

定線調査データを使った水温の 季節変化曲線の算出方法

竹内 淳一 (和歌山県水産試験場)

はじめに

決められた観測点で定期的におこなわれる海洋観測の水温データは、ふつう1ヶ月を単位として月別の単純平均を求め、平年値として取り扱う場合が多い。この方法は計算処理が簡便のため、古くから用いられ(宇田・渡辺, 1933), 最近でも平均海況図の作成(近藤, 1976; 小村, 1983)や黒潮の蛇行・非蛇行期による海況の違いを比較する時など(藤本・友定, 1980; 坂本, 1985), 一般的によく用いられる手法である。

ただし、この方法で求めた平年値を使って平年差を計算すると、かなりの誤差が含まれることがある。観測日が月の上旬であるか、中・下旬におこなわれたかによって生ずる誤差である。その誤差は、季節変化の大きい表層付近のデータで水温上昇期・下降期にとくに大きく計算される。

また、駿河湾や遠州灘のように夏季の50~100 mを中心に低温現象—水温第2極小—が現われたり(中村, 1982), 紀伊水道でも夏・秋季に中・底層で低温現象があること(竹内, 1986)などによって、夏~秋季に昇温が押さえられる傾向を正確に表現できず、平年差にも大きな誤差が生まれる可能性がある。

各県地先で毎月1回定期的に観測がつづけられている浅海・沿岸定線調査は、原則として月の上旬に実施することになっているが、その時々事情から観測日が中旬以降にずれることもある。しかも欠測の場合があるので、等間隔の時系列データとして処理することはできない。

このような不等間隔に散らばったデータから季節変化を調和分解する方法は複雑である。計算方法の複雑さなどから、友定(1984)は最少二乗法による最確値正弦曲線を求めている。また、坂本(1981)は旬ごとの算術平均を求め、水温の年周変化曲線をフリーハンドで描くといった前処理をしたあと、36個の旬平均値を使って調和分析をした。

年変化の振幅、位相などを求めるには調和分析の方法が必要となる。ただし、この方法で求められる曲線が周年をつうじて平均値として最も妥当であるか、各月のデータに最もフィットしているかは疑問のあるところだ。またこの方法では、前述のような表・中層付近で夏・秋季に水温上昇が停滞する現象を正確に表現できない。

平年値とは、不等間隔に散らばったデータの中央を通る季節変化曲線として表わされるはず、と考える。つまり、5~8月の水温上昇がにぶる一時期を表現することができなければならない。そうでなけ

れば、平年差の度数分布はプラスかマイナスのどちらかに偏ってしまい、平年差の意味を失う。

ここでは、水温の平年値として最も代表性のある季節変化曲線を決定する方法について、その一例を紹介する。この計算結果は、等間隔の時系列データとなっているので、一般に市販されている調和分析のプログラムを利用し、年変化の振幅、位相などを計算できよう。

資料および方法

使用した資料は、1950年あるいは1972年から1986年の期間に、和歌山県水産試験場が地先定線調査および浅海定線調査として、紀伊水道で毎月1回、定期的に行った海洋観測資料である。観測点の位置は、図1に示した。ここでは上記資料のうち、St. 11の水深別(0, 10, 20, 30, 50m)とSt. 1~12, 13~18の計18点における0mの水温データを例として使った。

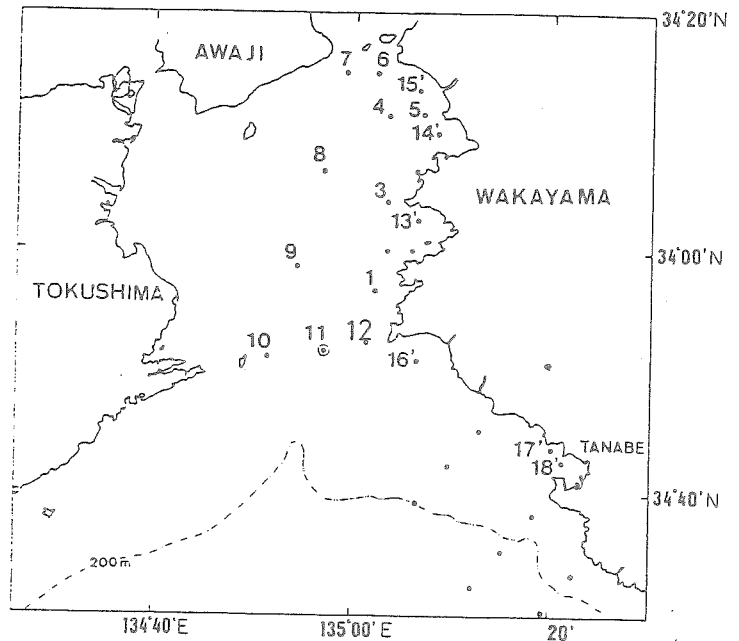


図1 浅海定線調査の観測点

季節変化曲線は、つぎの二つの方法で求めた。

その第一は、最小二乗法を用いた多項式

$$(a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n)$$

による近似である。この方法を、ここでは最小二乗法と呼ぶ。実際には6次の多項式で近似した。

第二は、変則的な移動平均の方法で、ある期間内(ここでは30日)のすべてのデータについて観測日と観測値の平均値を1日ずつずらして、次のように順次求めるものである。

観測日を1~365までの1年間の日数になおし(1月1日が1, 12月31日を365とする), 観測日が d_i から $d_i + 30$ の30日間に含まれるデータについて

観測回数 ; n_i

観測日 ; $D_1, D_2, D_3, \dots, D_{n_i}$

観測値 ; $T_1, T_2, T_3, \dots, T_{n_i}$

としたとき、観測日と観測値の平均値は次のように求められる。

$$\bar{D}_i = (D_1 + D_2 + D_3 + \dots + D_{n_i}) / n_i$$

$$\bar{T}_i = (T_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_{n_i}) / n_i$$

つづいて、観測日を1日ずらした $d_i + 1$ から $d_i + 30 + 1$ の30日間に含まれるデータの観測日と観測値の平均値も同様に求められ、この計算を順次くりかえす。

その結果を直線補完によって、整数の観測日での水温値になおす。さらに平滑な曲線とするため11日間の通常の移動平均をおこなう。この方法のことを、ここでは移動平均法と呼ぶ。これによく似た方法として、竹内(1981)は1~12月のすべてのデータをプロットしてフリーハンドで観測値の中心付近を通る平滑曲線を決めた、しかし曲線をフリーハンドで描くのは主観が入る欠点があり、実用的でなかった。ここに示す移動平均法では、主観が入り込むことはない。

いずれの方法でも実際の計算には、パーソナルコンピュータを使い、1月1日から12月31日まで、観測日の順に並べかえた年間データとし、その前後に2ヶ月ずつデータを加えた次のような16ヶ月としたものを使った。

(11~12月) + (1~12月) + (1~2月)

1~12月のデータだけでは、データのはじめ(1月)と終わり(12月)の部分で計算結果が得られなかったり、著しく不適当な n 次曲線となることがあるためだ。計算終了後は1~12月の年間データだけを残した。このようにして平滑化された季節変化曲線から、等間隔の観測日に対する水温値が決定される。

結 果 と 考 察

1. 二つの方法による季節変化曲線の比較

最小二乗法と移動平均法の二つの方法によって近似した季節変化曲線を比較し、移動平均法が優れていることを示す。

紀伊水道入口中央部の St. 11における水深0 m と50 m の水温データを使って季節変化曲線を求めた例を図2, 3に示した。最小二乗法による曲線を細い実線、移動平均法の結果を太い実線で示した。実測値は、点でプロットした。二つの方法で近似した季節変化曲線は、散らばったデータのほぼ中間付近を通っている。その詳細は以下のとおりである。

最小二乗法による近似では、水温上昇期(6~7月)には実測値が曲線の下側に偏る傾向があり、下降期(9, 11月など)にはその逆の傾向がある。また、水温最低期(2~3月)には実測値が曲線の上側に偏っている。つまり、この方法で求めた平均値は年間の水温ピークを境として、水温上昇期には高温傾向、水温下降期には低温傾向と、計算されることになる。この傾向は水深0 m で顕著にあらわれ、水深50 m ではそれほどでもない。水温の最低期(2~3月)には、0 m の平均水温が約1℃低温となってしまう。

これに対し、移動平均法による近似曲線は、散らばったすべてのデータの中央付近を通っており、最小二乗法での近似よりもデータの代表性が高いといえる。6~7月の水温上昇停滞期が表現できており、2~3月もほぼ妥当な値である。

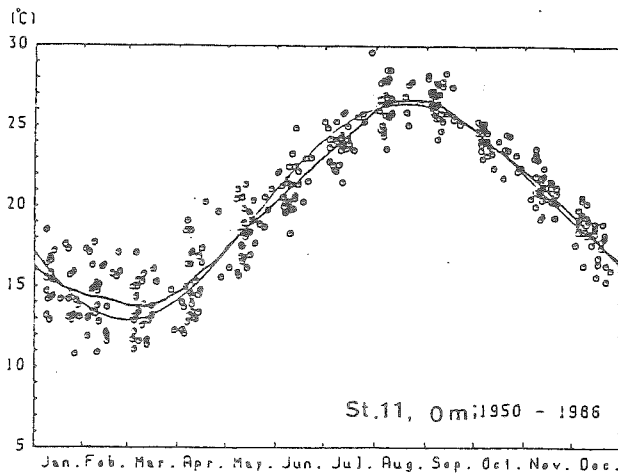


図2 紀伊水道入口 (St. 11) における
0 m 水温の季節変化曲線 (細線が
最小二乗法, 太線は移動平均法)

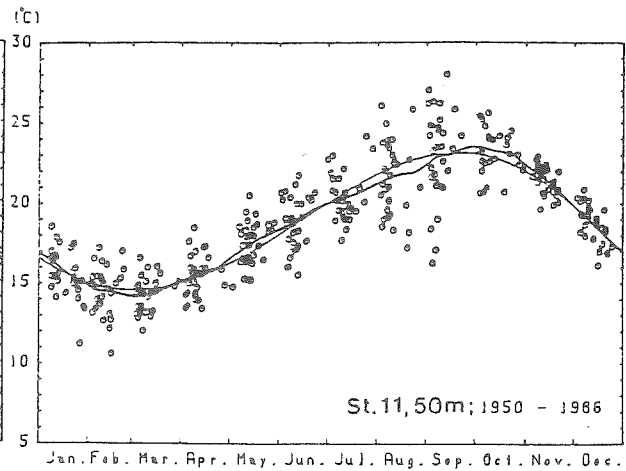


図3 紀伊水道入口 (St. 11) における
50 m 水温の季節変化曲線 (細線が
最小二乗法, 太線は移動平均法)

この二つの方法による違いが大きく表わ
れた期間である2~3月と7~8月につい
て, それぞれの方法で求めた曲線を平年値
として平年差を求め, その度数分布を図4
に示した。上段が最小二乗法, 下段が移動
平均法である。前に述べたように, 最小二
乗法による平年差の分布は, 2~3月にプ
ラス側に偏り, 7~8月はマイナス側に偏
る。これに対し, 移動平均法ではいずれも
偏差0を中心にほぼ均等に分布する。

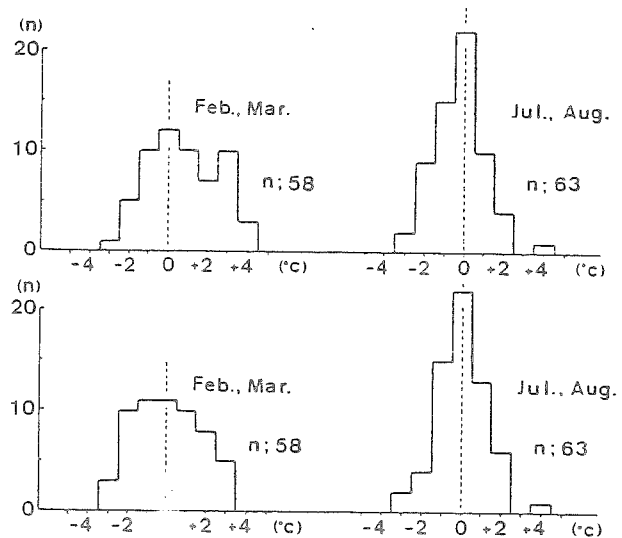


図4 二つの方法による平年差の度数分布の比較
(上段が最小二乗法, 下段は移動平均法)

2. 水深による季節変化の相違

観測水深を変えた場合について, 紀伊水道入口中央部の St. 11 における水深 0, 10, 20, 30, 50 m を例にし
て説明する。図5が最小二乗法, 図6は移動平均法の計算結果である。

年間の最高水温は, 上層では8月に現われ, 50 m 深ではこれよりも約1ヶ月遅れた9月下旬~10月上
旬になる。下層ほど最高水温となる時期が遅れている。また, 水温躍層は5月ころから形成されはじめ,
0 m 水温が最高となる7月下旬~9月上旬にかけて顕著となる。9月中旬以降, 水温躍層が急にくずれ,
上下層がよく混合される。12月~4月中旬の期間は下層で水温がわずかに高く, 水温逆転がつづく。

図6の移動平均法では7月の水深20~30 m で水温上昇が停滞している様子が見られる。しかし, 最小二

乗法では、このことが表現できず、2月～3月の水温逆転も大きすぎる。

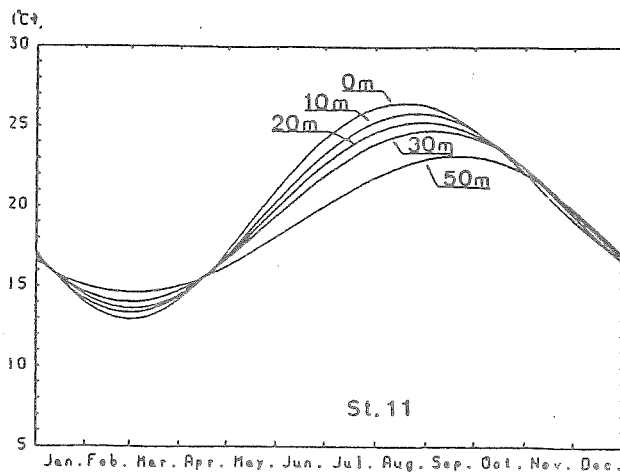


図5 最小二乗法による水温の水深別季節変化曲線 (St. 11)

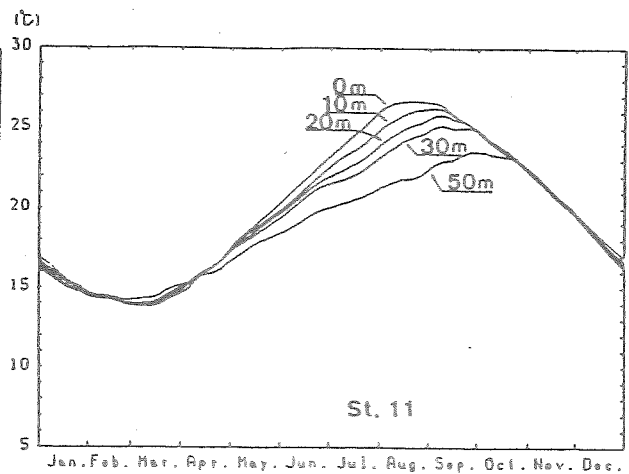


図6 移動平均法による水温の水深別季節変化曲線 (St. 11)

以上の1, 2から、移動平均法で決定された季節変化曲線は実測値をよく代表しており、平年値として妥当なものと、考える。

3. 0 m 季節変化曲線の観測点による違い

移動平均法で求められる季節変化曲線が、実測値をよく反映した平年値と考えられるので、この方法を使って、浅海定線調査の18測点における0 m水温の季節変化曲線を求め、図7に示した。

水温は、紀伊水道北部で低く、紀伊水道入口や田辺湾で高い。最低水温は水道北部で早く、紀伊水道入口や田辺湾で遅れる傾向がうかがえる。いずれの測点でも、5月に水温上昇がいったん停滞するのが特徴的である。最

高水温はすべての測点で8月～9月上旬にあらわれ、時期的な水温ピークのズレはほとんどない。9～10月の水温下降期には、測点間の水温差が約1℃と最も小さくなる。この水温差は11月以降、次第に大きくなり2～3月には約5℃に達し、それは水温上昇がはじまる4月までつづく。この冬～春季の大きな水温差は、吉岡(1971)が報告した紀伊水道フロントの形成と関連している。

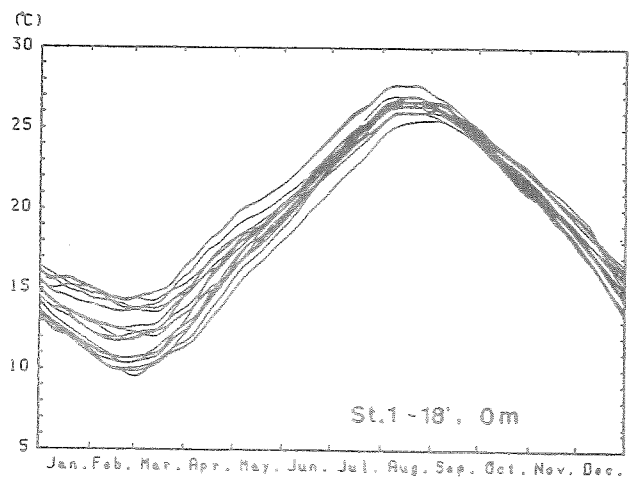


図7 紀伊水道・田辺湾 (St. 1～12, St. 13～18) における0 m水温の季節変化曲線

4. まとめ

等間隔の時系列データとして処理することができない定線調査データを使って、実測値を最も代表する平年値、すなわち季節変化曲線を決定する方法について検討した。その検討方法は、最小二乗法と移動平均法の二つである。このうち移動平均法による結果は、年間データのすべての観測値の中央付近をとる平滑曲線となり、5～7月の一時期、水温上昇が停滞することが表現できる。この方法で求めた平均値からの平年差の度数分布はプラス、マイナスのどちらにも偏ることがなく、平年値として妥当なものである。その計算結果は、等間隔の時系列データとなっているので、水温の年変化の振幅、位相などを求めるための調和分析の前処理として有効である。

文 献

- 宇田道隆・渡辺信雄(1933)：瀬戸内海の平年各月海況。水産試験場報告，3，137～164。
- 近藤正人(1976)：瀬戸内海の海況に関する研究資料-1，底層平均水温・塩分の分布。昭和51年度南西海区水研ブロック浅海定線調査担当者会議資料。
- 小村久美男(1983)：瀬戸内海の平均的海況。神戸海洋気象台彙報，201，10～39。
- 藤本 実・友定 彰(1980)：黒潮大蛇行期・非蛇行期からみた本州南東沿岸域の平均水温分布について。東海水研報告，103，17～30。
- 坂本久雄(1985)：紀伊水道及びその外域における黒潮蛇行期と非蛇行期の平均水温について。南西水研報告，(18)，39～49。
- 中村保昭(1982)：水産海洋学的見地からの駿河湾の海洋構造について。静岡水試研究報告，17(特別号)，1～153。
- 竹内淳一(1986)：紀伊水道における海況の変動-夏・秋季に出現する中・底層の低水温現象-。南西海区ブロック海洋研究会，№3，69～84。
- 友定 彰(1984)：日本周辺の水温変動-水産における定線観測から-，「資源」，№218，49～61。
- 坂本久雄(1981)：土佐湾の海洋構造について-Ⅱ，表面水温。南西水研報告，(13)，29～39。
- 竹内淳一(1981)：紀伊水道海域における全層平均水温，塩分および透明度の季節変化と経年変動の特徴。瀬戸内海浅海定線調査成果報告(その2)，南西海区水産研究所，30～41。
- 吉岡 洋(1971)：冬期紀伊水道に発生する Oceanic front について。海と空，46(2)，31～44。