

約10年の卓越周期を持つ本州東部の気温変動*

藤部文昭**

要旨

本州東部の気温を76年間の資料を使って解析した結果、約10年の卓越周期を持つ変動が見出された。気温偏差は秋と冬には本州東部の広域にわたって現れ、春と夏には関東～東北南部の東海岸(銚子, 小名浜など)に集中して現れる。これら東海岸の地点では地上気温のスペクトルに約10年のピークが明瞭に認められる。

沿岸水温にも気温と同符号の変動が見出された。特に東海岸(小名浜)では水温偏差が大きく、春～夏には気温偏差を上回る。従って、春～夏に東海岸に現れる気温偏差の直接の原因は水温偏差にあると推測される。

1. はじめに

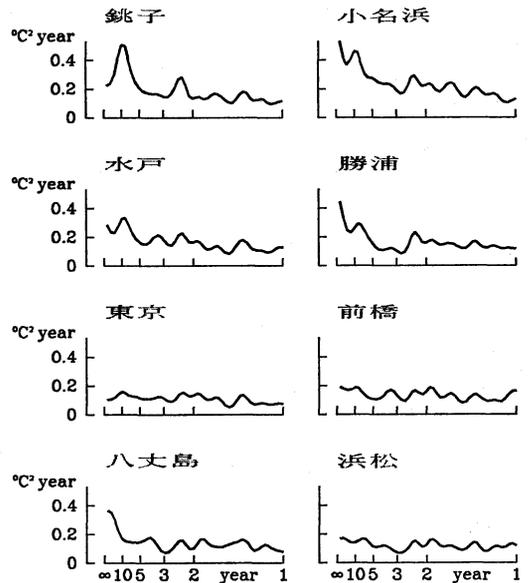
第1図は関東地方とその周辺の8地点について気温(第2節で定義される変動成分)のMEMスペクトルを示す。銚子と小名浜には約10年のピークがあり、水戸と勝浦にも弱いながら約10年のピークがある。これらは東海岸に面する地点である。東海岸から50 km以上離れた東京やさらに西の前橋では10年のピークははっきりしない。

第2図は銚子と前橋の気温差の時系列を示す。1950年代を除き、ほぼ10年周期で高温期と低温期が交互に現れる傾向がある(銚子の気温そのものにも約10年周期の変動は存在するが、前橋との差をとった方が短周期変動が弱まる分だけ10年周期が見えやすくなる)。図は省略するが、この周期性は春～夏の気温に特にはっきりと現れる。

約10年という長周期の気温変動が局地性を伴って現れることは興味深い。この報告では変動の空間構造、季節変化および沿岸水温との関係について簡単に解析した結果を紹介する。

2. 資料と解析方法

東日本(東京～札幌管区)の気象官署39地点における76年間(1911～1986)の月平均気温と、10地点における



第1図 各地点における気温のMEMスペクトル。横軸は周期、縦軸はパワー。

46年間(1941～1986)の月平均沿岸水温の資料を使った。

気温も水温も、地点別・月別に linear trend を求め、それからの偏差を変動成分と定義した。第1・2図でもこの変動成分が使われている。

周期10年程度の成分を取り出すために、次の時間フィルターを使った。

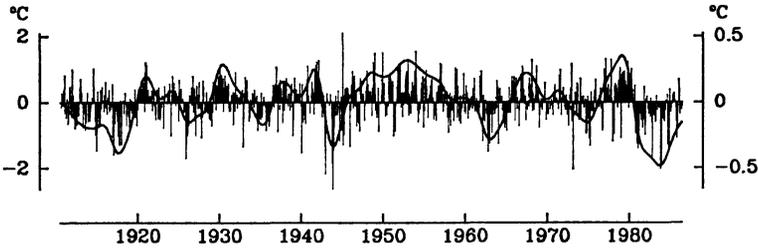
$$\int T_i(t') \exp \{ -[(t'-t)\pi/\tau_0]^2 \} dt'$$

* Air temperature variability in the eastern part of Honshu characterized by a dominant period of about ten years.

** Fumiaki Fujibe, 気象研究所予報研究部。

——1988年8月18日受領——

——1988年11月10日受理——



第2図 銚子と前橋の気温差(銚子-前橋). 各月の値を縦棒(目盛りは左側)で表し, これに $\tau_c=4$ 年のフィルターをかけたものを実線(目盛りは右側)で示す.

ここで $T_i(t)$ は地点 i における気温変動である. このフィルターによって, 周期 τ の変動 $\sin(2\pi t/\tau)$ の振幅は $\exp[-(\tau_c/\tau)^2]$ 倍になる. まず $\tau_c=20$ 年として長周期成分を求め, それからの偏差を取った. 次に $\tau_c=4$ 年として短周期成分を落とした.

得られた filtered data (以後の $T_i(t)$ はこれを表す) に対して回転主成分分析 (Richman, 1986, 1987) をした. これは, 狭義の主成分分析で得られる解(非回転解)の上位 K 成分を適当な規準に従って一次変換する方法である. 変換前と変換後の解はどちらも次の条件を満たし, 最小2乗法的な意味で $T_i(t)$ に対する最良の近似になっている.

$$\int \sum_i [T_i(t) - \sum_{k=1}^K F_k(t) A_{ik}]^2 dt \rightarrow \text{最小} \quad (1)$$

A は気温の次元を持ち, 各地点における変動の大きさと向き (標準偏差×符号) を表す. F は標準偏差が1になるように規格化された時間変化を与える.

今回は $K=30$ とし, raw varimax 法 (芝, 1979) を使った. この場合, 変換前の解は

$$\text{Cov}(F_k, F_h) = 1 (k=h \text{ の場合}); 0 (k \neq h \text{ の場合}) \quad (2)$$

$$\sum_i A_{ik} A_{ih} = 0 (k \neq h \text{ の場合}) \quad (3)$$

を満たすのに対し, 変換後の解は (3) の代わりに “varimax 規準”

$$\sum_k [\sum_i A_{ik}^4 - (\sum_i A_{ik}^2)^2 / N] \rightarrow \text{最大} \quad (4)$$

を満たす (N は地点数). (2) は変換後も成り立つので, 各成分は互いに無相関となる.

なお $K > 5$ ならば変換後の上位3成分は K にほとんどよらない. また raw varimax 法の代わりに規準 varimax 法を使うと F と A は少し変わるが, 結論 (第4節) には影響しない.

3. 結果

3.1 気温変動の空間分布

第3図と第4図は, 上位3成分の A_{ik} と $F_k(t)$ を示す. 第1成分 ($k=1$) は本州東部を主とする変動である. 変動の大きさは関東~東北南部の東海岸で最大であり, 1950年代を除いてほぼ10年周期の変動が見られる. 高温期・低温期の配置は銚子と前橋の気温差 (第2図) とよく似ており, 第1成分は銚子・小名浜など本州東海岸の気温に見られる約10年周期の変動に対応することが分かる. しかし同時に, 変動が東海岸だけでなく本州東部に広く及ぶことも注目される. 第2成分 ($k=2$) は北海道を主とする変動であり, 第1成分ほど明瞭ではないがやはり10年程度の周期性がある (図は省略するが, 北海道, 特にその東部の気温には約10年のスペクトルピークが見られる). 第3成分 ($k=3$) は東海地方を主とする変動であるが, 第1・2成分に比べて変動量は小さい.

第2成分以下についてはここではその存在を指摘するに止める. 以下, 第1成分についての解析結果を示す.

3.2 気温変動の季節依存性

$T_i(t)$, $F_k(t)$, A_{ik} の間には

$$A_{ik} = \text{Cov}(T_i, F_k)$$

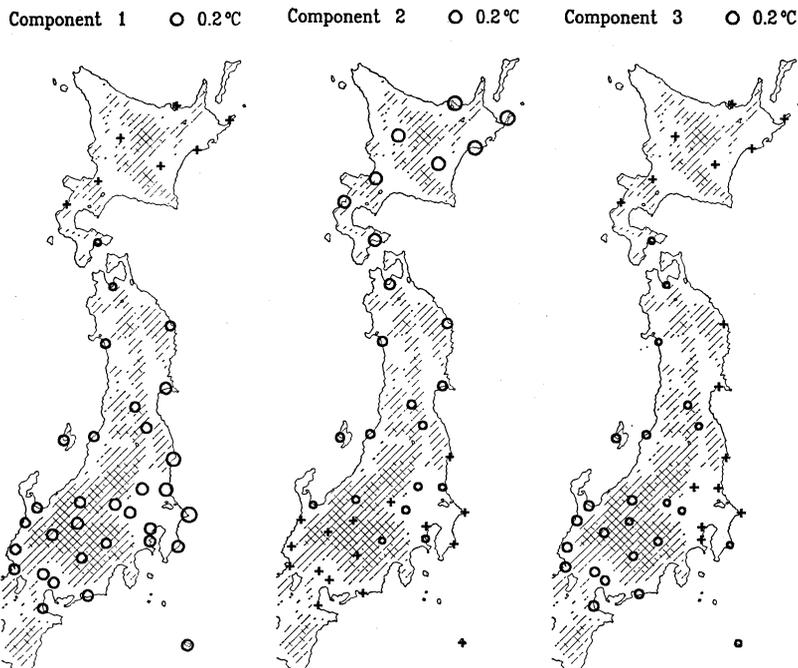
の関係が成り立つ. この式で, 右辺の $T_i(t)$ の代わりに特定の季節の資料だけを使って作った filtered data $T_i^*(t)$ を入れ, 第 k 成分の “季節別パターン”

$$A_{ik}^* = \text{Cov}(T_i^*, F_k)$$

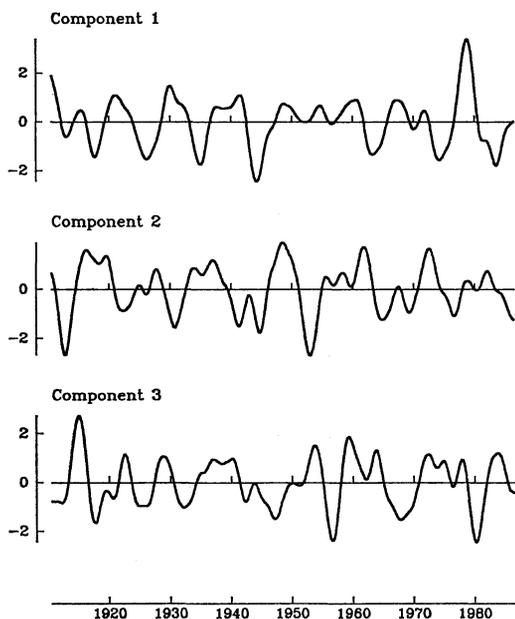
を定義する. 以後添え字の k はすべて1 (第1成分) なので省略する.

第5図は4つの季節の A_{ik}^* を示す. A_{ik}^* は秋と冬には本州東部全体にはほぼ一様に分布し, 値は冬に大きい. 春と夏には東海岸に面する地点に集中して大きな値が現れる.

第6図は8地点について A_{ik}^* の年変化 (月別の値)



第3図 気温変動の上位3成分の主成分パターン A_{ik} ($k=1\sim 3$). 円の面積がAの値に比例する(符号はこの図ではすべてプラス). +は絶対値 0.05°C 未満を表す. 斜線は海拔400 m および 1000 m 以上の地域を表す.



第4図 気温変動の上位3成分の $F_k(t)$ ($k=1\sim 3$).

1989年3月

を示す. この図からも, 秋~冬の気温偏差は広域に現れ, 春~夏の気温偏差は主に東海岸に面する地点に現れることが分かる.

3.3 気温変動と沿岸水温との関係

沿岸水温 $S_i(t)$ に対して, 気温変動に対応する変動を $B_i = \text{Cov}(S_i, F)$

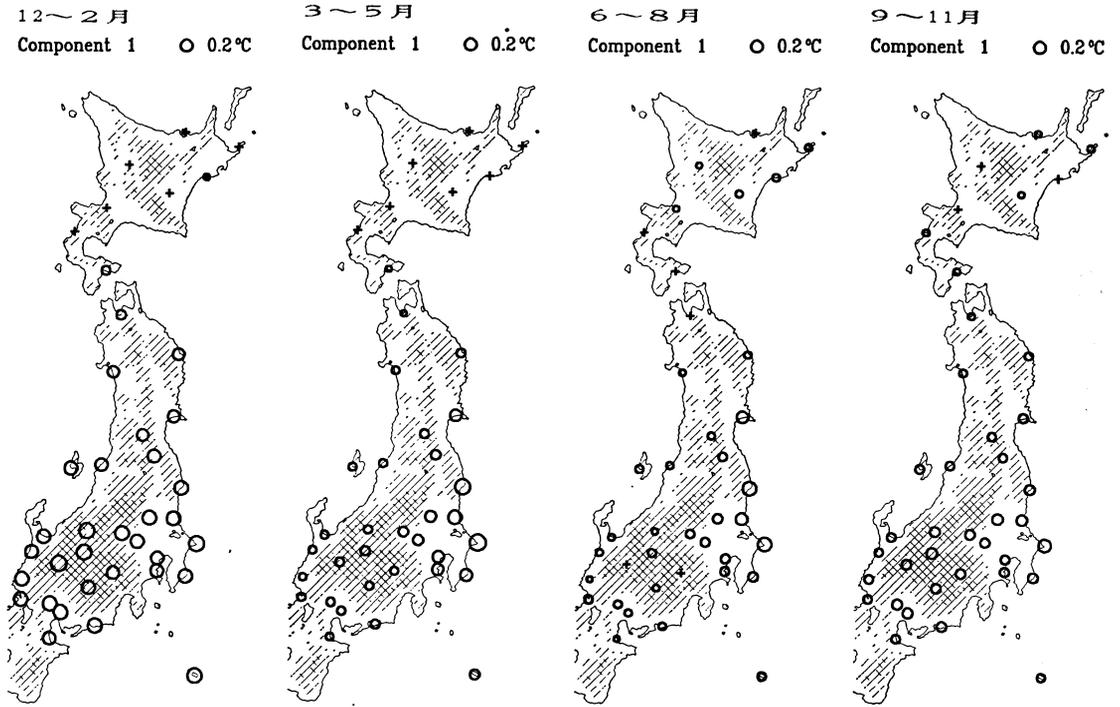
と定義する. S は T と同様, linear trend からの偏差に時間フィルターをかけたものである. また水温-気温の変動を

$$C_i = \text{Cov}(S_i - T_i, F)$$

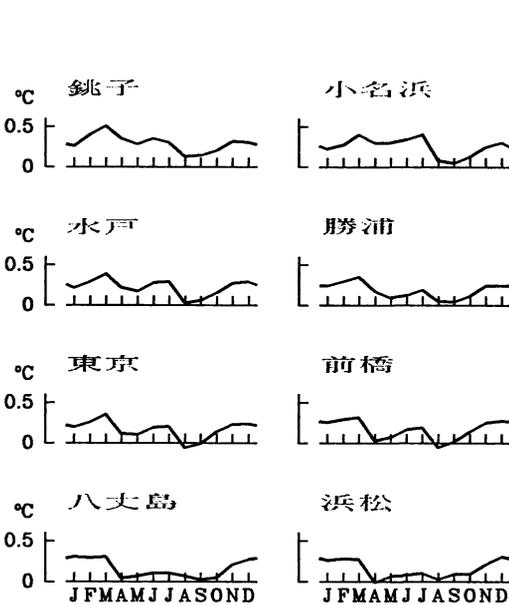
で定義する.

第7図は B_i と C_i を示す (C_i で, 飛島の水温については酒田の気温との差を使った). 小名浜で水温偏差が特に大きく, C_i がプラスである(水温偏差が気温偏差を上回る)ことが注目される.

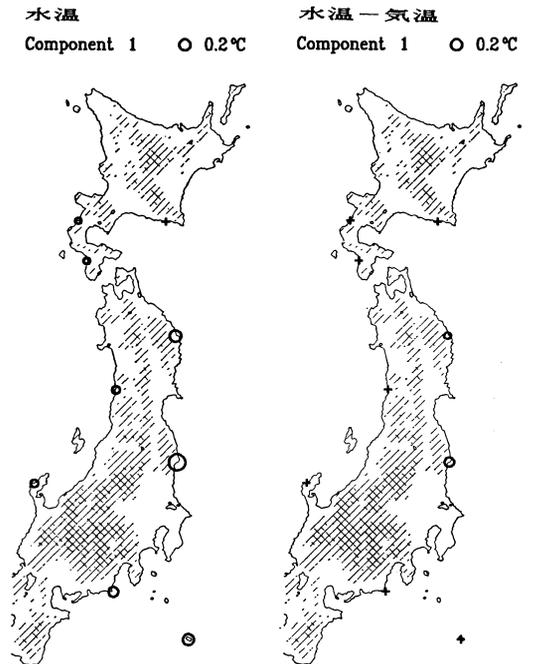
前節と同じ方法で, 季節別の水温変動 B^*_i , C^*_i を定義する. 第8図は小名浜と八丈島について B^*_i と C^*_i を月別に示す. 小名浜の水温偏差は気温と同様春と夏に大きく, この期間は水温-気温がプラスである. 八丈島では水温-気温は年間を通じてほぼ0である.



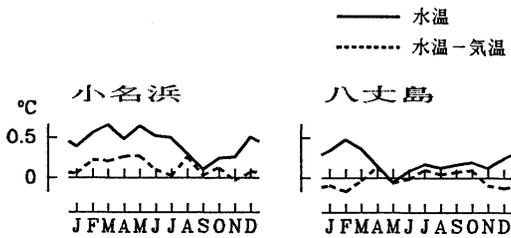
第5図 第1成分の季節別パターン A_{1i}^* . 表し方は第3図と同じで、黒丸はマイナスの値を示す.



第6図 各地点における月別の A_{1i}^* . 第1成分.



第7図 水温変動 B_i と水温-気温の変動 C_i . 第1成分.



第8図 小名浜と八丈島における月別の B^*_1 (実線) と C^*_1 (破線), 第1成分.

4. 議論

第1節では約10年周期の気温変動が局地性を持つこと、すなわち銚子・小名浜など本州東海岸で特に大きいことを指摘した。この変動について次の事実が示された。(1) 気温変動の局地性が著しいのは春～夏であり、秋～冬の気温偏差は広域にはぼ一様に現れる。(2) 春～夏の東海岸では水温偏差が気温偏差を上回る。(2)から、春～夏の東海岸の気温偏差は水温偏差に直接の原因があると推測される。

東日本の地上気温については、1950年頃を境にして冬～春の気温が不連続的に上がった“気候ジャンプ”が知られている (Yamamoto *et al.*, 1985)。一方、東北地方太平洋岸の水温にもほぼ同じ時代にジャンプがあり、これは夏にも認められる (近藤ら, 1987, 1988)。近藤らは、低温期 (1923～1945年) には冬の気圧傾度が大きく (従って季節風が強く) 海面の冷却量も大きかったことを指摘し、冬の季節風の強弱が海面冷却量の大小を通じて東北太平洋岸の水温に影響するという仮説を示した。さらに、この水温偏差が夏まで持続して沿岸の気温に影響するというフィードバック機構が考えられている。

冬 (あるいは秋～冬) の広域気温偏差が春～夏の本州東海岸の水温・気温偏差を伴うという点で、気候ジャンプと10年周期変動とは共通する性格を持つ。従って近藤らの研究は10年周期変動を考える上でも興味を持たれる。しかし10年周期変動の機構についてはここでは深入りを避け、今後の問題点として残しておきたい。

謝辞

気温の資料は気象研究所電計管理班および気象庁統計室所有の磁気テープに依った。水温の資料は気象庁発行の「日本近海 海況図集・第2集」(1976) と「海洋気象観測資料」(毎年) に依った。計算には気象研究所の HITAC M-280 D 計算機を使った。

水温の資料を紹介して下さった気象研究所海洋研究部の遠藤昌宏・四電信行の両氏に感謝します。

文献

近藤純正, 上野英克, 山崎幸雄, 1987: 東北地方太平洋側の海面熱収支が沿岸域の気候に与える影響, 昭和62年度日本気象学会東北支部講演予稿集, 19-22.
 近藤純正, 上野英克, 山崎幸雄, 1988: 昭和初期の東北地方太平洋沿岸域での大気と海洋の相互作用, 日本気象学会予稿集, 53, 179.
 Richman, M.B., 1986: Rotation of principal components, *J. Climatol.*, 6, 293-335.
 Richman, M.B., 1987: Rotation of principal components: a reply, *J. Climatol.*, 7, 511-520.
 芝 祐順, 1979: 因子分析法. 東京大学出版会, 298 pp.
 Yamamoto, R., T. Iwashima and Sanga N.K., 1985: Climatic jump: a hypothesis in climate diagnosis, *J. Meteorol. Soc. Japan*, 63, 1157-1160.

日本気象学会平成元年度春季大会シンポジウム開催のお知らせ

テーマ: オゾン層の科学—現状と課題—

座長: 関口理郎会員

- 演題 ①オゾン層の観測 下道正則 (気象庁観測部)
- ②オゾン層の力学 神沢 博 (国立極地研究所)
- ③オゾン層の化学 近藤 豊 (名大空電研究所)
- ④オゾン層モデリング

佐々木徹 (気象研究所)

⑤総合討論

日時: 平成元年5月25日15時30分～17時30分

場所: 気象庁講堂

日本気象学会平成元年度春季大会実行委員会
 シンポジウム企画係(気象庁測候課 伊藤朋之)
 電話 (03) 212-8341 (内 354)