

日本海沿岸域冬季の気温に関する季節内変動の周期特性

発表者：水文気象研究室 北 幸寛

指導教員：熊倉 俊郎

はじめに

雪や低温による交通途絶、家屋倒壊、停電や通信機関の不通といった雪氷災害は日常生活に非常に多くの支障をきたす。このような雪害を予測し、回避するためには大雪と小雪の気象的特徴を把握することが重要となってくる。日本海沿岸の積雪は気象要素の中でも特に気温に左右される。これは日本海から吹き込む湿った風が気温によって降雨か降雪に変わるからである。また、気温は降雪だけではなく融雪にも大きく関係する。大雪の年での融雪は雪害からは外せない雪崩という危険性を大きく伴う。そのため、日本海沿岸の地域では気温変動の周期特性を把握することができれば降雪と融雪を理解することも可能である。本研究の目的は、日本海沿岸地域で冬季の気温変動の周期特性を把握することである。具体的には、フーリエ解析を行い、得られた振幅から大雪の年と小雪の年での周期特性を明らかにする。

概要と使用データ

フーリエ解析にあたり、大雪・小雪の判別、冬季の設定、欠測値の補間を行う。

使用するデータは A M e D A S 長岡観測点データから、大雪・小雪の判別に月毎最深積雪と月毎最深積雪の平年値を、フーリエ解析には気温データを用いた。使用するデータは観測が始まった 1980 から 2005 年までの期間とする。

大雪・小雪の判別

大雪・小雪の判別は、A M e D A S 長岡観測点での月毎最深積雪と月毎最深積雪の平年値を比較し、12 月から 3 月で月毎最深積雪が平年値の月毎最深積雪を超えた月が 2 ヶ月以上ある年を大雪、1 ヶ月以下の年を小雪として判別した。その際、平年値と同じ値の場合は平年並みとし

て小雪の年に加えた。また、平年値を超えた月が 1 ヶ月で、その 1 ヶ月が平年値を大きく上回っていたとしても、誤差を考えサンプル数の多い小雪の年に加えた。

大雪の年：1980-1981、1982-1983、1983-1984、1984-1985、1985-1986、1990-1991 2000-2001、2004-2005 計 8 年

小雪の年：1981-1982、1986-1987、1987-1988、1988-1989、1989-1990、1991-1992 1992-1993、1993-1994、1994-1995、1995-1996、1996-1997、1997-1998 1998-1999、1999-2000、2001-2002、2002-2003、2003-2004 計 17 年

冬季の設定

A M e D A S では降雪の測定を 11 月の終わりから翌年の 5 月の初めまで行っているが、実際の降雪期間はその年の気象条件によって違っている。しかし、それではデータを時系列で比べ解析するには都合が悪いため、気象技術研究所の報告書より日本海沿岸地域で雪が降るとされる 2 未満の期間を降雪の期間とすることにした。手順は気温データが足りない 2004-2005 シーズンを除く 24 年分の時間別平均値を求める。時間別平均値を前後 3.5 日の 7 日間移動平均を行い、時間別平滑平年値を求める。時間別平滑平年値が 2 未満であった期間を降雪している冬季と設定する。これにより設定された冬季は 1 月 5 日 11 時から 2 月 25 日 23 時までとなった。

欠測値の補間

欠測値の補間は、欠測値を前後のデータの平均値で置き換えたり、直線補間を行ったりする従来の補間方法では欠測値が 1 つだけなら良いが、欠測値が連続している場合、気温の変動を

うまく表現できず、以後の解析で必要とするスペクトルを消し去ってしまう恐れがある。そこで、欠測値の補間には長岡と気候の似ていると思われる、隣接した三条・柏崎・十日町を対象地域とし、各点の気温観測データを使用し、欠測値以外の値で相関係数を求め、パラメータを推定し近似値を取ることにした。使用した式は以下に示す。

$$r_{xy}^2 = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \right\}^2 \quad (1)$$

$$a = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad (2)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n x_i y_i \sum_{i=1}^n x_i}{n \sum_{i=1}^n x_i - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}$$

$$y = ax + b \quad (3)$$

r_{xy} は相関係数、 a と b はパラメータ、 n は長岡と対象地域で欠測値のないデータの個数、 x_i と y_i は長岡と対象地域の気温、 \bar{x} と \bar{y} は長岡と対象地域の算術平均気温である。式(1)と(2)を用いて欠測値のあるシーズンごとに相関係数 r_{xy} とパラメータ a, b を求め、 r_{xy} が一番1に近い三条でのパラメータを用いて式(3)により各シーズンの欠測値を補完した。

フーリエ解析

フーリエ解析では、データが $2N$ 個の等間隔の点で与えられている場合、これを $g_0, g_1, g_2, \dots, g_s, \dots, g_{2n-2}, g_{2n-1}$ とし、これらを通り波数 N 以上の短い波長の波を含まない曲線 $g(x)$ から次式により \sin, \cos の振幅、 $A_0, A_1, A_2, A_3, A_N, \dots, B_1, B_2, B_3, \dots, B_{N-1}$ を求める過程を正変換とした。

$$\left. \begin{aligned} A_n &= \frac{1}{N} \sum_{s=0}^{2N-1} g_s \cos \frac{sn\pi}{N} \\ B_n &= \frac{1}{N} \sum_{s=0}^{2N-1} g_s \sin \frac{sn\pi}{N} \\ A_0 &= \frac{1}{2N} \sum_{s=0}^{2N-1} g_s \\ A_N &= \frac{1}{2N} \sum_{s=0}^{2N-1} g_s \cos s\pi \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$A_n(0 \leq n < N), B_n(1 \leq n < N-1)$ の数は、合計して $2N$ 個で、データの数と同じである。また、 $A_n(0 \leq n < N), B_n(1 \leq n < N-1)$ から次式により $g_0, g_1, g_2, \dots, g_s, \dots, g_{2n-2}, g_{2n-1}$ を求める過程を逆変換とした。

$$g(x) = \sum_{n=0}^{N-1} (A_n \cos nx + B_n \sin nx)$$

正変換で求めた A_n と B_n を用いて表される $\sqrt{A_n^2 + B_n^2}$ は波数 n を持つ波の振幅をあらわしており、どの周期の振幅が大きいかを見ることによって、特徴的な周期の判別ができる。その際、ハイパスフィルターを用いて長周期をカットすると、長周期の変動がなくなり短周期での変動が見えるようになる。今回は冬季の季節内変動について見たいので、冬季での寒気と暖気は長くて20日で入れ替わると考えられることから、20日周期以上のスペクトルをカットした。本研究で用いたフーリエ解析の手順は以下の通りである。解析対象となるAMeDASの長岡観測点における各々1年の気温データに欠測値があれば欠測値を補間し正変換を、欠測値がなければそのまま正変換を行い、20日周期以上の長周期をカットした振幅を求める。その振幅を基に逆変換をし、短周期での気温変動を求め、時間別平滑平年値において2以下であった期間を冬季として切り出し正変換を行い20日より短い周期での気温変動の振幅を求める。以上のプロセスを25シーズン分行い、大雪・小雪の判別に従い大雪の年8年、小雪の年17年でそれぞれ周期毎に振幅の平均値を求め、比

較した。

結果と考察

図 1、図 2 はそれぞれ大雪と小雪の振幅と標本標準偏差と母集団の 95%の信頼区間を表した図である。実線が振幅を示し、周期ごとのエラーバーは各周期での標本標準偏差を示している。母集団の信頼区間は破線で示してある。縦軸は振幅の物理量である気温、横軸は周期をとってある。

図 1、図 2 から標本標準偏差と母集団の 95%信頼区間はこうようになった。この標本標準偏差と 95%信頼区間から結果が有意であるかどうかの基準が定まっていないため、判断はできないが、結果が実際の気象条件に合っていることから結果の信頼性はあると言える。

図 3 には大雪の年と小雪の年の振幅を示した。実線が大雪の振幅、破線が小雪の振幅を示してある。縦軸、横軸は図 1 と同様である。図 4 には大雪の年と小雪の年の冬季平均気温データを表す。実線が大雪の振幅、破線が小雪の振幅を示しており、縦軸は気温、横軸は 1 時間毎の時間をとってある。まず、図 3 から 2 つのことが分かる。まず、4 日から 14 日周期あたりにかけて大雪の年では平均的に振幅の絶対値が 0.36 と小さく、小雪の年では平均的に振幅の絶対値が 0.48 と大きいことが分かる。振幅の絶対値は気温変動の大きさを表していることから、大雪の年の方が小雪の年より気温変動が平均的に 0.12 小さいことが分かる。一方、7.4 日周期では大雪の年で振幅の絶対値が 0.62、小雪の年で振幅の絶対値が 0.56 と大きくなっていることが分かる。これは 7.4 日周期で寒気と暖気の入れ替わりにより気温変動が大きくなっていることが推察される。次に図 4 から大雪の年では約 0 付近を、小雪の年では約 2 付近を気温が推移していることが見て取れる。これは大雪の年が小雪の年より気温が平均的に低いことが分かる。以上の図 4.19 と図 4.20 から分かることを踏まえ考察すると、小雪の年は 2 という高い気温を 4 日から 14 日周期あたりで 0.48

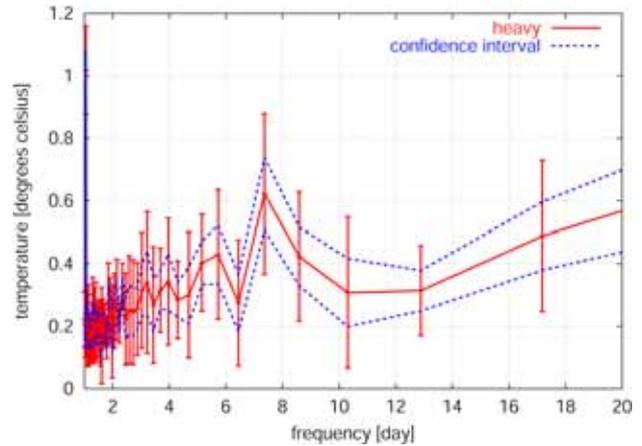


図 1 大雪の振幅と各周期での標本標準偏差や母集団の 95%の信頼区間

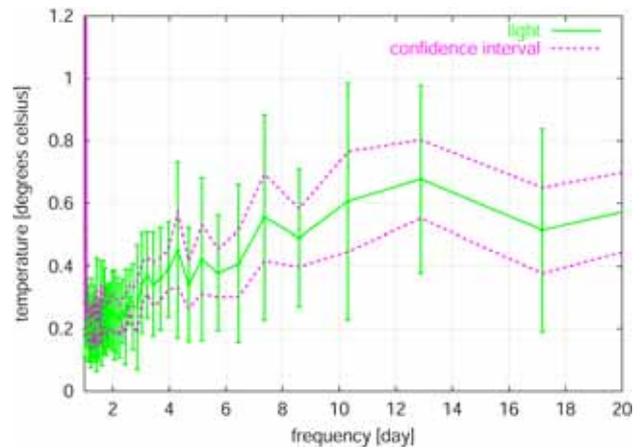


図 2 小雪の振幅と各周期での標本標準偏差や母集団の 95%の信頼区間

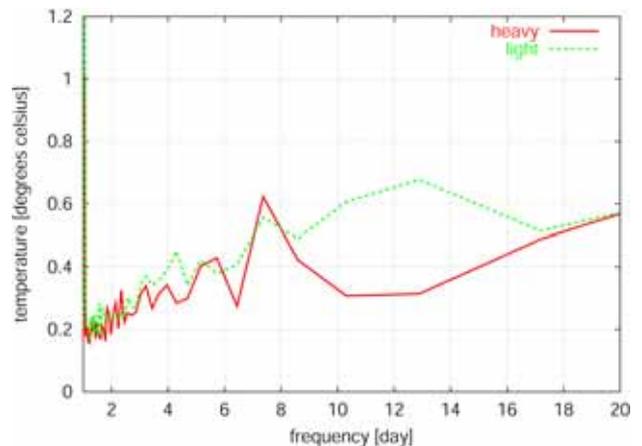


図 3 大雪の年の各周期の振幅の平均値と小雪の年の各周期の振幅の平均値

の大きな気温変動をしている。気温変動が 0.48 で上下するが、全体的に 2 と高い気温であるため雪が融けやすく積もりにくい状態である。その状態で 7.4 日周期の寒気と暖気の入れ替わりによる 0.56 という大きな気温変動が起きても、平均的に気温変動が 0.48 と大きい小雪の年では気温変動の差が小さいため、寒気と暖気の入れ替わりによる影響も小さい事が分かった。逆に大雪の年は約 0 という低い気温を 4 日から 14 日周期あたりで 0.36 の小さな気温変動をしている。気温変動が 0.36 で気温が上下するが、気温が 0 と低いいため雪が融けにくく積もりやすい状態である。その状態で 7.4 日周期の寒気と暖気の入れ替わりによる 0.62 という大きな気温変動がおきると、平均的に気温変動が 0.36 と小さい大雪の年では気温変動の差が大きいため、寒気と暖気の入れ替わりによる影響も大きい事が分かった。例えば気温が 0 付近を推移する状態で気温の振幅が最も大きければ集中的な降雪や融雪による雪崩の危険性を伴う可能性があることが分かった。

図 5 には大雪の年と小雪の年の冬季における 2 日から 20 日周期の気温変動を示す。ラインと縦軸、横軸は図 3 と同様である。以上の考察を図 5 で見たところ気温変動の周期特性がしっかりと現われ、考察の信頼性を確かめることができた。

結論

欠測値の補間を行う際に長岡と周辺地域の A M e D A S 観測点で気温データの相関を求めたところ、長岡と三条・柏崎・十日町の A M e D A S 観測点における気温データの相関は長岡と三条が一番高く、柏崎・十日町でもほぼ同じであることが分かった。

A M e D A S 長岡観測点の気温データを用いてフーリエ解析し、平年の雪が降ると判断した冬季(1月5日11時から2月25日23時)で20日より短い周期の気温変動の振幅を求めた。その振幅を大雪と小雪の年でそれぞれ周期毎に振幅の

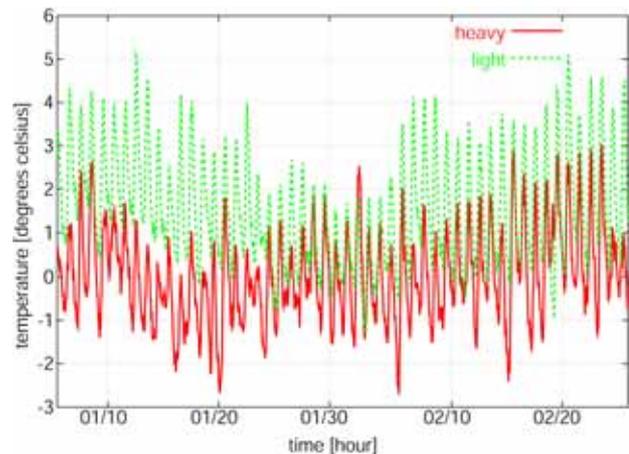


図 4 冬季における大雪の年と小雪の年の平均気温

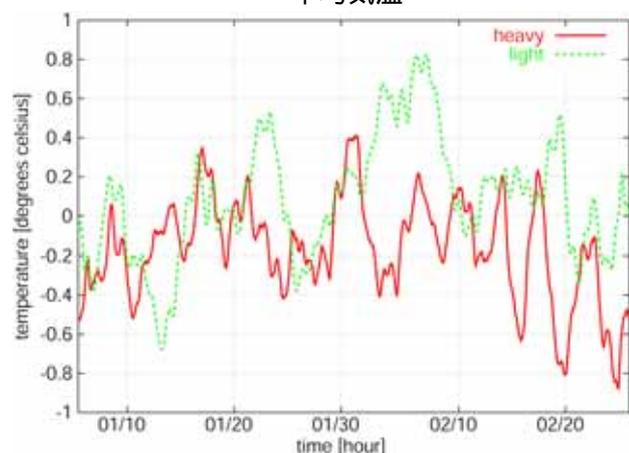


図 5 大雪の年と小雪の年の冬季における 2 日から 20 日周期の気温変動

平均をとり比較したところ、大雪の年では 4 日から 14 日周期の振幅の絶対値が平均的に 0.36 と小さく気温が約 0 と低いいため雪が積もりやすく融けにくい事が分かった。逆に小雪の年では平均的に 0.48 と大きく気温が約 2 と高いため雪が積もりにくく融けやすいことが分かった。この状態で 7.4 日周期での寒気と暖気の入れ替わりによる振幅の幅が大きな気温変動が起きると、気温変動に大きな差のある大雪の年では集中的な降雪や雪崩の危険性を伴い、小雪の年では気温変動に差がさほどないため大きな影響は現れないことが分かった。