上がりの現象を呈していた。各地で観測されるこうした温暖化現象は、都市化だけの原因とは考えにくい。都市化の影響を考慮した研究⁵⁾でも気温上昇は明らかであり、すでに極地やヒマラヤの氷河後退及び海面上昇問題が世界

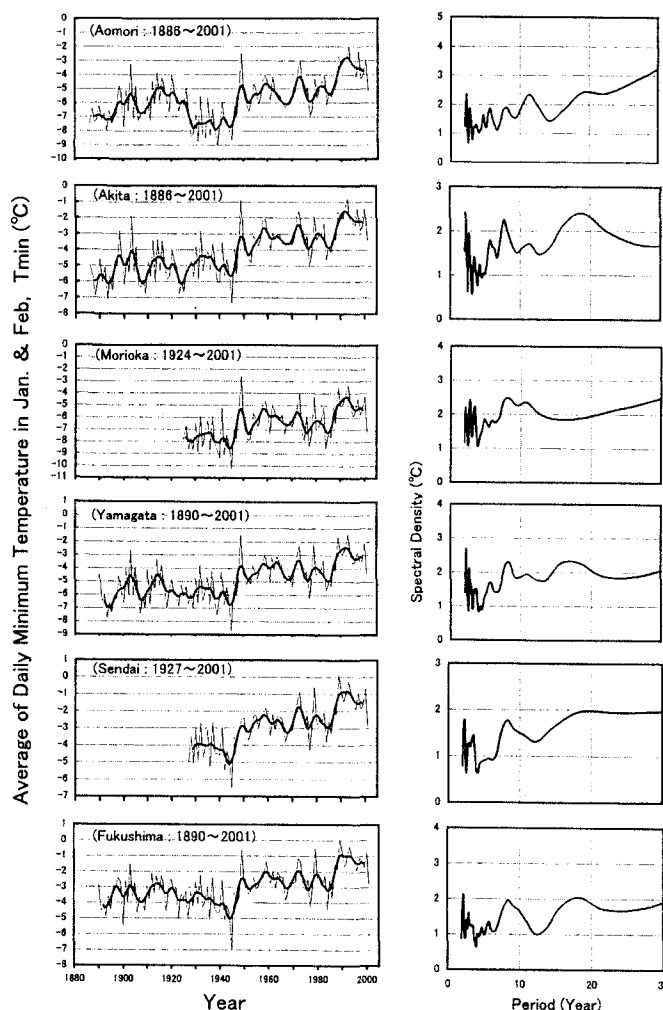


図3 東北6県(県庁所在地)の Tmin の変動とスペクトル解析

的に注目されていることから、この分析結果は日本の積雪寒冷地帯にも着実に温暖化が忍び寄っていることを教えている。

一方、こうした変動を分析する方法はいくつかあるが⁶⁾、ここでは ARIMA モデルによってその変動成分をスペクトル分析してみた。例えば札幌については図 1 から 11 年に卓越的周期現象がみられる。コレログラム解析も行ったが同様の結果が得られている。

一方、この Tmin の推移をさらに東北地方全体について調べてみると図 3 のようである。太平洋側の仙台でも顕著な気温上昇がみられ、いずれも 1945 年の低温と 1949 年の高温現象が突出し、広領域に及ぶ現象であった。図の右側はそのスペクトル分析を示す。青森は 11 年に他は 8 ～ 9 年に気温の周期兆候が見られ、土地による差異もあることが判る。

3 積雪深の変動

雪国で冬の気象環境を一言でいうとき、今年何 cm の雪が積もったかを問題とする。こうした指標にその年の最高の雪の深さを示す最大積雪深（以下 Smax と略記）がある。Smax は屋根雪設計荷重や道路除雪、産業計画立案など日常生活に密着した値となっている。こうした Smax の推移を 100 年以上に亘って調べてみたのが図 4 である⁷⁾。ここには北海道、東北、北陸の 7 地点を示しているがいずれも同一スケールで変動を比較してある。図を見ると明らかに雪の降り方に地域特性が出ている。その特徴を述べると、北海道は積もり方の変動幅は小さいが安定して雪が多い。これに対して北陸は Smax が大きく、変動幅も大きい。東北は一般にこの

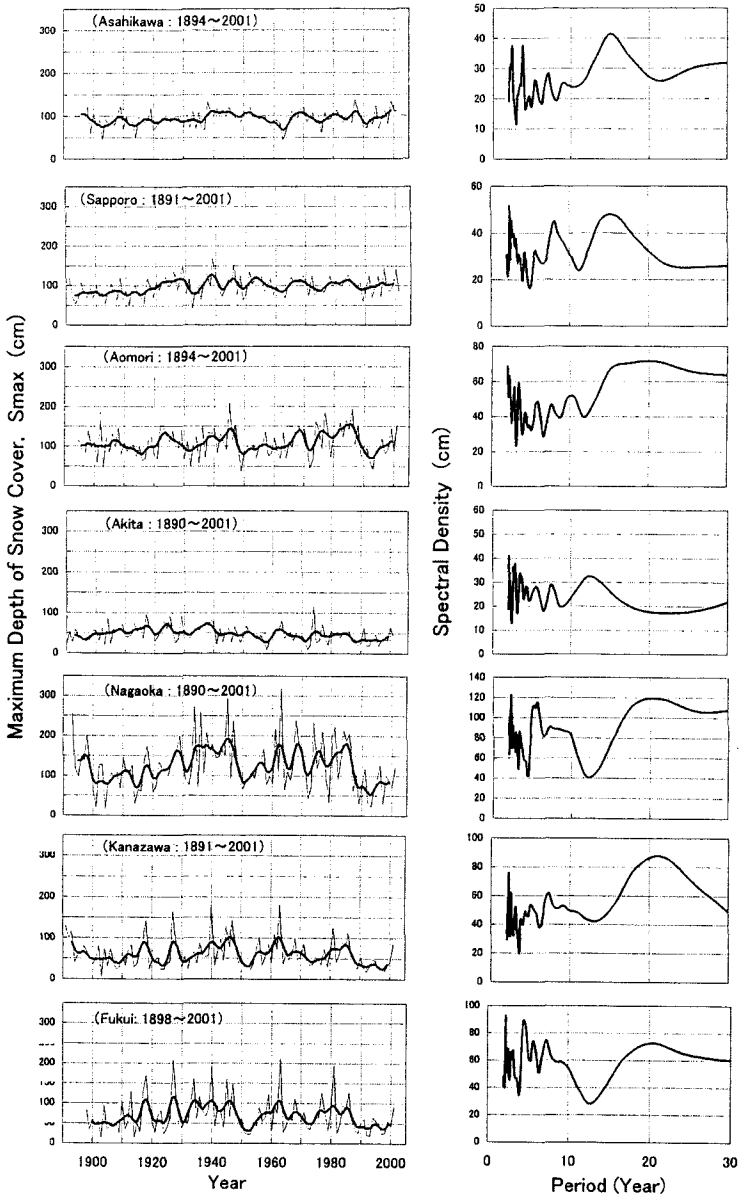


図 4 各地の Smax の変動とそのスペクトル解析

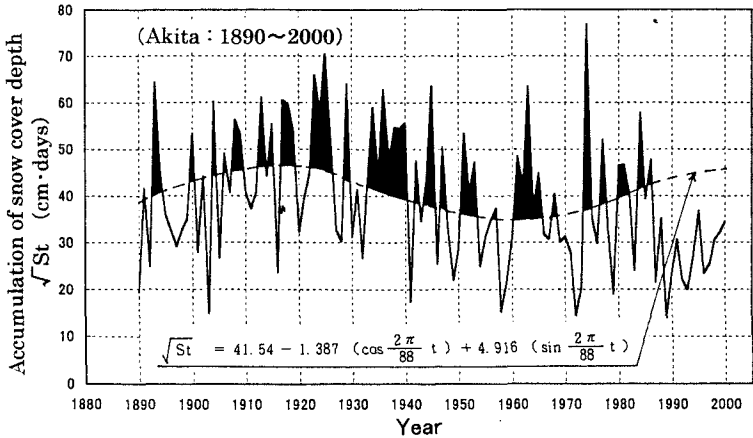


図 5 積算積雪量($\sqrt{St}$)の変動とフーリエ解析

両者の性格を併せもっている。この図で S_{max} の変動を見ると、最近 10 数年間は従来に比べ北陸で小さく、北海道でやや大きめの S_{max} が出ている。寒気の吹き出しが余り南下しなくなったのかどうか明確な原因はわからない。北海道については前述の気温とも関係すると考えられるが、気温が上昇すると突発大量降雪が現れやすいことから、これまで北陸で見られたドカ雪現象が次第に北上していることが考えられる。図の右側にはスペクトル分析結果を示したが、明瞭な卓越周期は見られないものの、秋田で 11 年に、北陸では 6 年や 18 ～ 20 年程度に周期兆候が見られる。これは従来通説とされていたことを検証したことになる。

4 積算積雪量の変動

日本の脊梁山脈の西側地域はまず雪が多いことで特徴づけられる。この雪の量を豪雪法では積算積雪量で表す。これは雪による生活環境の厳しさを表す指標の一つであり、行政で多く用いられてきたもので、雪の積もり方の地域特性を表す。この変動量を長年に亘って調べた秋田の事例を図 5 に示す。この値はそのまま使うと変動幅が大きすぎるので平方根 ($\sqrt{St}$) にとって表した。図を見ると、全体的に大きな波動現象のようなうねりが見られる。もとより気象現象にはこのような変動成分があることが指摘されている。そこでこの現象をフーリエ解析によって調べてみたところ、図示の点線のような曲線に対応し、その周期が最も適合したのが 88 年であった。こうした大局的な変動曲線の式を求めると図中に記載したものとなった。特に 1900 年以降 1945 年頃までは近年に比べ寒冷傾向（点線の上の黒塗り部分）の度合いが強く”昔は寒かった”ことを裏付ける。1945 年以降は、曲線は下降し暖冬傾向となるが、やがて再び上昇するはずである。しかしこの上昇期に当たる最近 10 数年間は、傾向曲線からズレている。これは明らかに過去と異なる現象が出現したとも考えられ、新しい気象変動の体制へ移行する過渡的現象とも受けとめられる。これは上述の S_{max} には余り現れなかった現象である。その理由は、 S_{max} は突発現象を記録する場合が多く微分値であるのに対し、 $\sqrt{St}$ は一冬の性格を表す積分値であるからである。

5 凍結指数の変動

冬期間に氷点下になった平均気温の積算値を一般に凍結指数 (Z_c : $^{\circ}\text{C} \cdot \text{days}$) と呼ぶ。この変動について真冬（1 月、2 月）のみについて調べたものを図 6 に示す。積雪寒冷地帯の道路築造⁸⁾や水道管などの埋設深さはこの指数を基に決められる。この図の左列は秋田の凍結指数とそのスペクトル分析を、右列は秋田県の内陸盆地都市横手の事例である。 Z_c は最近 52 年分を示したが、その時

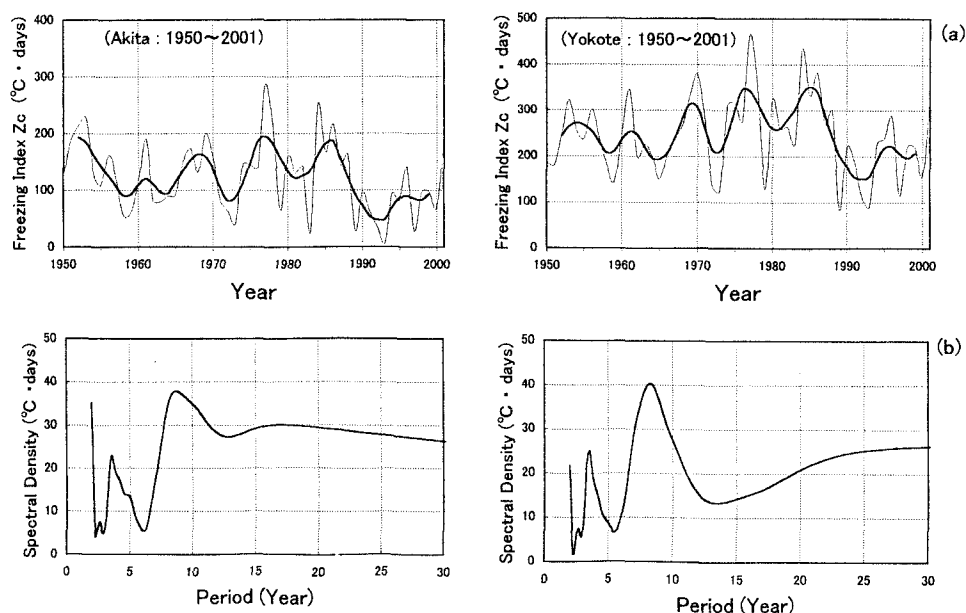


図 6 秋田(左側)と横手(右側)の凍結指数(Z_c)の変動とスペクトル解析

系列変動を見ると秋田で下降傾向が大きく、豪雪地帯の横手で小さい。秋田の下降傾向は温暖化による地盤の凍結深さが浅くなってきたことを意味する。Zc について大雪の年を調べてみると、気温は下がっているはずだが両地点とも余り大きな値を示さなかった。これは雪の断熱効果により気温は差ほど下がらなかったことが原因と考えられる。

6 雪寒指数について

積雪寒冷地帯の冬の厳しさを表すものとして、我が国では豪雪法や雪寒道路法で規定している指標がある。雪の量または雪の量と気温を併せ考慮したもので冬季環境の負荷量として法的に積雪寒冷地帯を保護する目的がある。しかし、雪の降り方積もり方は地域格差が大きく、特に①多量に積もる、②急激に積もる、③長く積もる、の3つによって格差が出る。例えば北海道は、北陸ほど急速かつ多量には積もらない。しかしじっくり長期に積もる。こうした地域格差を公平に評価する必要がある、また日本海側と太平洋側における日照格差なども考慮し、積雪寒冷環境の地域的特性を総合的に表現できる指標を探る必要がある。このため次のような検討を行った。

まず気象因子は日常生活に密着した真冬（1,2月）のものを採用する。この時地域特性の現れやすさ考え、新たな指標も考案する。次に気象因子はそれぞれ物理次元が異なるから、変数変換を行う。これをさらに偏差値に置き換える。そして互いの因子間の相関関係を求め正負関係を判別する。考えられる気象因子合計 20 以上についてこの作業を行い、結局冬の日常生活と密接な次の 7 つの因子に集約し、次式のような「雪寒指数」Ic（無次元）を定義した。

$$Ic = (S_{max} + S_t + S_{nt} + D_{10} + I_s) / (T_{min} + S_d)$$

ここで S_{nt} : 積雪深の正の前日差、 D_{10} : 10 cm 以上の積雪日数、 $I_s = S_{nt}/\sigma$ 、 S_d : 日照時間、 σ : その土地の大雪警報の値。他の記号は前記した通りである。分子、分母は互いに反比例の関係にある。この指数は全体的に雪の量に重みがつけられているが、全国各地の冬の気象学的地域性が表現されている。計算は膨大な数の資料を扱うことになる他、欠測があったり因子によっては観測開始年がバラバラであったりし、必ずしも時系列的に整合性は得られなかった。このうち、札幌、青森、秋田、長岡、福井の 5 地点に絞って 1901 ~ 1996 年までの Ic の平均を求めてみた。それが図 7 である。この図によると、我が国の気象観測史上最も厳しかった冬は 1945 年で、次いで 1939 年であった。一方、暖冬について調べてみると、1989 年が最も小さな値を示し、記録的な暖冬年であった事が判った。勿論、北陸は豪雪だったが北海道は平年並みであったなど地域に偏る現象もあるが、ここでは個々の地域特性を求めた上で全国規模を対象とした。

この指数は冬の気象環境の厳しさ（雪害度）を客観的に評価したものであり、個別に取れば地域による冬の気象学的環境を詳しく知る大きな手がかりとなる。即ちこの手法によれば数値が大きい年ほど厳しい冬を意味し雪害対策などの負荷が大きかったこと、従ってその地域にとって雪寒による艱難辛苦の生活が強いられた年であったと解釈される。この図によれば過去には Ic の大きいものが多発していたが、最近少なめになってきており明らかに暖冬傾向を示していることが読みとれる。

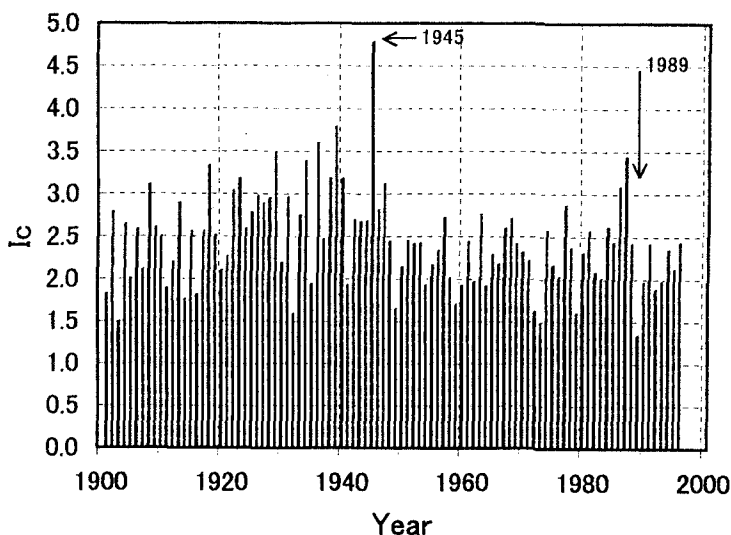


図 7 雪寒指数 (Ic) の変動時系列

7 あとがき

以上、我が国の積雪寒冷地帯の冬季を対象に気象変動の時系列解析を行ってきたが、多くの気象資料に温暖化傾向を示していることが認められた。今後、温暖化に伴う台風の巨大化や海面上昇、これに伴う新たな海岸侵食と平地部の縮小、地下水の塩水化や地盤の軟弱化と地盤沈下等一連の土木災害が懸念される。これは積雪寒冷地帯のみならず、気象変動に対応した全土的災害対策を練っておく必要がある事を示唆する。

参 考 文 献

- 1) 気象庁編：異常気象レポート、大蔵省印刷局、341pp., 1999.
- 2) 小出 寛、小寺邦彦：冬季における最近の大気・海洋の長周期変動の特徴について、天気、44,8, pp.535-550,1997.
- 3) 伊藤 驍：積雪寒冷地帯における気象変動と地盤災害の変動、地盤工学会誌、第 49 巻、第 1 号、pp. 5-8, 2001.
- 4) Ito, T.: Distribution tendency of freezing index related to road weather in the northern district of Japan, Proc. of the 11th SIRWEC Conference, pp. 229-233, 2002.
- 5) Kato,H.: A statistical method for separating urban effect trends from observed temperature data and its application to Japanese temperature records, J. Met.Soc.Japan, 74, pp. 639-653, 1996.
- 6) 鈴木栄一：気象統計学、地人書館、pp.157-168, 1973.
- 7) 伊藤 驍：降積雪の時系列変動とその地域特性に関する統計学的研究、(財) 日本積雪連合、pp. 111-133, 1990.
- 8) Perry, A. H., and Symons, L. J. : Highway Meteorology, E & FN SPON, 209 pp., 1991.