

例会講演要旨集

第63号

海洋と気象

目次

講演

- 「単純化された非線型モデルによる大気大循環形態の研究」……………1
余田成男（京都大学理学部助教授）

例会

1. 大阪湾北部沿岸海域の流れ（2）……………5
杉山公隆・石地毅一・横田正俊・斎藤 実（神戸商船大学）
2. 東京湾の風による流動の観測結果について……………9
小田巻 実（海上保安大学校）
3. 黒潮流路と流量・流速の大小との関連……………13
関根義彦（三重大学生物資源学部）
4. 大気と海洋がカップルしたグローバルな変動……………18
関根義彦（三重大学生物資源学部）
5. 137°Eにおける海の熱・質量輸送について……………21
西山勝暢（気象研究所海洋研究部）
6. 複数衛星データによる海洋表層流量の推定……………24
香西克俊（神戸商船大学）・土屋 清（帝京大学）
7. オホーツク海の最近の氷況について……………28
上平悦郎（気象庁海洋気象部）
8. 山越え気流の数値シミュレーション……………30
隈部良司（神戸海洋気象台）
9. ドップラーソダによる海風構造の研究……………32
井本義成（高知大学大学院）
10. ドップラーソダによる大気境界層下部の乱流構造の研究……………36
肥川靖隆（高知大学大学院）
11. 暖かかった時代の全地球的な気候復元について（紹介）……………41
森 広道（大阪管区気象台）
12. 明治23年大島沖トルコ軍艦遭難の気象学的解析……………47
半澤正男（神戸山手女子短期大学）・梯 武浩（気象庁OB）
13. 北海の自然……………50
上瀧昭六（大島商船高等専門学校）

1993年1月25日(月) 神戸海洋気象台

日本気象学会関西支部
海洋気象学会

単純化された非線型モデルによる大気循環形態の研究

余田 成男 (京都大学 理学部 地球物理学教室)

1. はじめに

大気循環の力学に関する諸問題を考えるとき、鍵となることの一つに系の非線型性が挙げられる。一般に、非線型な問題に対しては、局所的に線型化して、または、わずかに非線型な状況(弱非線型)に限定して解析的に議論を展開する方法と、コンピュータを用いて非線型問題を数値的に解く方法との二つのアプローチがある。数値的に解く場合、研究の道具として数値モデルを用いるが、このようなモデルには簡単なものから複雑なものまでさまざまな階層がある。これらをモデルの複雑度によって3つに分け、それぞれの特徴を示すと表1のようになる。目的となる問題毎に、これらの階層的モデル群は組み合わせられ、それぞれの特徴を活かされながら使われている。

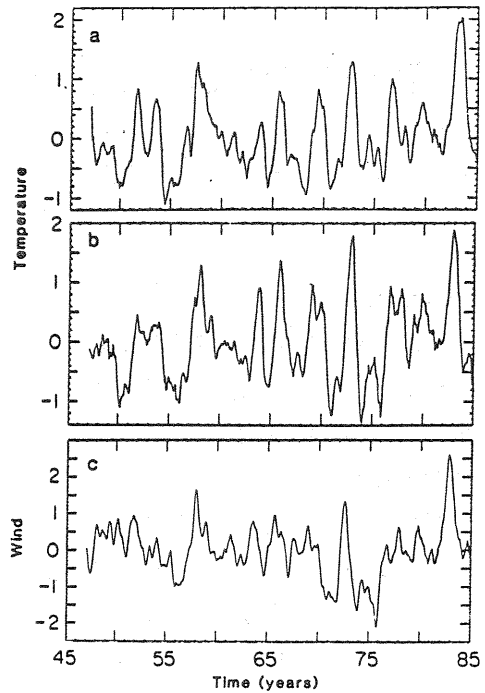
過去10年以上にわたって、私はLorenz(1963)やCharney and DeVore(1979)によって導入された単純化した大気循環モデルの非線型構造を数値的に調べてきた。1970年代から80年代にかけて、応用数学分野では分岐理論やカオス理論など非線型現象(システム)を解析する道具だてが整ってきたので、これらを大気力学の非線型問題に応用しようと試みたわけである。気象研究ノート(松田・余田, 1985)にもまとめたように、このような解析手法は、惑星大気大循環や対流圏大規模力学の諸問題にとどまらず、海洋循環や気候モデルなど地球科学のさまざまな問題にも有効であることが判ってきた。さらに、同様の手法でいくつかの中層大気循環メカニスティックモデルの持つ非線型な構造を調べ、大気循環形態の基本的理解を深めることができた(余田, 1993)。

今回の講演では、私自身の研究ではないが、ENSO(El Nino-Southern Oscillation)の単純化された非線型モデル(Vallis, 1986)を紹介し、その非線型構造を解析することにより、熱帯域の大気-海洋モデルでカオス的な自励振動が可能であることを示す。

表1: 数値モデルの分類

複雑度	呼び名	特徴
簡単	mechanistic models	概念, 模式的, 定性的
中位	mechanistic circulation models	ピュア, 理想化, 定量的
複雑	general circulation models	複雑, 具体的, 現実的

Fig. 1. (a and b) Time series for 1947 to 1985, of average sea-surface temperature anomaly ($^{\circ}\text{C}$, annual cycle removed) for (a) the eastern equatorial Pacific (10°N to 10°S , 100°W to 80°W) and (b) the central equatorial Pacific (170°W to 120°W , 5°S to 5°N). (c) Time series of eastward surface wind anomaly (m sec^{-1}) in the central equatorial Pacific. Winds are combined averages over regions 150°E to 140°W , 0° to 10°N and 160°E to 160°W , 0° to 10°S . All series are of 5-month running means. The overall similarity of the fields is suggestive of large-scale controlling processes, and thus indicates that a low-order model can capture much of the essential dynamics. [Data courtesy of T. Barnett]



2. ENSO と Vallis(1986) モデル

El Nino とは、何年かに一度起こる東部赤道太平洋域の海面水温の上昇のことで、それとともに貿易風の風向が逆転する。また、Southern Oscillation とは、南太平洋域の地上気圧場のシーソー型変動で El Nino と密接に関連している。ENSO の各指標の 1947 年から 1985 年の期間における変動を Fig.1 に示す (以下、図はすべて Vallis(1986) より引用)。大規模な El Nino イベントは、1957 年、1965 年、1972 年、1982 年に起こっている。ENSO の特徴として、次のような点が挙げられる。

- 非周期 (カオス) 的な変動である。
- 特定の季節に始まる傾向がある。
- 大西洋やインド洋には同様の変動がない。

このような ENSO の特徴を説明し得る力学的簡単モデルが、Vallis(1986) によって提案された (Fig.2)。モデルは、赤道海流 (u)、西部および東部赤道域の海水温 (T_W, T_E) の 3 変数の非線型常微分方程式系から成る。

$$\frac{du}{dt} = B(T_E - T_W)/2\Delta x - C(u - u^*) \quad (1)$$

$$\frac{dT_W}{dt} = u(\bar{T} - T_E)/2\Delta x - A(T_W - T^*) \quad (2)$$

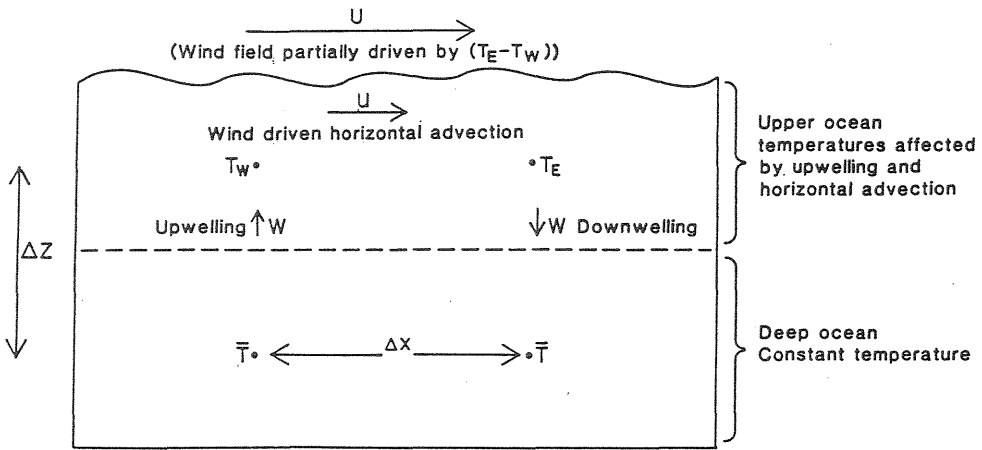


Fig. 2. Schema of model. Below the “thermocline” the temperature is constant, \bar{T} . The wind, driven in part by the temperature gradient ($T_e - T_w$), generates a current which, by mass continuity, generates upwelling or downwelling as well as horizontal advection. Now if $\partial T/\partial t = -(uT)_x - (wT)_z$ and normal velocities are zero at domain boundaries, then $dT_w/dt = [0 - u(T_w + T_e)/2]/\Delta x + [w(\bar{T} + T_w)/2 - 0]/\Delta z = u(\bar{T} - T_e)/2\Delta x$, since $w/\Delta z = u/\Delta x$ by mass conservation. Addition of damping terms gives Eq. 2. Similarly for T_e .

$$\frac{dT_E}{dt} = u(T_W - \bar{T})/2\Delta x - A(T_E - T^*) \quad (3)$$

ここで、 $A, B, C, u^*, T^*, \bar{T}$ は外部パラメータである。このシステムの定常解の外部パラメータ依存性、それらの線型安定性、および、周期解・非周期解のパラメータ依存性を伝統的手法で調べることができる。Fig.3は代表的なパラメータ値に対して得られた非定常解の一例で、4年から8年程度の間隔で“El Nino”が起きている。相空間内の軌道を見ればカオス解であることが明らかである。また、 u^* の周期的な季節変化を与えて時間積分すると、“El Nino”の始まりが10月頃に集中する。さらに、海洋の東西幅 Δx を小さくすると、温度変動が比例して小さくなる。これらの結果は、上述の ENSO の特徴を示すものである。

3. おわりに

El Nino および ENSO に関して、さまざまな階層の数値モデルが開発され、実験されている。ここで紹介した Vallis(1986) のモデルは、最も単純化されたものであるが、ENSO の特徴を定性的に再現できている。これは、ENSO(非周期的変動解) が系の内部力学だけで生じ得ることを示した数少ない研究である。

簡単モデルによるアプローチは大循環モデルを用いた研究と相補的である。大循環モデルは巨大な非線型システムなので、初期値問題として時間発展させるしかない。そのとき、まずは現実に似た状況(コントロール)を計算機で作り出しておいて、何か条件を変えて実験した結果をコントロールと比較するというのが基本手法となる。現実に近い複雑なモデルではあるが、簡単モデルのように何百回、何千回のオーダーの実験は不可能である。逆

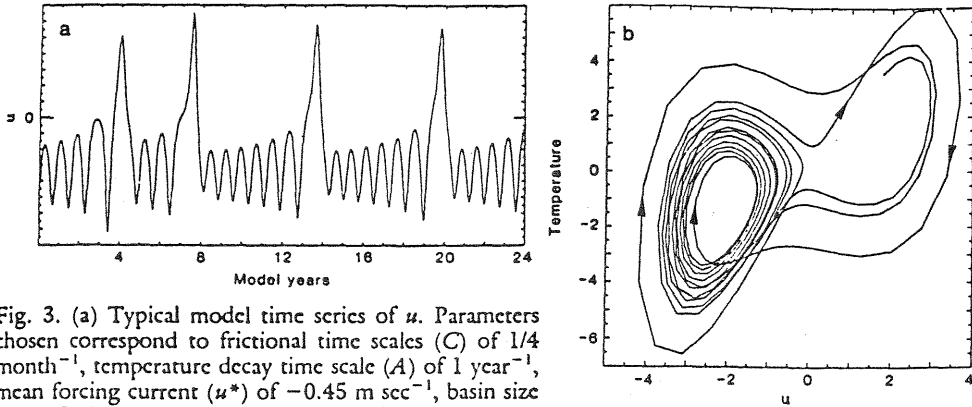


Fig. 3. (a) Typical model time series of u . Parameters chosen correspond to frictional time scales (C) of $1/4$ month $^{-1}$, temperature decay time scale (A) of 1 year $^{-1}$, mean forcing current (u^*) of -0.45 m sec $^{-1}$, basin size (Δx) of 7500 km, and T^* of 12°C . A and C are similar to those of many modeling studies (6, 8). The parameter u^* has the value of typically observed mean near-surface westward currents (17). T^* is a typical temperature difference across the thermocline (18). A realistic value of B is difficult to assess. The value used here (2 m 2 sec $^{-2}$ C $^{-1}$) is approximately equivalent to supposing a current of 35 cm sec $^{-1}$ can be generated in 1 month by a temperature difference ($T_e - T_w$) of 2°C . (b) Trajectory of system projected onto u , ($T_e - T_w$) plane, over a period of 12 years. Arrows indicate direction of flow. Model has previously been integrated for several years, and the initial conditions "forgotten." Time-stepping uses fourth-order Runge-Kutta.

に、簡単モデルは、どこまで現実を反映しているか多くの問題点を残している。このようなモデルは概念を作ったり、大枠をイラストするには使えるが、議論の詰めは大循環モデルのような“簡単”でないモデルが必要である。それぞれの特徴を理解して、目的に合わせてうまく使い分けてゆくのが賢明な道といえよう。

今も計算機の能力はさらに向上している。ワークステーションの導入による計算機の分散・ネットワーク化や、超並列の専用計算機による高速化などの新しい動きがある。それらの恩恵で、変数の数が $O(10^4 \sim 5)$ 程度の完全非線型力学モデルを用いて、その非線型構造を詳しく調べることができるようになってきた。他力本願ではあるが、やがては、大循環モデルまでも徹底的に調べられるのではないかと思われる。

参考文献

Charney, J.G., and J.G. DeVore, 1979: Multiple flow equilibria in the atmosphere and blocking. *J. Atmos. Sci.*, **36**, 1205–1216.

Lorenz, E.N., 1963: The mechanics of vacillation. *J. Atmos. Sci.*, **20**, 448–464.

松田 佳久・余田 成男, 1985: 気象とカタストロフィー—気象学における解の多重性—. 気象研究ノート, **151**, 145pp.

Vallis, G.K., 1986: El Nino: A chaotic dynamical system? *Science*, **232**, 243–245.

余田 成男, 1993: 簡単化された非線型モデルによる大気循環形態の研究. 天気, **40**, 印刷中.

大阪湾北部沿岸海域の流れ (2)

杉山公隆・石地毅一・横田正俊・斎藤実
(神戸商船大学)

1 はじめに

大阪湾では、近年埋立やそれに伴う防波堤の設置により海岸地形は著しく変化している。その変化によって潮流がどのように影響を受けるか調べるのが本研究の目的である。そのため1992年の夏期に約30時間の潮流観測を行い、その調和解析の結果と同海域の潮流の数値計算結果とを対比させて調べた。

2 観測

観測海域である尼崎西宮芦屋港は北と東を陸地で、また南と西を埋め立て地と堤防によって囲まれた東西に長い海域である。この海域での流れを知るために1992年7月20日に、約30時間観測をFig. 1に示す測点で行った。観測ではアンデラー流速計を用い水深5mで、サンプリングを1分間隔で行った。

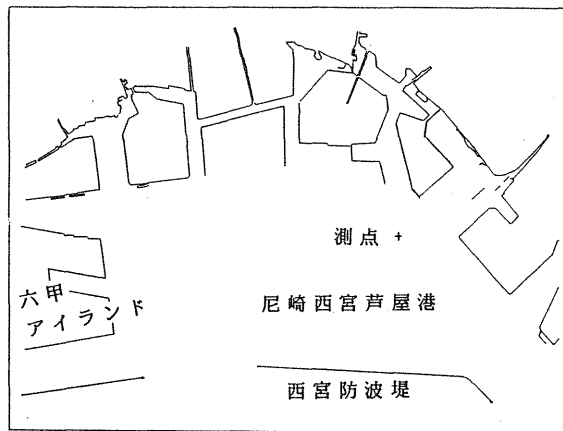


Fig. 1 観測点

3 観測結果と解析結果

流速を南北成分と東西成分に分け、北流と東流を正として測定結果をFig. 2に示す。これをスペクトル解析し、その結果をFig. 3に示したが南北成分、東西成分どちらも日周潮がかなり卓越していることがみとれる。

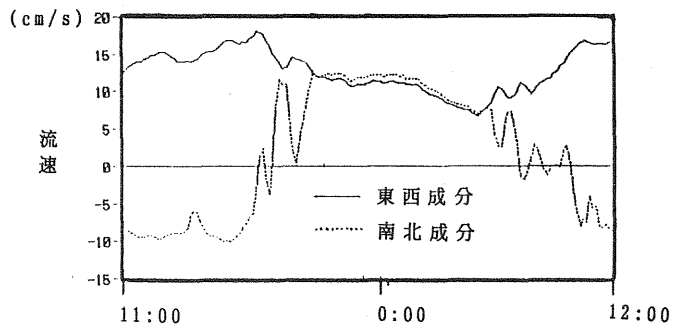


Fig. 2 観測結果

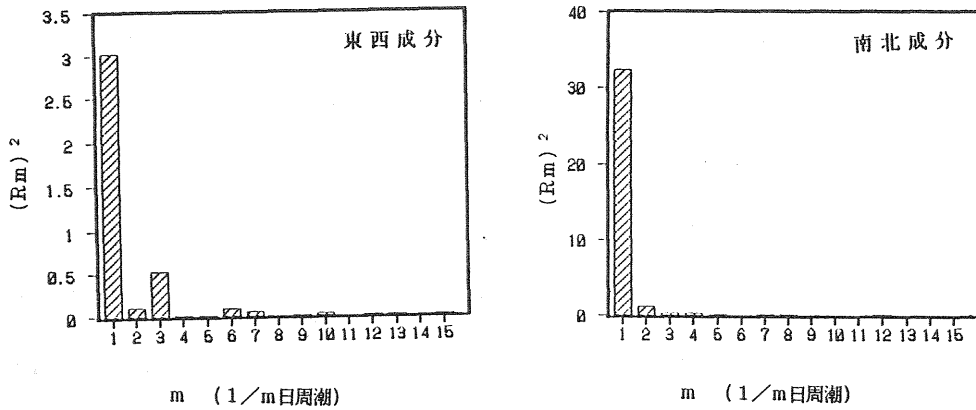


Fig. 3 パワースペクトル

4 数値計算による対象海域の流況

(1) 基礎方程式

沿岸海域の流況は海岸地形により大きく影響することは一般によく知られている。そこで埋め立て地や防波堤などが流況にどのような影響を与えるかを知るには数値計算は有効な手段である。本研究でも対象海域の流況と海岸地形の変化による流れの影響を知るために次のような基礎方程式をもとに数値計算を行った。

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = f v - g \frac{\partial \zeta}{\partial x} - \frac{1}{\rho_w} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + A_H \Delta_H u \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -f u - g \frac{\partial \zeta}{\partial y} - \frac{1}{\rho_w} \frac{\partial P}{\partial y} + \nu \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} + A_H \Delta_H v \quad (2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

ただし $A_H = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$

t : 時間 f : コリオリ係数 g : 重力加速度 ρ_w : 海水密度
 P : 全圧力 ν : 鉛直混合係数 A_H : 水平混合係数 ζ : 水位

ここで、この式を海面から海底まで積分して流量に関する方程式に改め、次のように流量を定める。

$$M = \int_{-\zeta}^h u dz \quad N = \int_{-\zeta}^h v dz$$

M 、 N は流量の x 、 y 成分

x 成分だけを考え、式(1)を積分するとき風の応力を無視すると、右辺第4項は海底摩擦の式となり次のようになる。

$$\int_{-\zeta}^h \nu \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} dz = \frac{1}{\rho_w} r^x \quad \tau^x = -\rho_w \gamma^2 U \sqrt{U^2 + V^2}$$

r^x : 接線応力係数 U 、 V : 海底から海面までの平均流速の x 、 y 成分

r^x は海底単位面積あたりの摩擦力

また基礎方程式の第3式は連続の式であり、この式は積分すると次の様になる。

$$\int_{-z}^{\eta} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) dz = \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

(2) 計算条件

Fig. 4に示す海域で数値計算を行い、モデルは単層で水深は全海域すべて10mとした。強制水位として境界域1と2で潮位変化を与え、初期条件は計算海域すべて流れのない状態から計算を行った。また他の諸定数はTab. 1に示すとうりである。

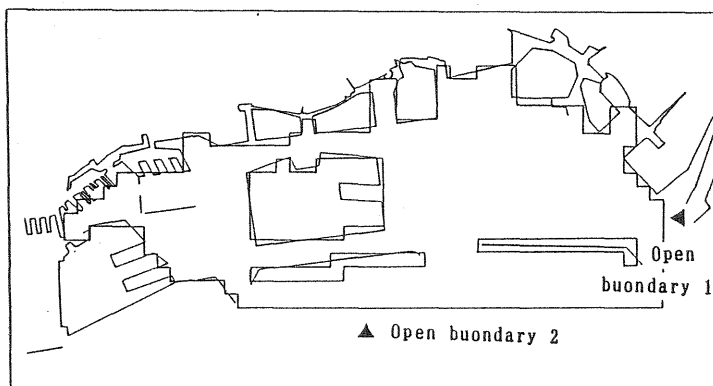


Fig. 4 計算海域

Table. 1 計算要素

時間間隔	$\Delta t = 15(\text{sec})$	水平混合係数	$A 1 = 23200$
格子間隔	$\Delta s = 500(\text{m})$	コリオリ係数	$f = 0.000826$
初期流速	$u = v = 0.0(\text{cm/s})$	初期水位	$\zeta = 0.0(\text{cm})$

(3) 計算結果

Tab. 1で示した初期条件および境界条件をもとに計算した結果から観測点にあたる点の流速を東西と南北の成分別に分け、その経時変化をFig. 5に示す。ここで観測値の経時変化図であるFig. 2と比べてみると、恒流部分(東向き 12. cm/s)を除いてはほぼ実際の流れを再現でき数値モデルの正しさが確認できる。

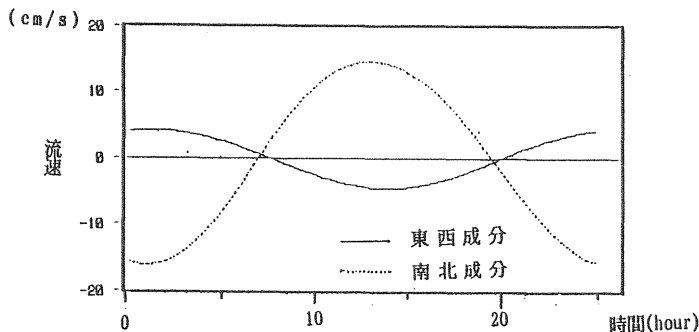


Fig. 5 計算値の経時変化

次にこの数値モデルを用いて Fig. 4 の海域の場合と海域の南に位置する防波堤と海域中央に位置する六甲アイランドを無くした場合とについて計算した結果を神戸港が高潮時と低潮時の時をそれぞれ Fig. 6 と Fig. 7 に示す。

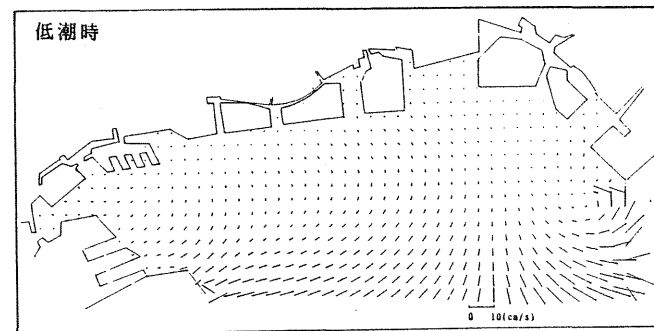
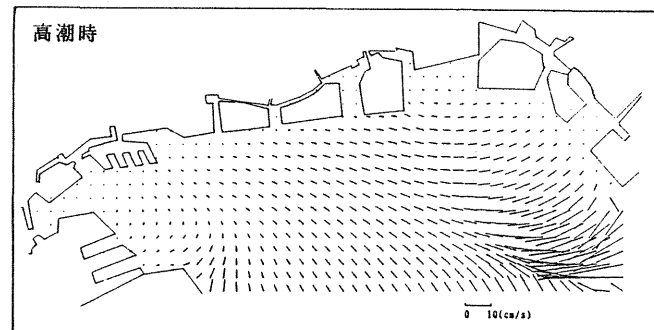
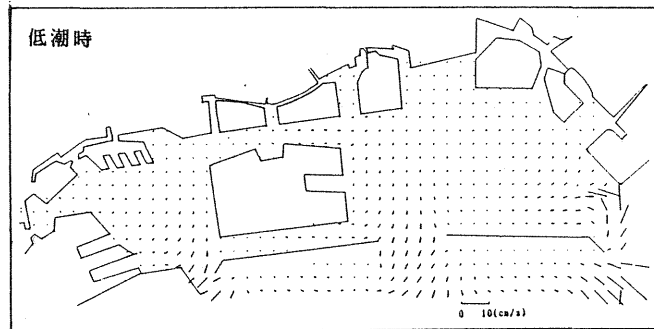
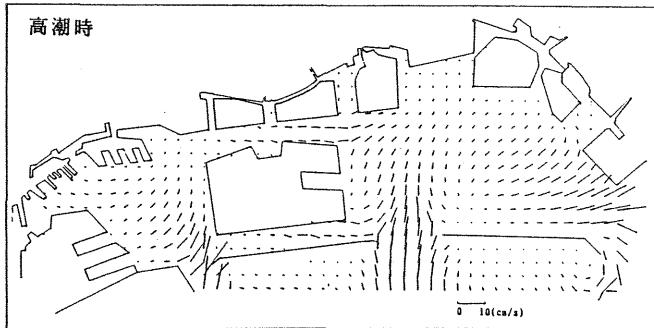


Fig. 6

現在の海岸地形による計算結果。防波堤の南から海域内に流入する時、流入口での流速は遅くなっている。また六甲アイランドの周りも流速が遅くなっているが、防波堤の南北付近の流速は遅くなっている。

Fig. 7

現在の海域から六甲アイランドと南にある防波堤を取り去って計算を行なった結果である。Fig. 6 と違い海域の東で局地的に流速が速く、または遅くなることは見られない。

5 結果

以上より防波堤は南北付近では流速は抑えられているが防波堤同士の間、つまり港内への流入口では流速は遅くなっている。そして、この流入口の流れは港内の流れに大きく影響し、特に高潮時には尼崎西宮芦屋港の流れが防波堤の無い場合は西向きに流れているが、防波堤のある場合には北東に流れている。

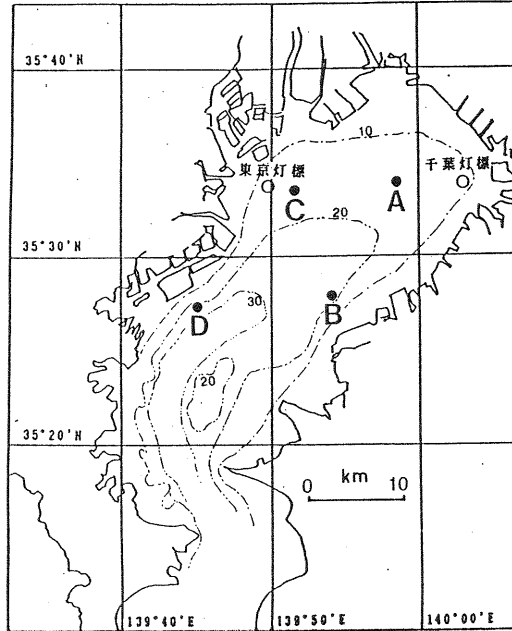
東京湾の風による流動の観測結果について

小田巻 実 (海上保安大学校水路学講座)

1、はじめに

東京湾は、幅約20km、水深約20m、奥行き約50km、湾口の幅7km足らずの閉鎖性の強い内湾である。湾口部は、狭くくびれているため、潮流が強い。しかし、湾奥部では、潮流はせいぜい0.2-3ノットと弱く、相対的に潮流以外のながれが効くようになる。従来の流れの調査は、潮流に主眼を置くことが多く、ほかの流れについては断片的な事しかわかっていない。ところが、近年、青潮など水質環境の悪化が懸念されているのは、この湾奥部である。そこで、海上保安庁水路部では、潮流の次に効くと考えられる風による流れに焦点を合わせ、昭和63年度から平成3年度まで「閉鎖性水域の風による流動及び物質移動等の調査・評価手法に関する研究」を行った。現在、成果の取りまとめ中であるが、いくつかの興味深い観測結果が得られているので、紹介させて頂くことにした。

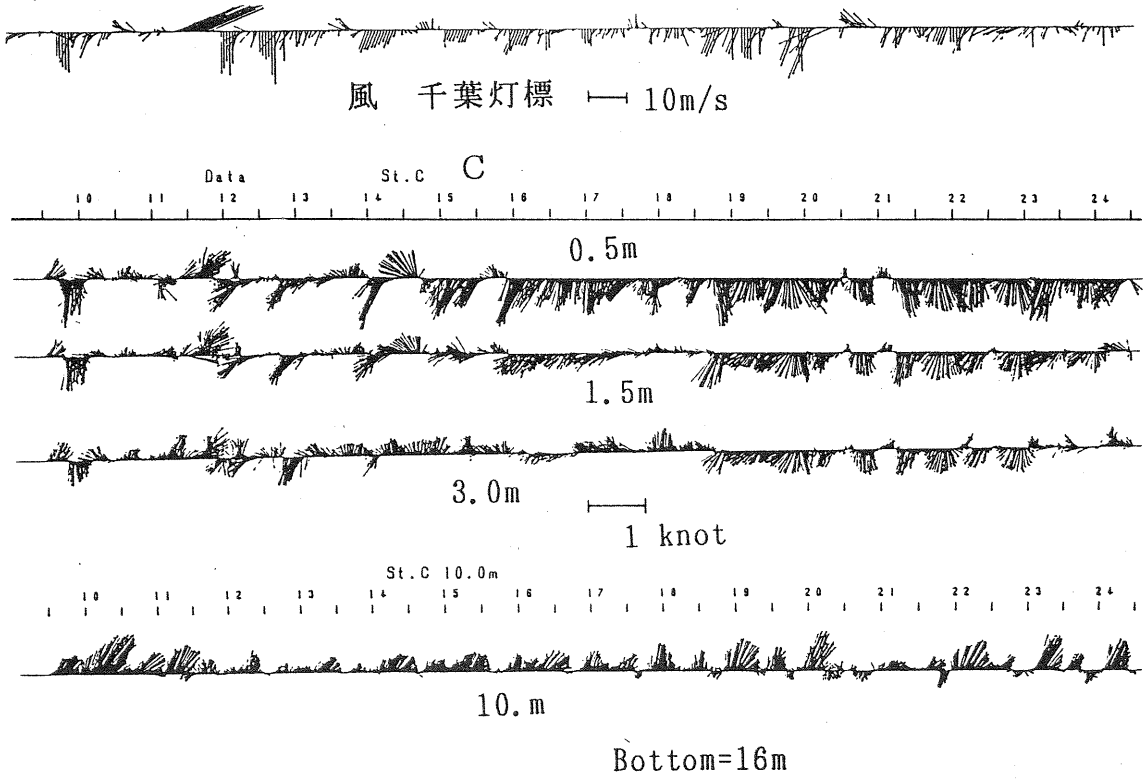
図1 測点図



2、研究経過と観測例

潮流は、本来、潮汐の圧力変化によって起こされるので、上下の差は小さいと考えられる。それに対し、風に

図2 流れの観測例 (1991年12月9日-24日、測点C)



よる流れは、海面摩擦が駆動するので、もともと上下の差が大きいと考えられる。そこで、多少は水平的な測点数を犠牲にしても鉛直に密な観測をすることにした。また、いろいろな解析に耐えられるように観測期間も十分とる必要がある。さらに、季節による違いも大きいと考えられる。結局、1年目に冬、2年目に夏の観測、3年目に予測・解析のための数値モデル作り、4年目に検証実験を行うことにした。1,2年目では、図1の4点で、鉛直6層、40日間の観測を行った。6層の内訳は、水深の深いD点を除き、海面下0.5, 1.5, 3, 7, 10mと海底上3mである。D点では、海面下3, 7, 10, 15, 20mと海底上3mとした。4年目の検証実験では、A点を以外の3点で4層15昼夜の観測を行った。

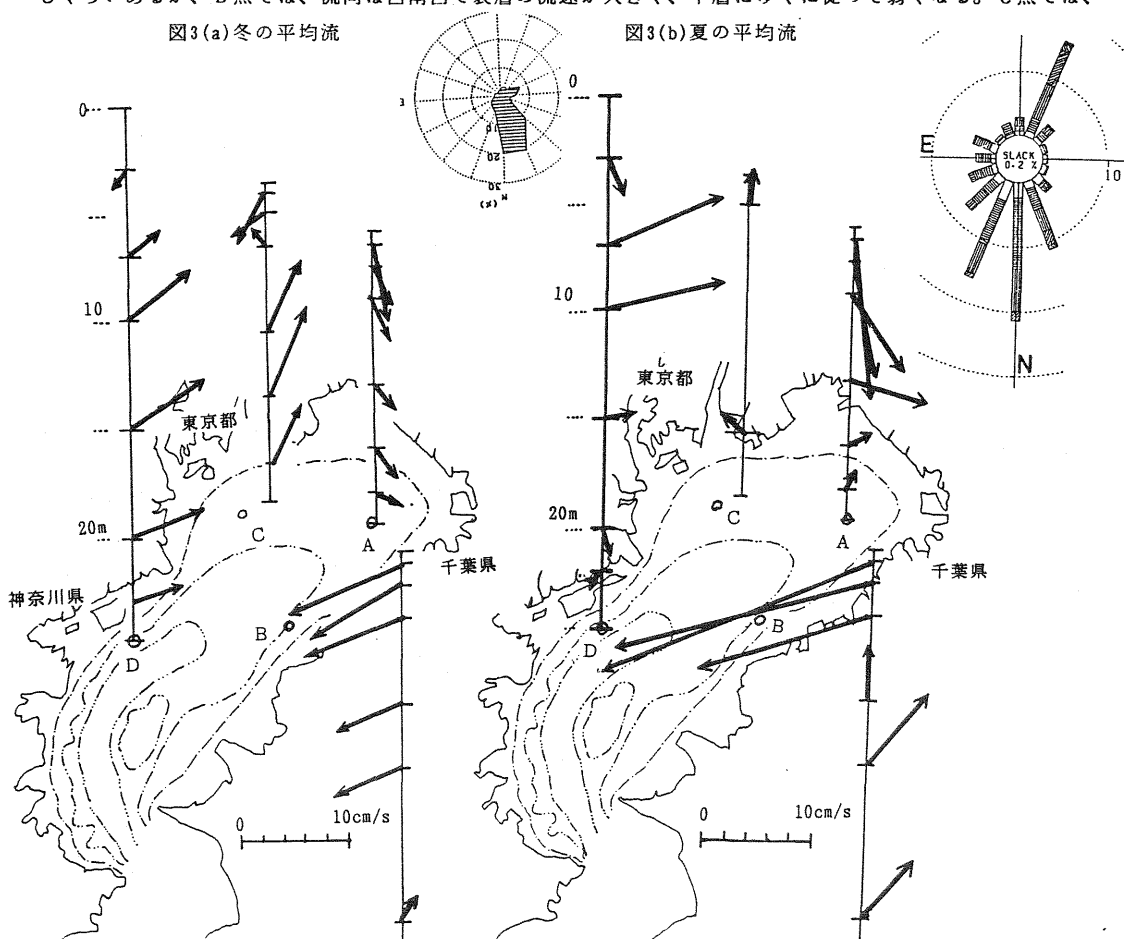
図2は、1991年12月9日から24日まで行った、検証実験の際の流れの観測例である。最上段は千葉灯標の海上風で、以下はC点(0.5, 1.5, 3.0, 10m層)の流れベクトルの時系列である。期間中は、ほぼ北風が卓越していた。C点では、0.5m層は海上風とたいへんよく対応しており、1.5m層でも流速は弱くなるものの、よい対応を示している。ところが、3m層になると、0.5, 1.5m層によく似ているものの、時折、逆の傾向を示すこともある。10m層では、半日周期のはっきりした潮流成分が見られるが、表層が北風に対応して南流傾向なのに対しあきらかに逆の北北東流を示している。つまり、風による流れには、このように著しい上下差が見られる。

3、平均流の循環系とその季節による違い

図3(a), (b)は、それぞれ1,2年目の冬と夏の平均流分布(40日間)を示している。図3(a)の冬季では北風が卓越しているが、各点で鉛直分布がまったく異なっている。A点では、6層とも南南東ないし南東向きで、流速も同じぐらいあるが、B点では、流向は西南西で表層の流速が大きく、下層にゆくに従って弱くなる。C点では、

図3(a)冬の平均流

図3(b)夏の平均流



0.5, 1.5m層は風と同方向の南西向きであるが、7m層以下では逆の北東方向になる。さらに、D点では、表層の3m層は南西向きの弱い流れであるのに対し、中層では15m層に極大部を持つ東北東向きの流れとなっている。すなわち、表層の3m以浅では、どこの測点でも風とほぼ同じ向きの南に流れる傾向があったのに対し、中層では神奈川県側を北上し千葉県側を南下する時計廻りの循環系が形成されていた。

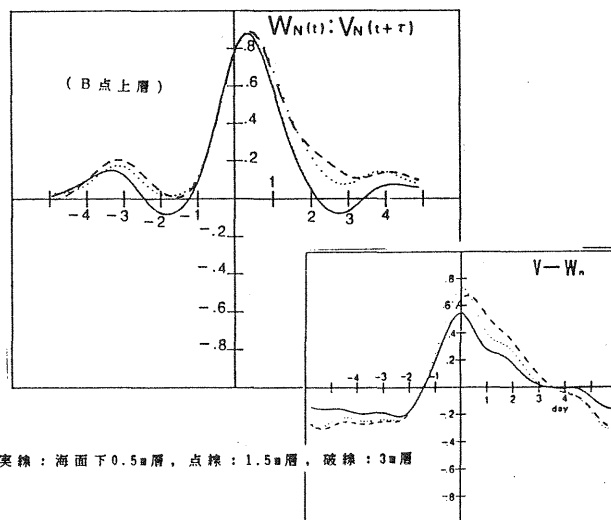
夏季の観測は、準備の都合で9月から10月になってしまった。図3(b)の平均流では、一見してわかるように、図3(a)の冬に比べて流速が数倍になるとともに、上下の流向・流速の差が著しく大きくなっている。期間中の平均風は、北風1.8m/sで、図3(a)よりもかなり弱かったにもかかわらずである。両者の違いは、冬季は上下の密度差が $10^{-3}g/cm^3$ 以下であったのに対し、夏季はそれが $10 \times 10^{-3}g/cm^3$ 以上と成層が発達していたことである。すなわち、風による流れの発達成層の有無で大きく異なっている。

図4 風と流れの南北成分どうしの相関

(B点、左：夏、右：冬)

4、風に対する流れの応答

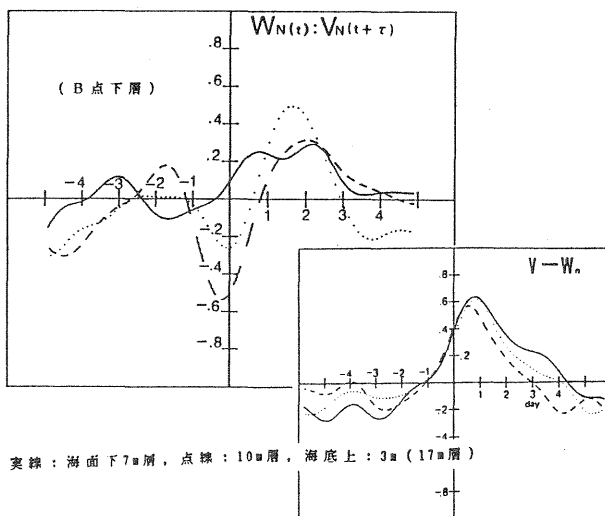
図2に見られるように実際の流れに重なっている潮流を抜くため、Thompson(1983)によるTide-killer Filterをかけて、風と流れの相関を計算した。東京湾では、東西よりも南北の風の頻度が高いので、ここでは、図4にB点における流れと風のそれぞれの南北成分の相関を示す。冬季には、上層はほぼ時間遅れなしに0.6-0.8程度の正の相関、下層も約1日遅れで正の相関を示した。夏季には、上層は約0.5日遅れて0.9の正の高い相関、下層は冬とは逆に-0.6程度の負の相関を示した。すなわち、平均流分布に見られたように変動成分についても、夏季には上下の流れの差が著しくなるとともに、相関も高くなる傾向が見られた。



実線：海面下0.5m層，点線：1.5m層，破線：3m層

5、風に対する躍層の動き

今回の観測では、水温・塩分計のついた流速計を使ったので、各測点で躍層の上下動が把握された。図5は、夏季の各点の海水密度のインプレットである。最上段には千葉灯標の風を示す。注目されるのは、風に対する応答が各点毎に異なることである。B点では、南風が吹くと密度の軽い海水が溜り、北風が吹くと重い海水が湧き上がってくる。A点でも同様の傾向が見られるが、湾奥のため南風で溜る軽い海水はB点よりも多いようである。C点もA、B点と似ているが、A点に比べて約1日ぐらい遅れているようである。D点では、南風では下から重い海水が湧き上がり、北風で軽い海水が溜まり、B点とまったく逆の傾向を示す。以上の躍層の動きは、風に対して岸を左にみて風が吹くと湧昇が起こるといふ沿岸湧昇そのものとなっている。また、風が変動しながらいつも吹いている



実線：海面下7m層，点線：10m層，海底上：3m(17m層)

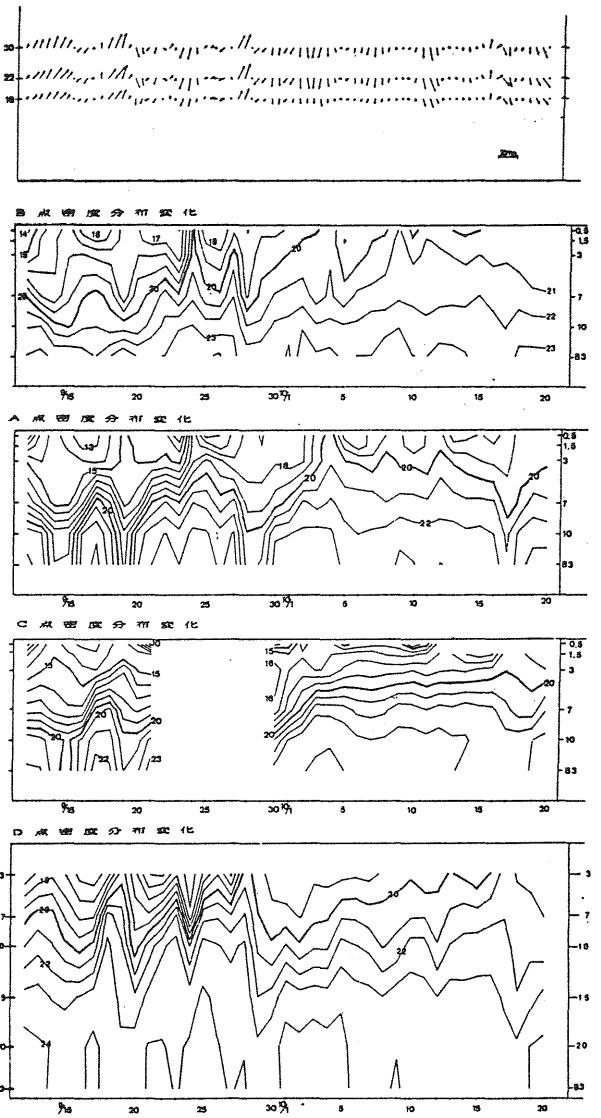
のではっきりしにくい、躍層の上下動が各点で遅れながら約2日でB→A→C→Dと伝播しているように見える時がある。

6、まとめ

長島(1982)によれば、傾斜する海底の効果で、北風で東京湾には時計廻りの循環流が形成され、最深部の中層に風と逆向きの流れの極大部が現れる。D点は最深部の近くであり、よく対応している。また、松山ほか(1990)の数値実験によって、東京湾の奥部を反時計廻りに伝播する内部ケルビン波が確認されている。また宇野木(1985)によって、東京湾の長軸方向の風に対し神奈川県側と千葉県側で逆の湧昇・沈降が起こることが明らかにされている。今回の観測は、図らずもこれらの知見を確認するものとなった。

今後は、この研究の中で作った数値モデルを改良し、また水路部が東京湾で行っている定常観測と合わせ、業務的に使える予報・解析システムを構築して行きたい。

図5 風の変動と各点の躍層の上下動 (1989年9-10月)



黒潮流路と流量・流速の大小との関連

関根 義彦 (三重大学生物資源学部)

1 はじめに

日本南岸の黒潮流路には陸岸とはほぼ平行に流れる直進流路であり、もう一つは四国東で流路が大きく離岸して伊豆海嶺西を北上する大蛇行流路である。特に注目されるのは大蛇行流路は黒潮に独特の現象であり、他の西岸境界流では安定した大蛇行は観測されないことである。

従来より、黒潮の直進流路と大蛇行流路の力学的特性に関して研究がある。この中で注目されてきたのが、黒潮流路の選択と黒潮流速の大小との関連である。従来の地衡流推算の結果では、黒潮流量は大蛇行期の方が非大蛇行期により小さい傾向が指摘されている (Taft, 1972; Nitani, 1972, 1975; Sekine et al., 1991)。これに対して Nishizawa et al. (1978) は東シナ海では反対に大蛇行期間の方が流量は大きいことを指摘している。地衡流推算では無流面の仮定がなされており、黒潮流路の選択と流量・流速の大小の関連を明確にすることは不可能である。最近、黒潮流速の直接測流が徐々に進められつつあるが、まだ観測期間が短くかつ観測点が少ないため、この問題を調べることはできない。

理論的な黒潮流路研究の経過では、1980年以前では流量が相対的に少ない期間に大蛇行流路流量の多い期間に直進流路となる傾向が指摘された (例えば、White and McCreary, 1976)。しかし、流体力学の非線形効果による多重平衡解の問題が黒潮流路に適応され (Charney and Debye, 1979; Charney and Flierl, 1981; Masuda, 1982)、同じ流量・流速でも直進流路と大蛇行流路の両方が生じる可能性が示された。一方、1985年以降の幾つかの研究 (Yoon and Yasuda, 1987; Sekine, 1990; Akitomo et al., 1991) では、流速の大きい期間大蛇行流路小さい期間に直進流路をとることが指摘された。これらの結果は White and McCreary (1976) などの結果と正反対の特性を示す。研究結果の差異は採用するモデルの特性の違いによる可能性があり、本報告では黒潮流路の選択と流量・流速の大小への関連の問題について検討した。

2 黒潮流路選択の流速・流量値への依存性

2-1 非線形効果

従来のモデルの大半では境界で与える流入出の水平・鉛直分布の形を固定するため、流量と代表流速は比例する関係となり、流量も非線形効果を示すパラメータになる。惑星β効果については、座標軸の取り方で陸岸境界の効果と重複する議論となる。White and McCreary (19

76) は九州の陸岸地形を簡単な形で表現し、平坦な海底を仮定して黒潮流路の特性を調べた。九州の地形により蛇行が発生して定常ロスビー波が生じるため、流速が大きい場合には波長が大きく蛇行が見られなくなり、直進流路が形成される。反対に流れが小さい場合には波長が短く、蛇行がはっきり見られる形になり大蛇行流路となる。したがって、流速の小さい時に大蛇行流路、流速の大きい時に直進流路となる。同様な結果は、東西に走る北側の境界と平坦な海底を仮定した Chao and McCreary (1982) や Yasuda et al. (1985) などでも得られている。

2-2 日本南岸の東西方向からの傾の影響

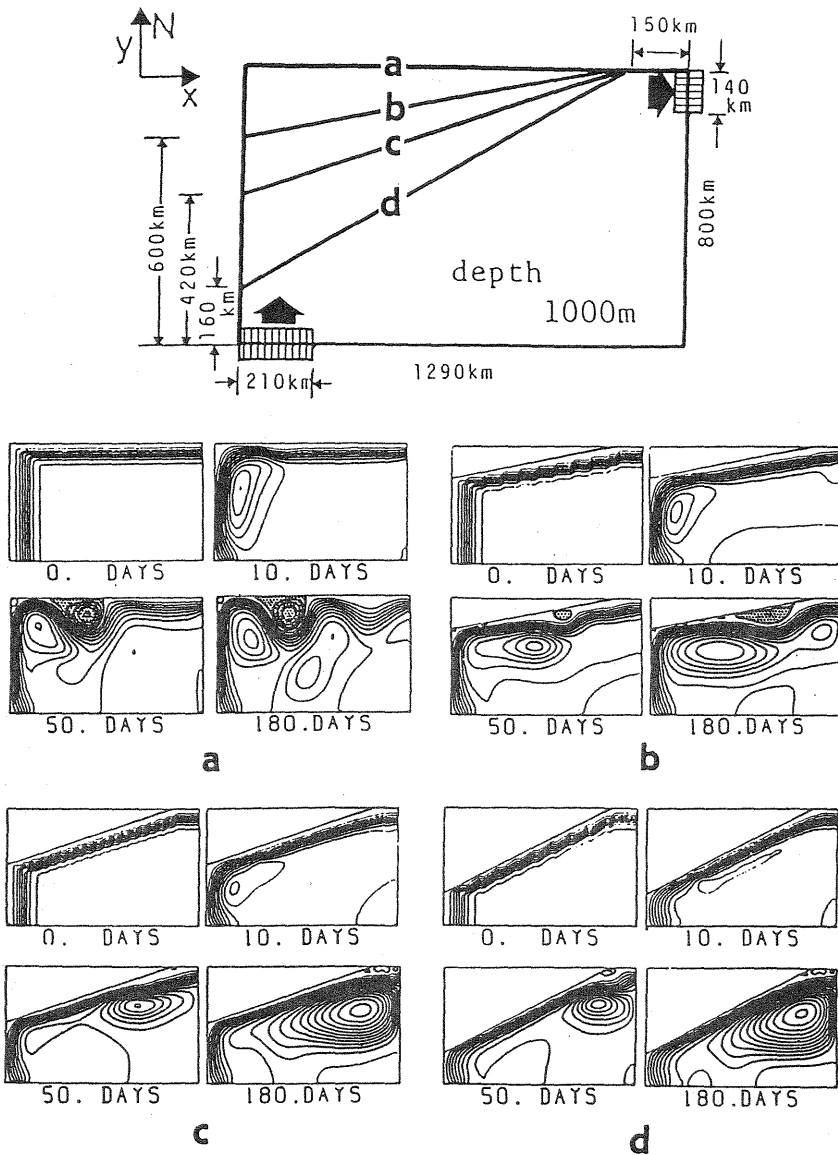
黒潮海域北側の日本の陸岸境界は東西方向に走っておらず、やや東西方向より傾いている。陸岸境界の方向はロスビー波の反射などに大きな影響を与えるため、結果的に西岸境界流の形成にも影響を与える。北側境界の方向を変えたモデルの結果を第1図に示す。北側の陸岸境界が東西に走っている場合(a)には蛇行が生じるのに対し、東西からの傾が大きくなるに従い流れが岸に沿う傾向が強くなる。Sekine (1988) では 20° 以上北側境界が東西方向から傾いている場合には、水平渦粘性係数を小さくして流速を大きくした場合にのみ蛇行が生じ、大蛇行流路は非線形性の強い流れであることが指摘された。また、フロリダ海流域の北米東海岸の東西方向からの傾きは 45° 以上であり、大蛇行流路が生じない可能性が示唆された。

2-3 陸棚斜面の海底地形効果

一般に海底地形の凹凸がある場合、流れは等深線に沿う傾向が強くなる。二層モデルで日本南岸の海底地形を簡単に模式化した数値モデルと結果を第2図に示した。初期に直進流路に相当する流れを与えた場合には $30-60 \text{ Sv}$ の流量では直進流路が安定で蛇行は形成されない。しかし、 70 Sv の流量を与えた場合にはほぼ定常的な蛇行となる。陸棚斜面の海底地形は前節で述べた陸岸地形の東西からの傾きと同じく流れの岸に沿う傾向を強め、流れが蛇行を形成するためには大きい東向きの慣性力(流速)が必要となる。

2-4 非定常過程

流路が周期的に変化する解の一例を第3図に示す。この結果は第2図と同じモデルを用い、初期条件として黒潮大蛇行の基礎になる九州南東沖の小蛇行に近い形の流

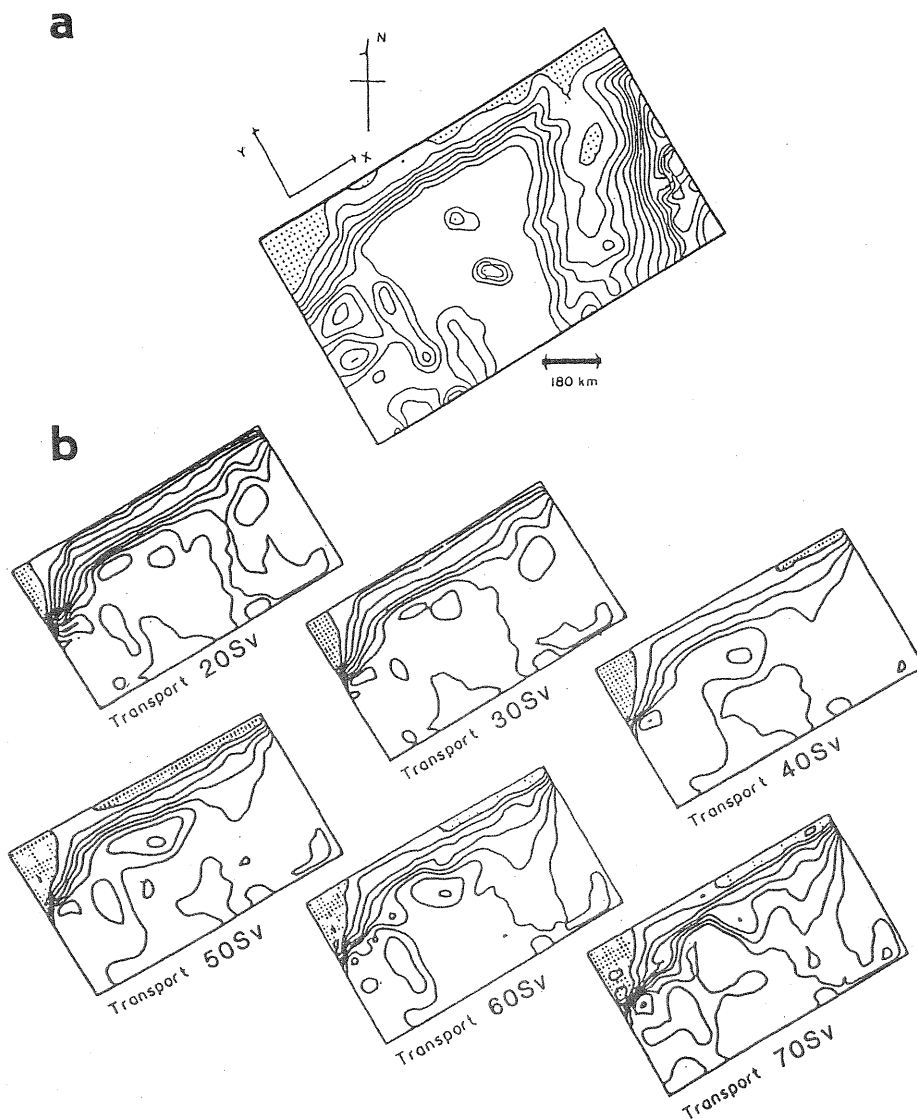


第1図 北側境界の東西方向からの傾きのみを変えた西岸境界流の数値実験のモデルと流線関数で示した結果 (Sekine, 1988)。流線関数の間隔は 5 Sv ($1 \text{ Sv} = 10^6 \text{ m}^3 \text{ sec}^{-1}$)

路を与えており、流入流量は 60 Sv である。小蛇行が東進して大蛇行が形成された後、大冷水塊が spin-up と spin-down を繰り返す。spin-up の生じる時には西の顕著な高気圧循環が西進し、その東側にある蛇行を形成する低気圧渦が発生する。この低気圧渦の spin-up は流れが伊豆海嶺の西側斜面を西向きに移動する時に生じる渦の伸長による正の渦度による。伊豆海嶺に相当する海底地形のみを取り去った同じ数値モデルでは spin-up は生じない (Sekine, 1990)。実際の黒潮大冷水塊にも季節変化が観測され、夏に spin-up それ以外に季節に spin-down することが示されている (Sekine et al., 1985)。spin-up

と spin-down の発生は大冷水塊の構造に関連して大蛇行流路の消滅に大きな影響を与える。

流入流速の変化による非定常過程を調べた主な研究の結果を第4図にまとめた。Yasuda et al. (1985) では平坦な海底と東西に走る北岸境界を仮定している。流速増加の場合、ある流速値を越えると大蛇行流路から直進流路となる。流速減少では直進流路から大蛇行流路に変化し、多重域が生じる。Chao (1984) は北岸の傾として 20° を与えて、大蛇行流路が流量のやや大きい側に現れ、多重解は流量が中間の領域に発生することを指摘した。さらに、Akitomo et al. (1991) は北岸の傾きを 20° とし、



第2図 日本南岸の海底地形を簡単に模式化した数値実験のモデルと結果 (Sekine, 1990).

- (a) モデルの海底地形の等深線(間隔は500mで、1000m以浅の部分を斑点で示した)、
- (b) 流線関数で示した結果。流線関数の間隔は20Sv, 30Sv, 40-70Svの流入出モデルについて、それぞれ2.5Sv, 5Sv, 10 Sv。

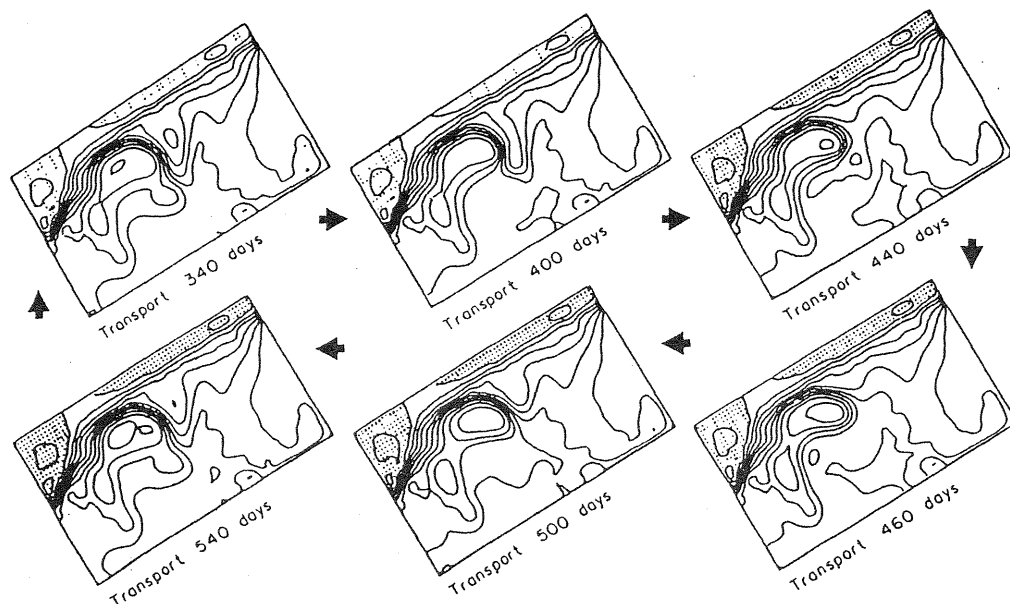
陸棚斜面を考慮して同じ問題を調べた。流入流速が小さい場合は線形的な直進流路が生じ、流速を増加させると非線形的性質が強い直進流路となり、さらに流速を大きくすると大蛇行流路のみが生じることが示された。

3 まとめと議論

黒潮流路選択に関する流速・流量の大小への依存性は本来観測結果から判定をすべきであるが、従来の黒潮の

流量・流速データの大半が地衡流推算のため、依存性を明確に調べることは不可能である。そこで理論的研究経過に重点を置き、従来の研究のモデル特性と得られた結果の差異を検討した。以下に主な結果のまとめを行う。

(1) モデルの北側の境界を東西とし、平坦な海底を与えたモデルでは、共通して流入流速の相対的に少ない時に大蛇行流路、流入流速の多い時に直進流路となる。この場合流路の蛇行の波長は東向き的一般流と西向き



第3図 第2図と同じモデルで初期値として小蛇行流路を与えた場合の結果 (Sekine, 1990)
流入出流量は60Svで、流線関数の間隔は10Sv。

ロスビー波がバランスする定常ロスビー波の波長となる。
(II) 北側境界の東西方向からの傾きが 20° 以上、或いは陸棚斜面の海底地形効果を含むモデルでは、この二つの効果が流れの岸に沿う傾向を強める。流路が離岸して大蛇行流路が生じるためには、この岸に沿う傾向に勝る東向き慣性効果(非線形効果)が必要となる。よって、このモデルでは流入流速が相対的に大きい時に大蛇行流路、小さい時に直進流路が生じる。

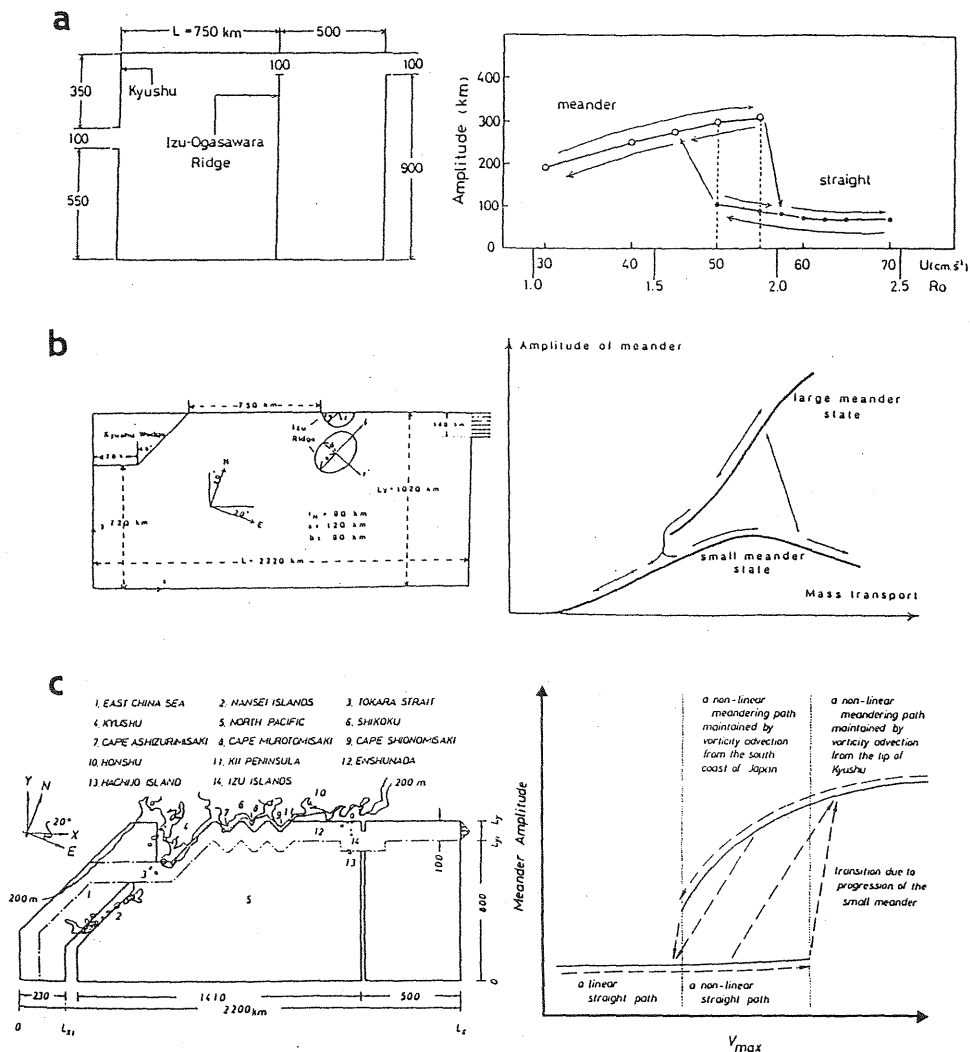
(III) 非線形効果による多重平衡解や解の分岐が存在する。二つの流路が共存する多重解の流速域については(I)と(II)の結果と共通する。すなわち、(I)のモデルでは流速の相対的に小さい領域で多重解が生じるのに対し、(II)のモデルでは多重解は流速の大きい領域で生じる。

以上の議論をまとめると、特に(II)の東西方向からの傾きの効果により流れは岸に沿う傾向が高く、大蛇行流路の形成には非線形効果による離岸作用が重要であることが示唆される。この場合には、流速の相対的に大きい場合に大蛇行流路小さい場合に直進流路が生じる可能性がある。ここで一つ問題となるのが、(II)のモデルの結果とRobinson and Taft (1972)の流路方程式を用いた結果との対応である。彼らは上層の密度一様な定常流について流路方程式を仮定し、黒潮流路の特性を調べた。結果として、海底地形効果のみが関与する場合には地形性 β 効果により地形の等深線に沿う直進流路となり、

地形が平坦である場合には惑星 β 効果により流れは蛇行する特性を示した。問題はこの結果と流速・流量の大小との関連である。従来の研究の大半では、地形性 β 効果により直進流路をとる場合には下層の流れがあり流れの厚さが大きい流量が多く、反対に流れが上層に集中して大蛇行流路する場合には流量は少ないことが推量されている。しかし、流路方程式の結果は単に流れの特性を示したもので、流速や流量の大小との関連を示していない。この点を明確に理解すれば、彼らの結果と(II)のモデルの結果は矛盾しない。しかし、観測による確認が必要である。今後直接測流による流速・流量のデータの蓄積による判定が期待される。一方、理論的研究にも幾つかの課題があり、鉛直方向の密度などをより詳細に考慮したシミュレーション的なモデルによる研究も必要である。

引用文献

- Akitomo, Awaji and Imasato (1991) J.P.O., 96, 2549-2560.
- Chao and McCreary (1982) J.P.O., 12, 680-693.
- Charney and Devore (1979) J.A.S., 36, 1205-1216.
- Charney and Flierl (1981) Evolution in Physical Oceanography, ed. by Warren and Wunsch MIT Press, 680-693.
- Masuda (1982) Deep-Sea Res., 29, 471-484.



第4図 数値実験による黒潮蛇行の振幅と流量・流速の関連。(a) Yasuda et al. (1985)
(b) Chao (1984), (c) Akitomo et al. (1991)。

Nishizawa, Kamihira, Komura, Kumabe and Miyazaki
(1982) *La mer*, 20, 55-59.

Nitani (1972) In, Kuroshio ed. by Stommel and
Yoshida, Univ. of Washington Press, 129-156.

Nitani (1975) *J.O.S.J.*, 31, 154-173.

Robinson and Taft (1972) *J. M. R.*, 30, 65-101.

Sekine, Ishii and Toba (1985) *J.O.S.J.*, 41, 207-212.

Sekine (1988) *La mer*, 26, 99-114.

Sekine, (1990) *D.S.R.*, 37, 359-380.

Sekine, Sato, Takamori and Sakamoto (1991) *Bull.*
Fac. Biores. Mie Univ., 6, 57-82.

Taft (1972) Kuroshio, ed. by Stommel and Yoshida,
Univ. Washington Press, 165-214.

White and McCreary (1976) *D.S.R.*, 23, 33-47.

Yasuda, Yoon and Suginochara (1985) *J.O.S.J.*, 41, 259-
273.

Yoon and Yasuda (1987) *J.P.O.*, 17, 66-81.

大気と海洋がカップルしたグローバルな変動

関根 義彦 (三重大学生物資源学部)

1 はじめに

日本東岸の海域では親潮を含む亜寒帯循環が冬から晩春にかけて異常に南下する現象が頻りに発生し、多くの面から注目されている。北太平洋の広範囲で低温域が発生し、とりわけ常磐沖は3°Cを越える顕著な低温域が生じる。この低温水のため沿岸養殖や漁業に影響が生じ、大きな社会問題となる。従来より数多く海面水温の変化が大気大循環に及ぼす影響が調べられている (Tokioka et al., 1985; Pitcher et al., 1988)。一方、親潮及び亜寒帯循環の異常な南下を生じるアリューシアン低気圧の南偏した形成はPNAパターンといわれる ENSO現象とテレコネクションを持つ大気大循環のグローバルな変化の代表例である (Wallace and Gutzler, 1980; Schkla and Wallace, 1983)。本報告ではこれらの研究結果を総合することにより、特に ENSO現象に起因する PNAパターンと親潮・亜寒帯循環の異常南下の発生に注目し、グローバルな大気海洋変動の相互作用を論じる。

2 亜寒帯循環の異常南下の発生と大気大循環の変動

Sekine (1988a)では親潮・亜寒帯循環の異常な南下の発生と北太平洋上の海面応力の変動との関連が調べられた。第1図(a)は異常南下が生じた1963, 1974, 1981年の冬の風の平均海面応力と1961-1984年間の平均海面応力との比較である。異常南下年では強いシベリア高気圧からの北西の季節風による南東向きの風の応力がみられる。また、北太平洋中部以東では異常南下年の冬に北東向きの風の応力が大きい特徴があり、北太平洋全体で低気圧回転をする大きな風の応力がある。風の海面応力の鉛直回転成分 ($\text{curl } \tau$; τ は風の応力ベクトル)の比較でも両者の間におおきな差異がある(第1図b)。異常南下年には北緯40°以北で北の正の鉛直回転成分が顕著であり、かつ南に広がっている。南下年の $\text{curl } \tau$ が零となる緯度は非南下年のそれに比較して北西太平洋の150°W以西のほぼ全域にわたり3°-5°程度南下している。

Sekine(1988b)は第1図bの南下年と非南下年の海面応力で生じる海洋循環の差異が調べた。南下年の応力を与えたモデルの方が亜寒帯循環の領域が顕著に南下しておりその流量も多いこと、海洋の順応的応答は極めて速く20日程度で準定常解が得られ第1図bの海面応力より親潮・亜寒帯循環の異常南下の発生がほぼ説明できることが示された。

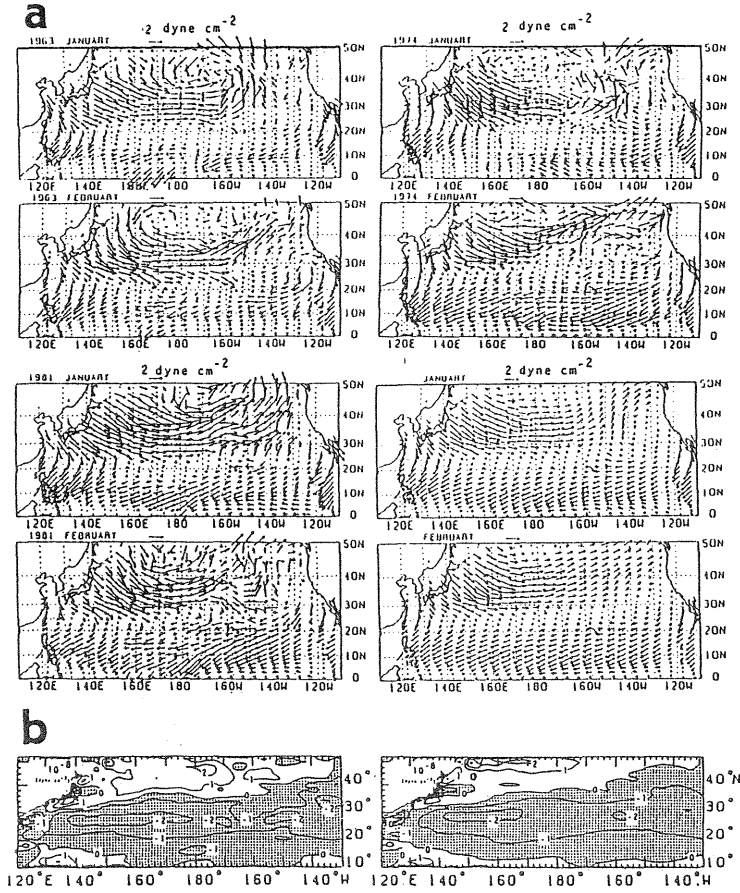
第1図の海面応力変化に対応する大気大循環の変動を見るため、親潮・亜寒帯循環の異常南下が発生した年の大気500 hPa 高度面の平均値からの偏差を第2図に示した。500hPa面の偏差では北太平洋の低高度領域に対応して負の領域がみられ、さらに北米西側とシベリアに正の領域がみられる。また、北米の南東域には負の偏差域がある。この偏差の分布は ENSO現象とテレコネクションを持つ PNAパターンであり、この点より親潮・亜寒帯循環の異常南下はアリューシアン低気圧の南偏した形成に伴うグローバルな現象であることが示唆される。

3 低海面水温が大気大循環に及ぼす影響

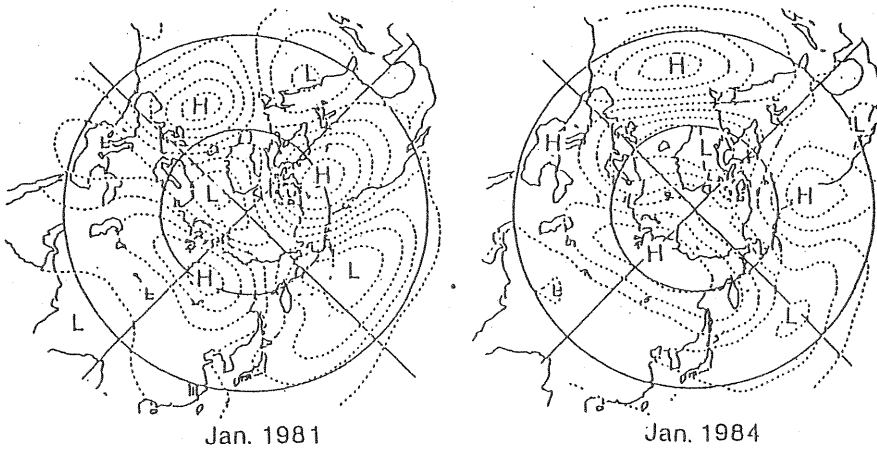
親潮を含む亜寒帯循環の広範囲に渡る海面水温の低温化は大気大循環にも大きな影響を与える。一例として、Pitcher et al.(1988)による数値実験で与えられた海面水温偏差とその結果を第3図に示す。彼らはエル・ニーニョの完熟期と亜寒帯循環の南下期の海面水温変化が大気大循環に及ぼす影響を調べた。エル・ニーニョの完熟期の海面水温偏差を与えた場合の200 hPa 面高度の平均値からの変化では、北緯40°から50°の北太平洋で低高度域があり、カナダ北西域に高高度域がある。さらに米国東部に低高度域があり PNAパターンの形成が認められる。エル・ニーニョの完熟期と亜寒帯循環の南下期の海面水温偏差を同時に与えたモデル(d)では(c)と同じ変化がより強められて生じている。赤道域の水温偏差と中緯度のそれがカップルするとより効率よく PNAパターンが形成されることが示唆された。これらの結果は、Tokioka et al. (1985)の結果とも一致し、エル・ニーニョの完熟期の海面水温偏差と中緯度の低温偏差はともに PNAパターンを強化させる作用を持つことが理解される(関根, 1992)。したがって、南偏したアリューシアン低気圧によって生じた親潮・亜寒帯循環の異常南下による海面水温変化が正のフィードバックで再度南偏したアリューシアン低気圧を含む PNAパターンを強めることになる。亜寒帯循環の異常南下は ENSO現象の影響が赤道域から北に伝播する大気と海洋がカップルしたグローバルな変動の一過程であることが示唆される。

4 まとめと議論

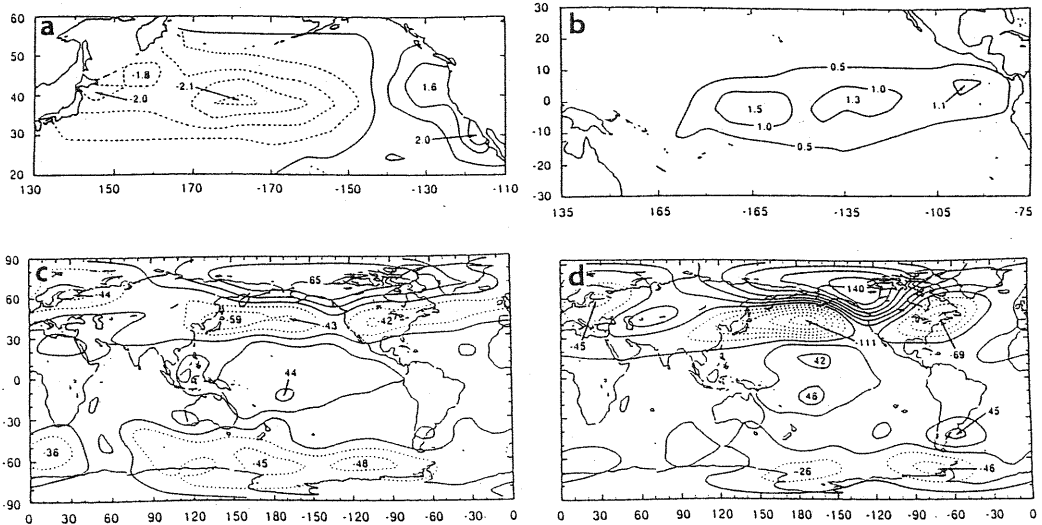
冬のアリューシアン低気圧の南偏し形成による海面応



第1図 (a) 親潮と亜寒帯循環が異常南下した1963, 1974, 1981年の一月と二月の平均海面応力と1961-1984年間の平均海面応力(Kutsuwada and Teramoto, 1987)の比較。(b) 11月から翌年3月までの海面応力の鉛直回転成分の比較(Sekine, 1988a)。親潮と亜寒帯循環が異常南下した1963, 1974, 1981年の平均(左図)とそれ以外の年の同期の平均(右図)。等値線の間隔は $10^{-8} \text{ dyn cm}^{-3}$ で負の鉛直回転成分領域を斑点で示した。



第2図 親潮と亜寒帯循環が異常南下した1981年と1984年の1月の500 hPa高度面の1945-1987年間の月平均値からの偏差。等値線の間隔は50 m。



第3図 Pitcher et al. (1988)の数值実験に用いられた海面水温偏差と結果. (a) 1966-1977年の冬季の海面水温偏差. (b) エル・ニーニョ 慣熟期の海面水温偏差(等値線の間隔は 0.5°C). (c) 平年値の海面水温に(b)の海面水温偏差を与えた場合の 200 hPa 高度面の変化. (d) 平年値の海面水温に(a)と(b)の偏差を与えた場合の 200 hPa 高度面の変化. 等値線の間隔は 20mで負の変化域を破線で示した.

力の変化で親潮・亜寒帯循環の異常南下が生じること、および親潮・亜寒帯循環の異常南下による海面水温の低下が正のフィードバックとして南偏したアリューシアン低気圧を含むPNAパターンを強めることを指摘した。また、PNAパターンはエル・ニーニョの発生に前後する中央赤道域の海面水温の発生とテレコネクションを持つことから、親潮と亜寒帯循環の異常南下は赤道海域の変化が北に大気と海洋がカップルした変化が伝播する一過程である可能性を指摘した。

最後にこれらの一連の研究過程の今後の課題について述べる。親潮の異常南下の発生については黒潮統流から切離した暖水渦や津軽暖流の東への張り出しなどの存在により南下が抑えられた可能性が推測される。しかし、亜寒帯循環の海水がストリーマーとして渦の周囲を南下する現象が観測されており(例えば、稲掛, 1988など)、この現象が活発に行われれば親潮の南下が促進される可能性もある。今後、この問題について暖水渦などを陽に考慮したモデルを用いた定量的な議論が必要である。

PNAパターンが生じた年にはオホーツク海の海氷面積が平年値より小さく、オホーツク海周辺の陸地は暖冬となる傾向が指摘されている(関根と中川, 1992)。オホーツク海の海氷面積の大小が大気大循環に及ぼす影響については未知な点が多い。一方、PNAパターンと関連するENSO現象はアジアモンスーンの強弱や雪氷面積の大小と関連することが安成(1992)の一連の研究から指摘されている。北太平洋の海洋変動、オホーツク海の海氷面積変化や周辺の気象変化、さらにはアジアモンスー

ンの関連などを総合した議論が必要となる。これらの一連のグローバルな大気と海洋の変化については、今後大気海洋結合モデルなどをフルに活用した研究が必要となる。

参考文献

- 稲掛伝三(1988)航水研ノート, 10号, 17-26.
 Kutsuwada and Teramoto (1987) Bull. O.R.I., Univ. Tokyo, 24, 1-100.
 Pitcher, Blackmon, Bates and S. Muñoz (1988) J.A.S., 45, 173-188.
 Sekine (1988a) J.G.R., 93, 2247-2255.
 Sekine (1988b) J.O.S.J., 44, 60-67.
 関根義彦(1992)海の研究, 1, 153-165.
 関根義彦, 中川勝裕(1992)第7回オホーツク海と流氷に関する国際シンポジウム講演要旨集, 30-33.
 Shukla and Wallace (1983) J.A.S., 40, 1613-1630.
 Tokioka, Kitoh and Katayama (1986) J.M.S.J., 64, 347-361.
 Wallace and Gutzler(1981) M.W.R., 109, 784-812.
 安成哲三(1991)科学, 61, 697-704.

137° Eにおける海の熱・質量輸送について

西山勝暢 (気象研究所)

地球上で低緯度から高緯度へ輸送される熱量は、中緯度では海が大きく、24° Nで海が $2.0 \times 10^{15} \text{ W}$ 、大気が $1.7 \times 10^{15} \text{ W}$ と見積もられ、1985年の太平洋を横断する観測からBrydenら(1990)は、太平洋で海が北向きに輸送する熱量は $0.76 \pm 0.3 \times 10^{15} \text{ W}$ であると計算した。この量は地衡流のみではなく、表層付近のエクマン輸送によるものも計算されている。このように海は果たしてどれくらい正確な輸送をしているか算出することも、WOC E (世界海洋循環計画)での目的でもある。気象研究所では平成2~4年度の3年間、WOC Eの一つとして科学技術庁の科学技術振興調整費により「歴史データによる熱・質量輸送の解析研究」を行っている。歴史データとして、レビタス(1982)および1967年から続けられている気象庁凌風丸による137° E線の観測結果などを用い、太平洋の海況変動の解析および熱輸送の解析をしている。その結果について報告する。

ここでの熱輸送量の計算は地衡流からのみ求め、これに水温を乗じるが、乗じる水温はポテンシャル水温から太平洋の平均ポテンシャル水温である 3.14°C を減じた。従ってポテンシャル水温 3.14°C 以下のところではマイナスの熱を輸送していることとなる。

図1に1983年夏の5° N以北の137° E線を横切る熱流量を示す。黒潮を含む東向き(東向流)の熱流量は $3.05 \times 10^{15} \text{ W}$ で、その直ぐ南の西向き(黒潮反流)の熱流量は $1.05 \times 10^{15} \text{ W}$ 、その差 $2.00 \times 10^{15} \text{ W}$ を黒潮の熱輸送量と定義する。これより南の西向きの総熱流量は $6.98 \times 10^{15} \text{ W}$ で、これを北赤道海流による熱輸送量と定義し、また東向きの総熱流量は $2.65 \times 10^{15} \text{ W}$ で、これを単に反流の熱輸送量と以後呼ぶことにする。東向流と黒潮反流の地衡流量と熱流量との4000m深までの様子を表1に示す。これらのどの値も無流面を深くとるに従い殆ど大きくなっている。流量は1000m深で東向流 60.8 Sv と黒潮反流 18.9 Sv 、その差すなわち黒潮は 41.9 Sv である。そして熱流量は東向流 $3.05 \times 10^{15} \text{ W}$ と黒潮反流 $1.04 \times 10^{15} \text{ W}$ で黒潮は $2.01 \times 10^{15} \text{ W}$ である。一方4000m深では 104.0 Sv と 46.8 Sv でその差 57.2 Sv である。そして熱流量は $3.89 \times 10^{15} \text{ W}$ と $1.73 \times 10^{15} \text{ W}$ でその差すなわち黒潮の熱輸送量は $2.16 \times 10^{15} \text{ W}$ である。この熱輸送量のみは深さが変わってもあまり変わらない。これは太平洋の平均ポテンシャル水温 3.14°C が、1000~1300m深にあるためであろう。

表2に同じ1983年夏の1000mまでの海流別流量(A)と熱流量(B)、300mまでの熱流量(C)を示す。AとBの比は中緯度で20前後、低緯度で10で、低緯度での海流は2倍の効率で熱を運んでいることになる。またCのBに対する比率は黒潮を含む東向きの流れと北赤道海流は約75%、各反流は60%少々で強流帯を持つ流れは300m以浅のところでは全体の熱輸送の4分の3をまかなっていることになる。

図2に1967年からの137° E線における黒潮および北赤道海流などの熱輸送量を示す。黒潮の全データの平均は $1.67 \times 10^{15} \text{ W}$ 、北赤道海流の冬の平均が $5.41 \times 10^{15} \text{ W}$ 、夏は $6.71 \times 10^{15} \text{ W}$ である。総じて夏の値は冬より大きいようである。特に北赤道海流の熱輸送量に1976年と1977年を境に冬の値にジャンプがみられる。表3にはその様子を示す。カッコ内の数字はデータ数で1976年以前の夏全部と、冬の黒潮では少ない。北赤道海流の熱輸送量は、1976年以前は冬に $5.00 \times 10^{15} \text{ W}$ 、1977年以後では冬に $5.82 \times 10^{15} \text{ W}$ 、夏に $6.94 \times 10^{15} \text{ W}$ である。反流の熱輸送量は、1976以前冬は $1.14 \times 10^{15} \text{ W}$ 、1977以後は冬に $1.21 \times 10^{15} \text{ W}$ と夏に $2.43 \times 10^{15} \text{ W}$ で、北赤道海流と同様に夏に大きい、冬のジャンプはみられない。

1977年以後の黒潮の年平均熱輸送量は、冬は $1.72 \times 10^{15} \text{ W}$ 、夏が $1.73 \times 10^{15} \text{ W}$ とほぼ同

じである。しかし北赤道海流の年平均熱輸送量は冬が $5.41 \times 10^{15} \text{W}$ 、夏が $6.71 \times 10^{15} \text{W}$ で冬より $1.30 \times 10^{15} \text{W}$ 多い。また反流の同じ熱輸送量は冬が図2尾の付いた黒丸の平均で $1.17 \times 10^{15} \text{W}$ 、夏の図2の黒丸の平均で $2.11 \times 10^{15} \text{W}$ 。これは冬より $0.94 \times 10^{15} \text{W}$ 多い。この $1.30 \times 10^{15} \text{W}$ と、 $0.94 \times 10^{15} \text{W}$ の差 $0.36 \times 10^{15} \text{W}$ を黒潮の冬夏の差と考えると、1977年以後の冬は1976年以前の冬よりも黒潮の熱輸送量は $0.35 \times 10^{15} \text{W}$ 多いことになる。北赤道海流の熱輸送量は1976以前と1977年以後とで大きく変化している。夏にもジャンプがみられるようだが、反流の変化の様子からだと、反流の方の夏にジャンプがありそうで、夏の両者のジャンプ量は互いに等しいようである。冬の北赤道海流の熱輸送量のジャンプが特に顕著のようで、この大きいジャンプは黒潮の熱輸送量にもみられるようである。

1 黒の基準面別流量と熱流量

基準面 (m)	流量 ($\times 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$)			熱流量 ($\times 10^{15} \text{W}$)		
	東向流	黒潮反流	黒潮	東向流	黒潮反流	黒潮
1000	62.5	18.5	44.0	3.05	1.04	2.01
1500	74.4	29.0	45.4	3.52	1.59	1.93
2000	90.0	36.6	53.4	3.75	1.58	2.17
2500	96.2	42.9	53.3	3.83	1.69	2.14
3000	101.6	46.3	55.3	3.80	1.73	2.07
4000	104.0	46.8	57.2	3.89	1.73	2.16

表 2 海流別流量と熱流量

	東向流	黒潮反流	反流	北赤道海流
A	60.8	18.9	27.8	85.8
B	3.05	1.05	2.65	6.98
C	2.29	0.66	1.62	5.27
C/B	75%	63%	61%	76%
A/B	20	18	10	12

表 3 海流別熱輸送量 ($\times 10^{15} \text{W}$)

時季 海流	1976年以前		1977年以後	
	冬	夏	冬	夏
黒潮	1.39 (3)	1.67 (2)	1.72	1.73
北赤道海流	5.00	6.25 (5)	5.82	6.94
反流	1.14	1.95 (5)	1.21	2.43

図2 1967年から1987年
までの137°Eを
横切る流量と熱輸
送量

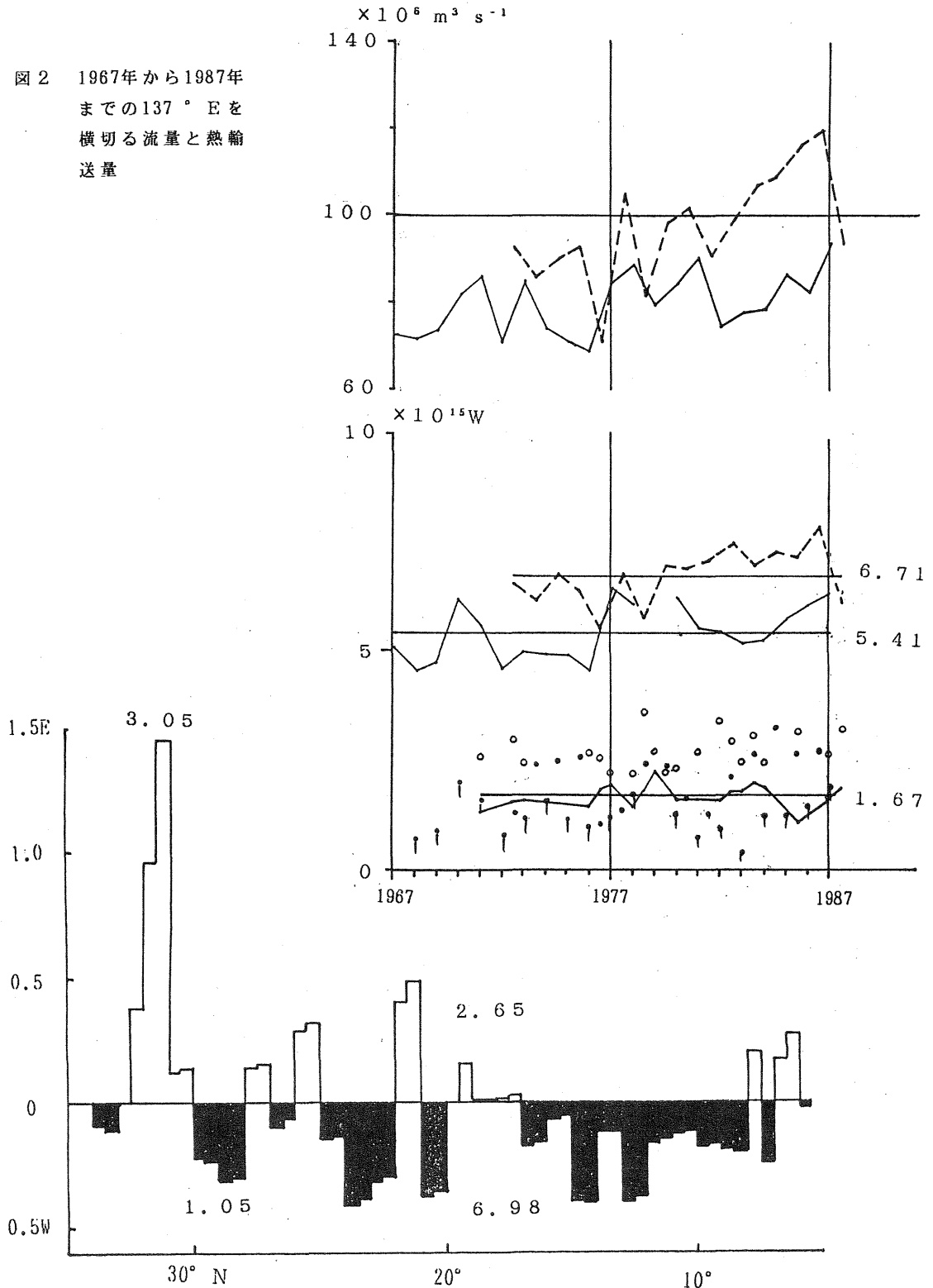


図1 1983年夏 137°E線を横切る熱流量 ($\times 10^{15} \text{ W}$)

複数衛星データによる海洋表層流量の推定
Integration of Multiple Satellite Data for Estimating Sea Surface Transport

香西克俊 (神戸商船大学)、土屋 清 (帝京大学)
Kouzai Katsutoshi (Kobe Univ. of Mercantile Marine)
Tsuchiya Kiyoshi (Teikyou University)

Abstract: A sea surface transport model integrating the non-divergent geostrophic surface transport model with an input of sea surface temperature and the wind impact model with an input of sea surface wind speeds has been developed to estimate the sea surface transport, south of Japan under the influence of winter monsoon. The estimated transport by the model is verified by the transport from the surface to the depth of 120 meters obtained from the data of a shipboard acoustic doppler current profiler (ADCP) and the geostrophic transport obtained from the dynamic calculation along the observation lines. Results indicate that the sum of the geostrophic transport obtained by the dynamic calculation and the wind-driven transport estimated by the model along the observation line accounts most of the observed transport from the ADCP data.

1. はじめに

MunkとWunschは1982年に著した論文¹⁾の中で、海洋音響トモグラフィと衛星による海面高度、風応力計測はモデル化の努力と補い合うことにより海洋物理分野における著しい発展が期待できると述べている。特に、後者については表面情報ばかりでなく深さ方向の推論を可能にする計測であると指摘している。本研究は衛星データにより海面の流速を推定するのではなく、風の影響の及ぶ深さまでの流量を2種類の擬似衛星データを入力とする流量モデルにより推定する方法を開発し、船舶のADCP (音響ドップラー流速プロファイラー) データから得られる表層流量によりモデルを検証、評価することを目的とする。Fig.1に流量推定のためのフローチャートを示す。

2. 現場データと流量バランス

研究船白鳳丸搭載ADCPは3層の異なる深さの流向流速を同時に測定可能である。1991年1月から2月の航海期間中ADCPの計測深度は20,75,120メートルにセットされたので表層から120メートルまでの流量が計算できる。流量バランスとADCPの計測誤差を評価するため測線と沿岸境界に囲まれた閉海域を対象海域として採用した。すなわち、閉海域を構成する測線を通して出入りする流量はバランスしていることが期待される。Fig.2は各測線に直交する流量成分の分布を示したものである。Table 1はFig.2上の特徴点に対応する各区間の積分流量を示している。Table 1によると、対象海域の流量バランスは-3.9スベルドリップ ($10^6 \text{ m}^3/\text{sec}$)であり、これは流速0.01 m/secに相当する。ADCPの流速測定誤差は約0.1Knot

(0.05m/sec) であるので、流量バランスの大きさはADCPの測定誤差に比較して充分小さいと見なすことができる。Fig.2では黒潮の対象海域への流入が0M-KO測線上のポイントBとCの間で見られ、表層120メートルの流入量は19.2スベルドリップである。Taft²⁾は黒潮表層1000メートルの地衡流量を約50スベルド

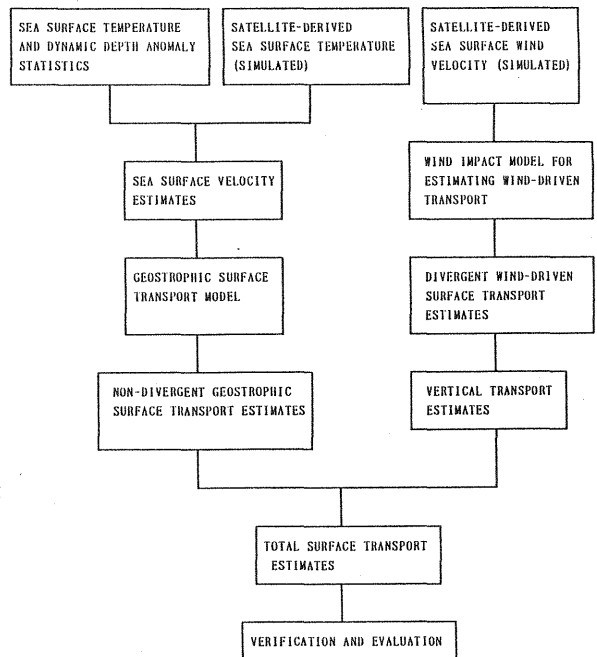


Fig. 1. Flowchart of estimating the sea surface transport.

ラップと見積っているの、表層120メートルのここの流量はTaftの推定値の38.4%にあたる。一方、OG-T0測線に沿った区間JKとLMでは対象海域からの黒潮の流出が見られる。これら2区間の流出量の合計値は21スベルドラップとなり、対象海域への流入量19.2スベルドラップとほぼ釣り合う。

3. 流量モデル

3. 1 地衡流量モデル

香西と土屋³⁾はジオポテンシャルアノマリー勾配と海面水温勾配との関係を単一NOAA AVHRR画像に適用することにより黒潮表層流速を推定できる可能性を示した。それによると10年間の観測データにもとづく冬季(1月~3月)四国沖の表層地衡流速は次のように表される。

$$u = \Delta \phi / f * L \quad (1)$$

$\Delta \phi = a * \Delta T + b$, $a = 1.71 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, $b = 0.38 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ (2)
 ここで $\Delta \phi$ は2点間のジオポテンシャルアノマリー差、 f はコリオリのパラメータそして ΔT は距離 L 離れた2点間の温度差である。上記の関係は海面水温場と地衡流速場との関係ばかりでなく、表層混合層が発達している状況のもとでは海面水温場と表層流量との関係も示唆している。Fig.3, Fig.4はADCPの3層における流速分布とOM-KO測線に沿った4層の水温分布を示している。OM(X01)点からX10まで表層120メートルは十分に混合され、対応する20メートルと120メートル間の流速差は0.02-0.09 m/secである。黒潮流軸における流速差は最大0.2m/secに達するものの、ジオポテンシャルアノマリー差 $\Delta \phi$ のrms誤差 $0.96 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ に相当する流速は0.24m/secであり、この流速差よりも大きい。こうして表層地衡流速は表層が充分混合されているという条件のもとで鉛直平均流速を代表していると思なすことができる。表層流量成分 M_x, M_y は次のように表すことができる。

$$M_x = \bar{\rho} * \bar{u} * D, \quad D = 120 \text{ m} \quad (3)$$

$$M_y = \bar{\rho} * \bar{v} * D, \quad D = 120 \text{ m} \quad (4)$$

ここで $\bar{\rho}$ は平均密度、 \bar{u}, \bar{v} はそれぞれ鉛直平均流速の東西、南北成分を示す。120メートルはADCPの最大計測深度である。式(3), (4)を用いることにより得られる一次流量推定値はADCPより得られる流量との差が大きい、我々は渦度と流れ関数を導入することによりモデルの精度と信頼性の向上を試みた。非発散水平流れの仮定のもとで、連続の式と流れ関数は次のように定義される。

$$\frac{\partial M_x}{\partial X} + \frac{\partial M_y}{\partial Y} = 0 \quad (5)$$

$$M_x = \frac{\partial \psi}{\partial Y}, \quad M_y = -\frac{\partial \psi}{\partial X} \quad (6)$$

TABLE 1 Volume Transport in the Upper 120 meter Layer Across the Observational Section Shown in Fig. 2.

Section	Transport	Subsection Transport	
KO-OM	+10.5	A - B	-0.3
		B - C	+19.2
		C - D	-8.4
OM-OG	-4.5	D - E	-5.4
		E - F	+4.2
		F - G	-3.3
OG-T0	-9.9	G - H	+1.2
		H - I	-3.65
		I - J	+5.7
		J - K	-8.7
		K - L	+7.35
		L - M	-12.3
		M - N	+0.5
TOTAL	-3.9		

(unit: Sverdrup)

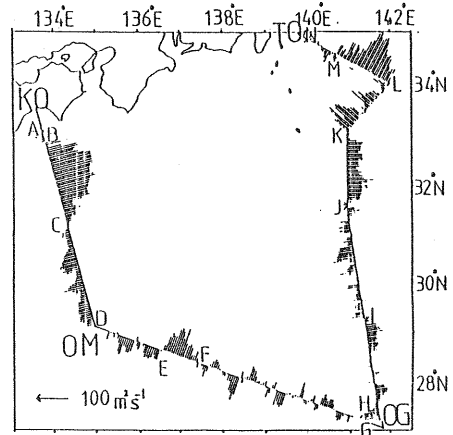


Fig. 2. Distribution of horizontal transport normal to the observation lines in the upper 120 meter layer.

一次流量推定値 M_x, M_y を次式に代入することにより流れ関数を導いた。但し境界条件として沿岸境界を通じた流れは無いものと仮定している。

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial Y^2} = \frac{\partial M_x}{\partial Y} - \frac{\partial M_y}{\partial X} = -\text{Curl } M \quad (7)$$

ここでCurl Mは流量ベクトルMの渦度を示す。最後に非発散地衡流量は次式で与えられる。

$$\hat{M}_x = \frac{\partial \psi}{\partial Y}, \quad \hat{M}_y = -\frac{\partial \psi}{\partial X} \quad (8)$$

ここで \hat{M}_x, \hat{M}_y は2次流量推定値としての非発散地衡流量を示す。式(7)はポアソン方程式と呼ばれ、差分法のSOR(Successive Over-Relaxation)法により数値的に解いた。

3. 2 風インパクトモデル

以下に示すモデルの基本式は海洋表層におけるコリオリ、慣性、風応力及び制動係数を考慮した力のバランスを表している。

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} - f * \bar{v} = \frac{\tau_x}{\rho_w * Z_0} - D * \bar{u} \quad (9)$$

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + f * \bar{u} = \frac{\tau_y}{\rho_w * Z_0} - D * \bar{v} \quad (10)$$

ここで \bar{u}, \bar{v} は東西、南北の深さ平均の流速成分を、 τ_x, τ_y は風応力成分をそれぞれ表している。f はコリオリのパラメータであり、D は制動係数である。また、 ρ_w は海水の密度、 Z_0 は風の影響の及ぶ深さである。式(9)、(10)を時間で積分すると以下のように表すことができる。

$$(\bar{u}_2 - \bar{u}_1) - f * \int_{t_1}^{t_2} \bar{v} dt = I_x / \rho_w * Z_0 - D * \int_{t_1}^{t_2} \bar{u} dt \quad (11)$$

$$(\bar{v}_2 - \bar{v}_1) + f * \int_{t_1}^{t_2} \bar{u} dt = I_y / \rho_w * Z_0 - D * \int_{t_1}^{t_2} \bar{v} dt \quad (12)$$

ここで t_1, t_2 は積分の始めと終わりの時間を、 I_x, I_y は以下で定義される風インパクトを示す。積分の台形公式を利用して数値的に解くと以下のようなになる。

$$\bar{u}_2 = (I_x / \rho_w * Z_0 + C_2 * I_y / \rho_w * Z_0 + C_3 * \bar{u}_1 + C_4 * \bar{v}_1) / C_1 \quad (13)$$

$$\bar{v}_2 = (I_y / \rho_w * Z_0 - C_2 * I_x / \rho_w * Z_0 + C_3 * \bar{v}_1 - C_4 * \bar{u}_1) / C_1 \quad (14)$$

ここで

$$C_1 = 1 + (D * \Delta T) / 2 + (f * \Delta T)^2 / (2 * (2 + D * \Delta T))$$

$$C_2 = (f * \Delta T) / (2 + D * \Delta T)$$

$$C_3 = 1 - (D * \Delta T) / 2 - (f * \Delta T)^2 / (2 * (2 + D * \Delta T))$$

$$C_4 = (f * \Delta T) / 2 + (f * \Delta T) / (2 + D * \Delta T) - (f * D * (\Delta T)^2) / (2 * (2 + D * \Delta T))$$

$$\Delta T = t_2 - t_1$$

$$I_x = \int \tau_x dt$$

$$I_y = \int \tau_y dt$$

4. 結果と考察

モデルから推定された流量は Fig. 2 に示す OM-KO 測線に沿って得られた ADCP データからの流量により検証された。Fig. 5 は緯度 0.5 度毎の OM-KO 測線に直交する流量成分の分布を示す。力学計算により得られた地衡流量も 'DYNA' として同じ測線に示している。これら 2 種類の流量値を比較すると 30.5-31 度、32.5-33 度を除き ADCP から得られる流量は力学計算より得られる流量より大きいことがわかる。もしもこれら 2 種類の黒潮流軸から離れた流量値の差が、風インパクトにより駆動される流量によって説明できるならば、重ね合わせの原理、すなわち実測流量が地衡流量と吹送流量との和であるという仮定のもとで風インパクトモデルの信頼性と予測可能性が確認されることになる。Fig. 5 は地衡流量と吹送流量との和が ADCP より得られる流量の大部分を説明できることを示している。すなわち重ね合わせの原理が流量推定に有効であることを示唆している。しかしながらこの仮定は非線形効果が支配的な海域では有効でない。従ってこの仮定の適用にあたっては注意すべきであると同時に、異なる海域でのモデルの検証を今後もつつける必要がある。

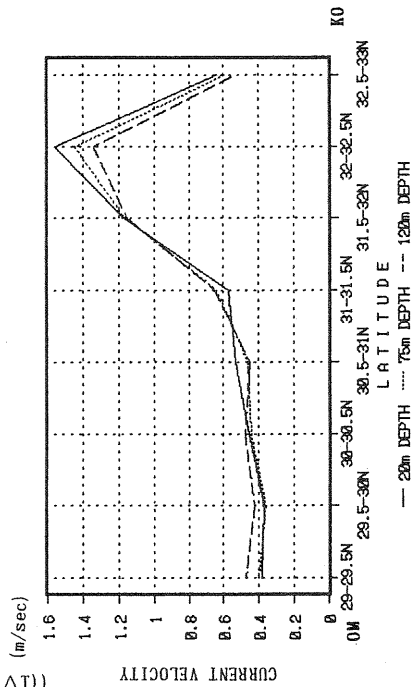


Fig. 3. Current velocity distribution with respect to three depths of ADCP along the OM-KO observation line.

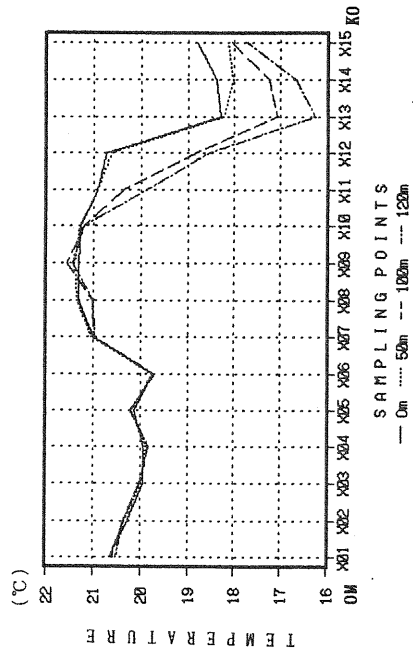


Fig. 4. Distribution of water temperature measured with XBT along the OM-KO observation line. (The horizontal scale is arbitrary.)

謝 辞

本研究は文部省科学研究費補助金（奨励研究（A））（No.03750038）より援助を受けた。また東京大学海洋研究所の以下の諸氏には深甚なる謝意を表す。海洋物理部門平教授、川辺博士、上原氏（現在九州大学応用力学研究所）、観測機器管理室乙部博士及び研究船白鳳丸船長以下乗組員の方々。さらに海上保安庁海洋データセンター（No.91-004）、気象庁海洋課からは船舶及びブイデータの提供を受けたことに対し謝意を表す。最後に有益なコメントとアドバイスをいただきました神戸商船大学齋藤教授に感謝いたします。

参考文献

- 1) W. Munk and C. Wunsch: 'Observing the ocean in the 1990's', Phil. Trans. Roy. Soc. London, A307, 439-64, 1982.
- 2) B. A. Taft: Characteristics of the flow of the Kuroshio south of Japan, pp.165-216, in Kuroshio ed. by H. Stommel and K. Yoshida, U. of Tokyo Press, 1972.
- 3) K. Kouzai and K. Tsuchiya: Estimation of surface current velocities of the Kuroshio using single NOAA AVHRR image, J. Remote Sensing Soc. of Japan, 10, 3, 13-23, 1990.

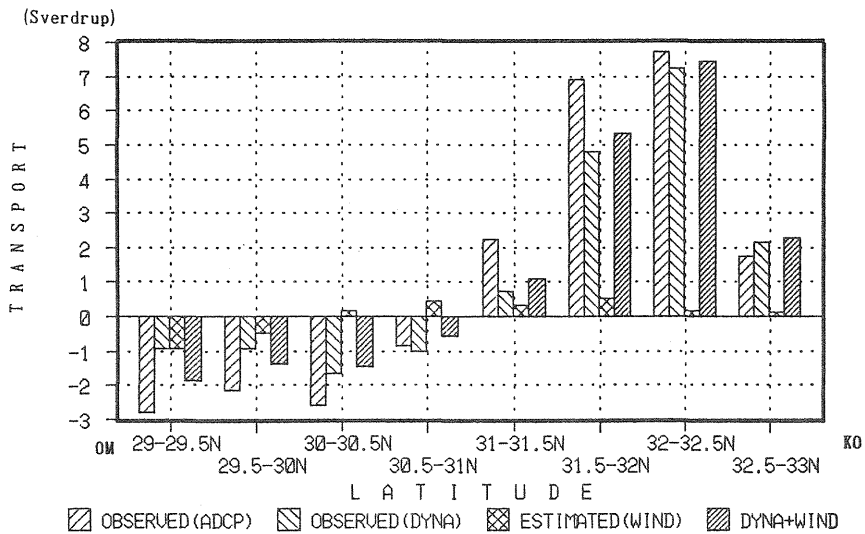


Fig. 5. Comparison of the magnitude of transport vectors between the observed and the estimated normal to the OM-KO observation line.

オホーツク海の最近の氷況について

上平悦朗 (気象庁海洋気象部)

1. はじめに

日本における組織的な海水観測は、1892年から網走、根室等の測候所(当時の北海道庁所属)で開始され、すでに100年以上に及ぶ。1935年から冷害対策として、中央気象台によって航空機による観測が開始され、第2次大戦後の休止があったものの、1957年から再開され、現在は寒候期に自衛隊や海上保安庁によって定期的に航空機の観測が行われている。1960年代になると、北海道大学の流水レーダーが設置(紋別・枝幸・網走)され観測が開始された。

海水観測に飛躍的な発展をもたらしたのは、人工衛星による観測である。1966年からESSA、NOAA、また1977年から気象衛星「ひまわり」が有効に利用されるようになった。

気象庁では、各機関から得た観測資料も含め総合的に解析し、海水の予報・情報の発表を行っている。1990年12月からはオホーツク海南部について数値海水予報を開始し、1週間先までの海水予想図の提供を行っている。

ここでは、沿岸海水観測開始からの資料、また1971年以降のオホーツク海海水データを使用し解析を行った。

2. 北海道沿岸の流水

図1に網走における101年間の流水期間(流水初日~終日までの間)と2月の平均気温の変化を示した。これによると流水期間は、観測開始から1950年頃までは年々の変動が大きく、約10年~20年周期の長期の変化がみられる。50年代~80年代後半までは変化は小さい。しかし近年の1989年以降は流水期間の短い年が続いているのが顕著である。

気温と流水との関係では、多くの報告がある。図下段の気温でもこれまで述べられているように、1950年頃までは寒暖の変化が比較的大きく、約10年周期も現れているようである。近年の高温は著しい。流水期間との対比では、特に寒冬や暖冬になった年と期間の長短について概ね良好な対応を示している。最近30年間の両者の相関は $r=-0.351$ であった。

なお、海水現象初終日などの極値の更新は、特に1985年以降から暖冬に伴った更新が目立っている。

3. オホーツク海の海水面積

図2に1971~92年のオホーツク海の最大海水面積の経年変化を示した。平均は $121 \times 10^4 \text{ km}^2$ である。この中で1984年、1991年はかなり面積が小さかった。いずれも図3の1991年

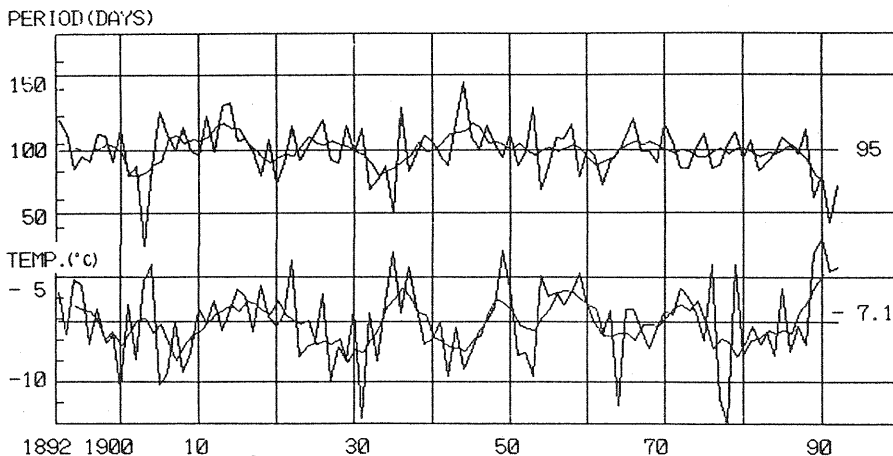


図1. 網走における流水期間と2月の気温
(平滑線は5か年移動平均)

1月の地上気圧偏差図に示すように、アリュシャン低気圧が南に偏って通過することが多く、オホーツク海では東風が優勢で、海水域の広がりを抑えた。加えて気温の高かったことが原因した。

面積の大きい1978年、1988年は図4に示すようにアリュシャン低気圧が北に偏り、オホーツク海では西風が優勢となり、拡大を促進したことが一因となった。

図2の北海道周辺の50°N以南の海水面積(グラフ下部斜線部)の経過では、全域の面積と同様に1989年以降4年続きの小さい面積となっているが、特に1991年はこれまでの最小となっている。

4. おわりに

近年は、海水予報・情報が従来の船舶の航行安全と漁業の安全操業への利用に限らず、海水が観光資源として期待されており、この方面への利用が増加しつつある。3年目を迎えた数値海水予報は、利用者から大きな期待が寄せられている。

地球規模の環境問題では、海水が温暖化現象を検出するための優れたセンサーとも言われていることから、全球を含めた海水の監視がますます重要となっている。

参考文献

- (1) 気象庁(1988)：海水観測30年報告、気象庁技術報告、109
- (2) 気象庁(1991)：気象庁海水統計資料、No.2
- (3) 赤川正臣(1976)：オホーツク海の海水について、札幌気象100年論文集
- (4) 麻生 正(1986)：オホーツク海の海水分布と気象、技術時報別冊35号、札幌管区気象台

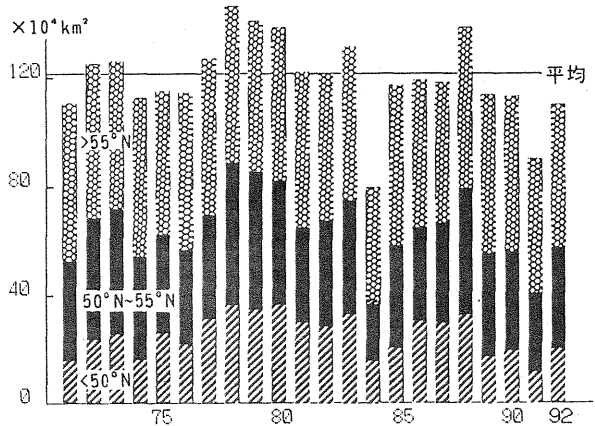


図2. オホーツク海の最大海水面積の経過 (平均は1971~90年)

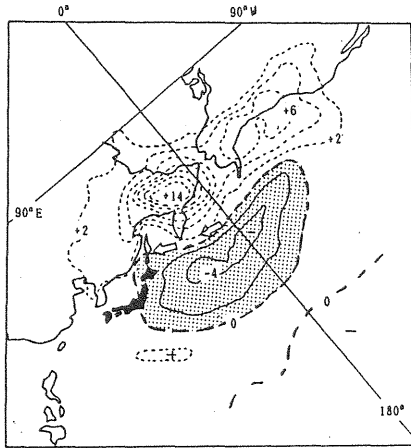


図3. 1991年1月の地上気圧偏差 (hPa)

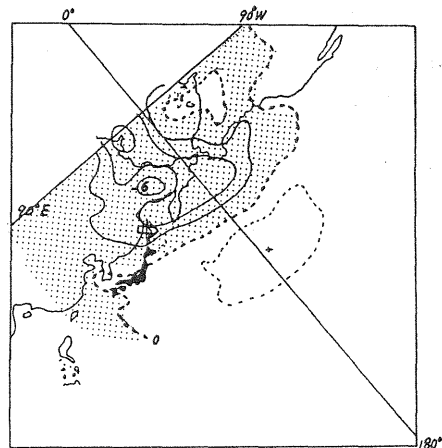


図4. 1988年1月の地上気圧偏差 (hPa)

山越え気流の数値シミュレーション

隈部良司 (神戸海洋气象台)

1 はじめに

六甲おろしなどのおろし風は、流れの中に山などの障害物がある場合、障害物の風下側で気層の厚みが減小して風速が風上側の数倍に達する現象として説明されている(ハイドロリックジャンプ)。発生条件も、大気の安定度と山の高さからある程度の目安が云われている。しかし、おろしの発生機構など研究の余地があるようである。

非線形の現象として扱われており、数値シミュレーションによる研究も行われている。一方、山の風下に発生する波状雲などを説明するのに、基本場へ加わる擾乱の振幅が微小であるとした線形理論がよく用いられる。そして、おろし風の発生条件が線形論による山岳波の発生条件に対応すると考えられる。

今回は、取扱つかいや検証が簡単な線形論による数値モデルを作成して、それが六甲おろしの発生条件の目安となるような現象をシミュレートできるか調べる。

2 数値モデル

モデルは三河(1980)のモデルを再現したもので、

1. 2次元(X, Z 平面)
2. 線形, 定常
3. 非粘性
4. Boussinesq 近似
5. 地球自転の影響を無視, 乾燥断熱

の条件で解いた。

Boussinesq 近似の運動方程式を線形化し、 x 方向にフーリエ展開した最終的な式は Score 方程式として知られ、

$$l^2 = N^2/U^2 - U_{zz}/U \quad N: \text{Brunt Vaisäräの振動数として}$$

$$\frac{d^2 W(k)}{dz^2} + (l^2 - k^2) \cdot W(k) = 0 \quad (1)$$

但し、 $W(k)$ は波数が k の鉛直方向の風速成分であり、形式的にシュレディンガーの波動方程式と同じである。

この式を z 方向に差分化して数値的に解いた。
鉛直的に i 番目の $W(k)$ を $W_i(k)$ として、解が、

$$W_i(k) = \alpha_i \cdot W_{i+1}(k) + \beta_i \quad (2)$$

とおけるとする。ここで α_i, β_i は係数である。

一方 Score 方程式を差分形にして、

$$A_i \cdot W_{i-1}(k) + B_i \cdot W_i(k) + C_i \cdot W_{i+1}(k) = D_i \quad (3)$$

とすると、(2),(3)式から α_{i-1} , β_{i-1} が分かったとき α_i , β_i もわかる。境界条件が微分形で書けると、それを差分化した式から直ちに α_1 , β_1 が分かるので、結局全ての α_i β_i が分かる。

そしてもう一方の境界条件から、 $W_n(k)$ が分かれば(2)式を使って全ての $W_i(k)$ が分かる。

地表面の境界条件：地表面では気流が常に地面に沿って流れる。

$$W(0) = \frac{d\zeta(k)}{dx} \cdot U(0)$$

ただし $\zeta(k)$ は山のプロファイルをフーリエ展開したもの。

大気上端の境界条件：大気上端では

i) $l_T - k > 0$ の時：

$$\frac{dW(k)}{dz} = i \cdot \sqrt{l_T^2 - k^2} \cdot W(k)$$

(放射条件、波のエネルギーの流れは下から上に向かうものだけで上から下へ

向かうものはない)

ii) $l_T - k < 0$ の時：

$$\frac{dW(k)}{dz} = -\sqrt{k^2 - l_T^2} \cdot W(k) \quad (z \rightarrow \infty \text{ で } W \text{ が有限})$$

計算領域：水平方向は 500km の領域を 1024 の格子に分割し、511 項の波数成分の計算を行った。領域の中心に高さ 1km のベル形の山をおき、擾乱源とした。鉛直方向は 0.5km 毎に 40 層 20km までである。

3 数値計算

簡単な場合について三河の結果と比較し、ほとんどの場合で三河の結果に一致した。

モデルは線形であるので、解析的に解くことができる。解 W は z の関数として表されて、

$$W(z) = A \exp(\sqrt{k^2 - l^2} \cdot z) + B \exp(-\sqrt{k^2 - l^2} \cdot z)$$

である。境界条件から、 $l^2 - k^2 < 0$ の波に対しては

$$W(z) = ikU \cdot \exp(-\sqrt{k^2 - l^2} \cdot z)$$

$l^2 - k^2 > 0$ の波に対しては

$$W(z) = ikU \cdot \exp(i\sqrt{l^2 - k^2} \cdot z)$$

であり、鉛直的に l^2 が一樣な場合、波長の長い波は鉛直的に位相が変わらず減衰し、波長の短い波は位相が風上側に傾き減衰しないで、ともに上方へ伝播し、風下側に山岳波が残ることはない。

しかし、下層で $l^2 - k^2 > 0$ 、上層で $l^2 - k^2 < 0$ のような 2 層大気の場合下層の波が上方へ伝わらず、境界で反射されて下層にトラップされ風下側に伝播する。

発表ではこのような場合のモデルの検証結果を示すと共に、六甲おろしの発生した日の条件によるシミュレーションの結果を提示したい。

参考文献

三河哲也(1980)：気象大学校卒業研究論文集。

ドップラーソーダによる海風構造の研究

井本 義成 (高知大学大学院 理学研究科)

〔1〕 はじめに

超音波風速計やパイロットバルーン等を用いた、海風の進入に伴う速度場や乱流構造の研究は盛んに行われているが、ドップラーソーダを用いたその様な研究はまだ事例が少なく、ドップラーソーダの信頼性を検証するという観点からも意義あるものと思われる。

そこで、1992年2月27日、高知大学大気境界層観測所(ABO)においてドップラーソーダで観測された海風進入時における大気境界層下部の観測結果を紹介する。

〔2〕 データについて

観測データは、海風進入前後に注目して大きく4つの時間帯に分けられる(図1)。すなわち、

- ① 9:00 ~ 9:40 (海風前線通過前)
- ② 9:40 ~ 10:50 (海風前線通過後, 海風進入前)
- ③ 10:50 ~ 12:00 (海風進入直後)
- ④ 12:00 ~ 13:00 (海風進入後)

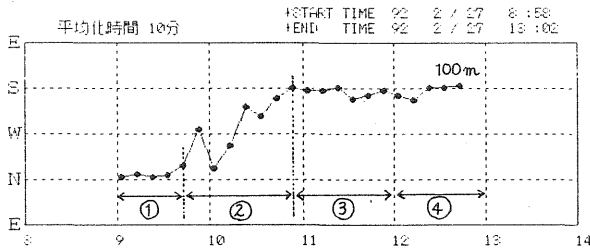


図1 100(m)の風向図

第2図は、①から④の各時間帯における有効データ数を表したものである。

時間	高さ	40	60	80	100	120	140
①		84	84	84	87	61	16
②		61	60	68	68	43	23
③		53	53	74	79	61	36
④		38	39	73	84	75	58

図2 有効データ数(%)

[3] 結果

図3から図6は、それぞれ①から④の時間帯での鉛直風速の等値線を描いている。破線は、鉛直風速がマイナスの値をとる領域を表わしている。また、その部分は黒く塗られている。

図3と図4を比較すると、海風前線の通過後に上昇流が多く見られるようになる。また、図4の高度約120[m]のところに、強い鉛直シアが形成されている。図5では、上昇流が盛んになっている。さらに図6では、上昇流と下降流が交互に現れ乱流混合が盛んに行われている。上昇流の起こる周期は、図より3分から5分程度である。

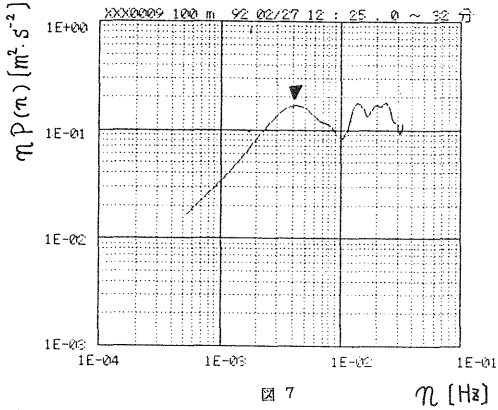


図7

図7は、図6の時間帯(④)における風速鉛直成分の分散スペクトルを示す。ここで▼印で示す周波数は、約0.004(Hz)である。よって周期は、 $1/0.004 = 250$ 秒で、図6で評価した上昇流の周期とよく一致する。

そこで、①、③、④の時間帯に対応する鉛直風速の分散スペクトル曲線を、図8(a)~(c)に示す。図8(a)では、周波数のピークが大きく2つ存在するが、図3を見ると図6の場合よりも周期の長い方(低周波)側へシフトしている。図3と図6では、同じ様に上昇流を持つ構造ではあるが、パワースペクトルを比べてみても、全体への寄与が大きいのは後者(図6)である。

さらに、図8(b)においてはピークは他の2つ(図8(a), (c))に比べて高周波域に存在する(▽印)。

図9は、図8(a)~(c)のピーク周波数から求めた乱れのスケール $l = U / 2\pi n_p$ である。図中の直線は、混合距離(=kz; zは高度、kはカルマン定数(0.4))を示し、白抜き記号は、低周波域に現れるピークによるもので全体は大きく2つの傾向に分けることができる。

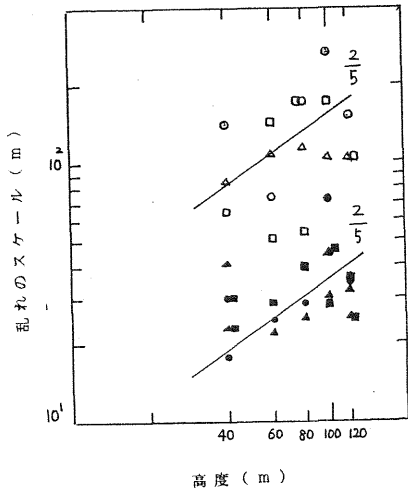


図9

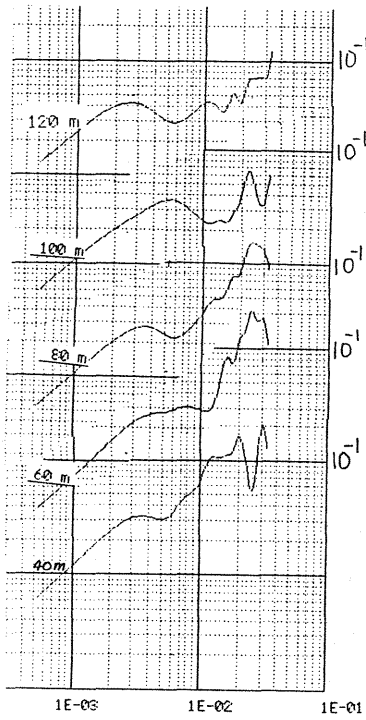


図 8 (a)
(9:00~9:32)
①

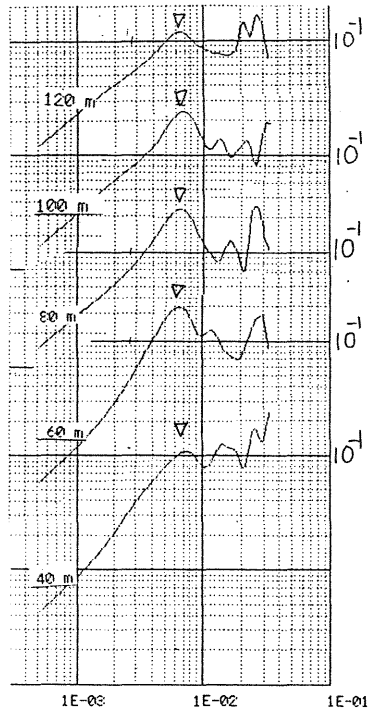
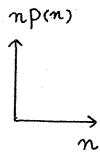


図 8 (b)
(10:50~11:22)
③

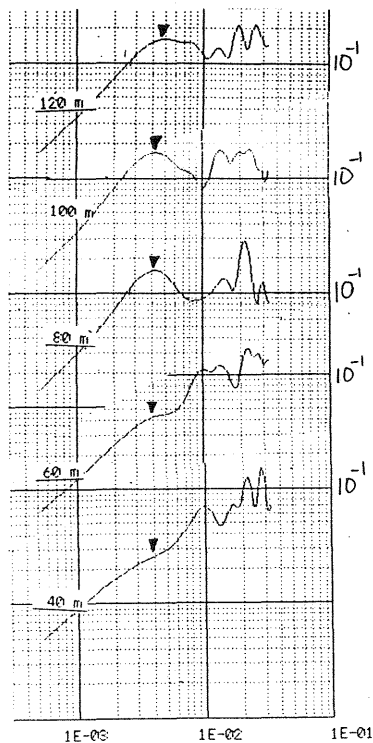
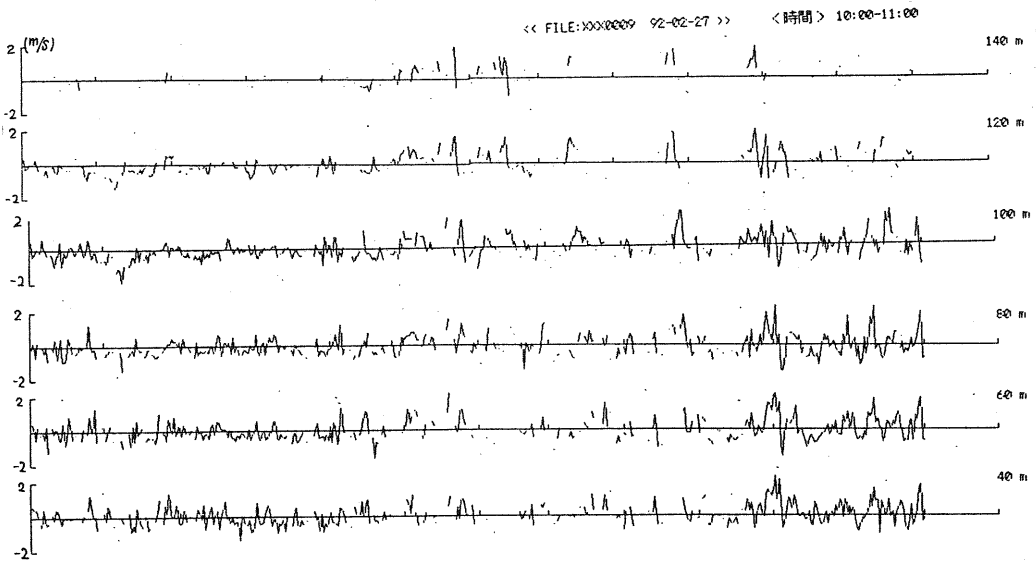
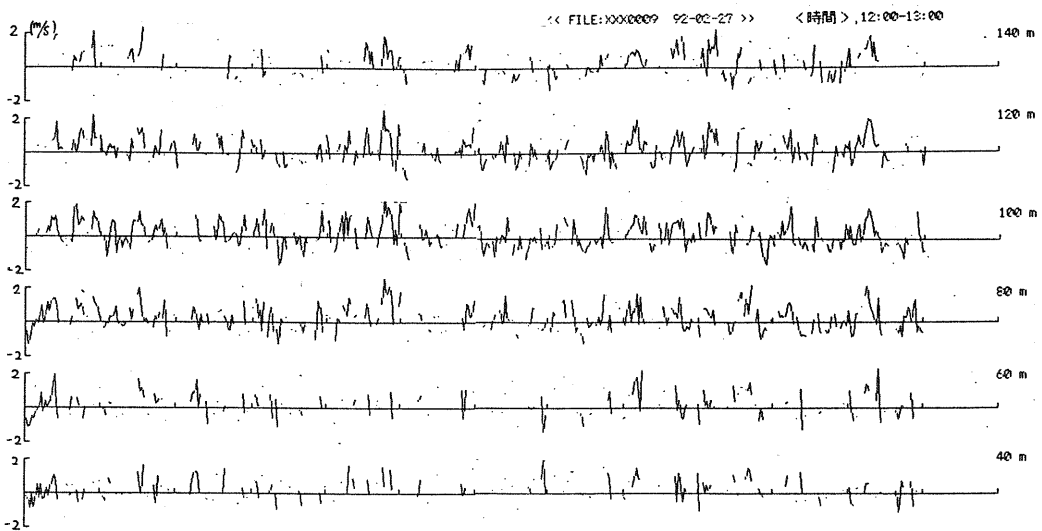


図 8 (c)
(12:25~12:57)
④



鉛直風速時系列



鉛直風速時系列

ドップラーソーダによる大気境界層下部の乱流構造の研究

肥川靖隆 (高知大学大学院 理学研究科)

[1] はじめに

接地気層での乱流統計量の振舞いは、定常で一様であるという条件がある程度満たされればモニン・オブコフの相似則でよく説明できる。それによれば乱流統計量は大気安定度 Z/L (L :モニン・オブコフの長さ、式(1))の関数で表される。

$$L = - \frac{U_*^3 \theta}{K g (\overline{w'T'})} \quad \begin{array}{l} U_* ; \text{摩擦速度} = (-\overline{uw'})^{1/2} \\ (\overline{w'T'}) ; \text{熱フラックス} \\ T ; \text{平均気温} \\ K ; \text{カルマン定数} \\ g ; \text{重力加速度} \end{array} \quad (1)$$

ところで接地気層より上の気層(約200m、境界層下部)は、接地気層にくらべて比較的良質のデータが得がたい気層である。リモートセンシング装置の一つであるドップラーソーダを使いその気層での乱流統計量の振舞いの研究が行われるようになってきている。大気境界層下部は接地気層と混合層との中間の性質を持つと考えられるが、そこでの気層の乱流統計量が相似則によって説明できるか否かを、ソーダを使って研究を行なった。

[2] 観測

観測は高知県南国市日章にある高知大学理学部大気境界層観測所(ABO)において1992年4月13日から同年7月22日の間のうち15日行ない、その中から有効な42ランを得た。

使われた測定器はタワーの高度21mに取り付けた熱電対温度計、超音波風速温度計(SAT)およびタワーの北側約5mの地上に設置したドップラーソーダ(KAIJO, AR-410)である。

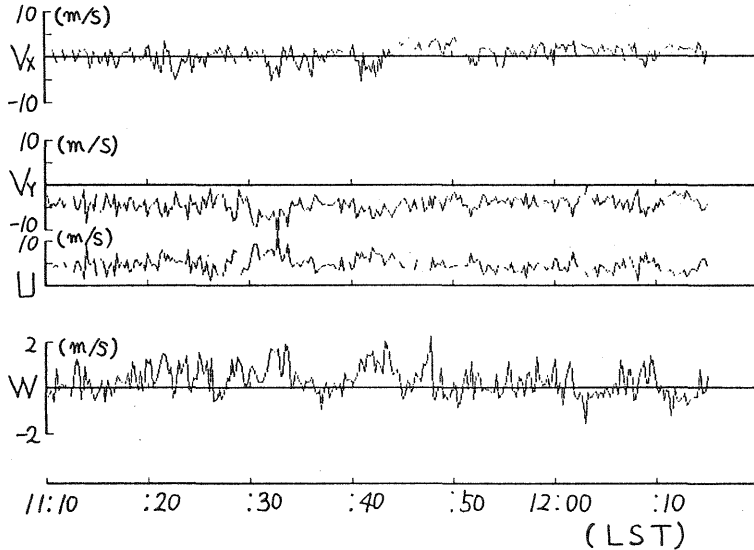


図1 ドップラーソーダの観測要素 風速の水平成分(南北 V_x 、東西 V_y)と鉛直成分(W)、1992年7月22日 11:10-12:15

[3] 観測要素と温度フラックスの推定

A B OではSATを使って高度21 mの風速3成分と気温変動、そしてソーダを使って高度20 mから200 mまでの風速3成分 (V_x :風速の東西成分、 V_y :風速の南北成分、 W :風速の鉛直成分)が観測(図1に記録例を示す)できる。しかしソーダでは21 mより上空の温度場は測定できない。つまり21 mより上空では熱フラックス \overline{wT} がわからないために、モニン・オブコフの長さは評価できない。そこで21 mのSATデータから得られた熱フラックスを基にして上空の熱フラックスを推定した。(式(2)) 推定式はミネソタ実験の結果(1973)から求めた。

高度 z (m) における熱フラックスの推定値

$$(\overline{wT})_z = (\overline{wT})_{21m} \exp[1 - (z/21)/11.4] \quad (2)$$

$(\overline{wT})_{21m}$: 21 mでの熱フラックス(Km/s)

[4] 解析結果

相似則によれば大気の状態が不安定な時 ($z/L < 0$)、風速の標準偏差 ($\sigma_w, \sigma_u, \sigma_v$) を摩擦速度 ($u_* = (-\overline{uw})^{1/2}$) で無次元化したものは安定度の3分の1乗に比例する。(式(3))

$$\frac{\sigma_u}{u_*}, \frac{\sigma_v}{u_*}, \frac{\sigma_w}{u_*} \propto \left(-\frac{z}{L}\right)^{1/3} \quad (3)$$

図2はドップラソーダと同一時間に観測した21 mタワーのSATデータから得られたものだが、これから21 m以下の流れの場の観測時の定常・一様な条件が満たされていることが分かる。

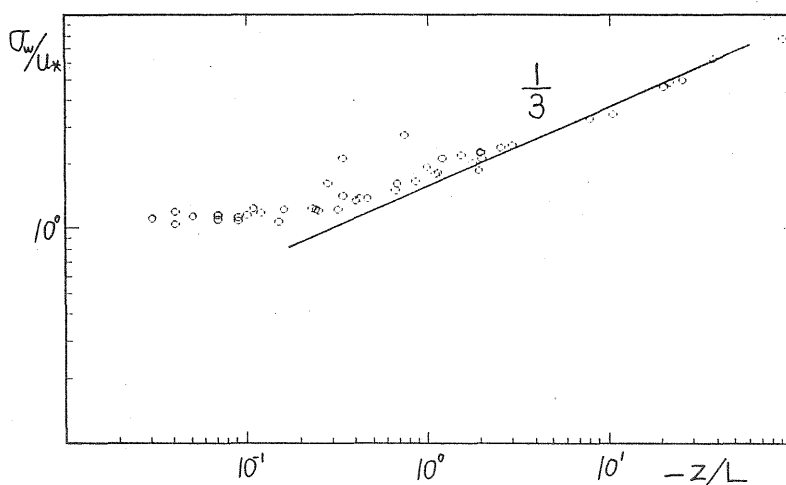


図2 SATデータ(21 m)による $\frac{\sigma_w}{u_*}$ と $-\frac{z}{L}$ との関係

地表面付近では平均風方向の運動量フラックスと比較して横方向の運動量フラックスは無視できる大きさとして扱われるが測定高度が上がると横方向の運動量フラックスが無視できない大きさを持つてくる(図3)ので摩擦速度の計算には式(4)を使った。

$$u_* = \left(\sqrt{(-\overline{u\overline{w}})^2 + (-\overline{v\overline{w}})^2} \right)^{1/2} \quad \begin{array}{l} \overline{u\overline{w}}; \text{平均風方向の運動量フラックス} \\ \overline{v\overline{w}}; \text{横方向の運動量フラックス} \end{array} \quad (4)$$

ソーダデータから得られた鉛直風の標準偏差は図4に示されるようにまとまりが良く、相似則で説明できる。一方水平風の標準偏差については(図5、6を参照)鉛直風に比べて低周波の風の影響を受けているためまとまりは良くないが大体相似則で説明できる。

図7は乱れの全エネルギーを u_*^2 で割って無次元化したもの(式(5))と安定度との関係を示すがばらつきはあるものの不安定になるほど増加の傾向を示している。しかし風速の水平2成分と鉛直成分の標準偏差について個々に見ると相似則で説明できるようなので精度の面でソーダデータを厳選することによって良い結果が期待できる。

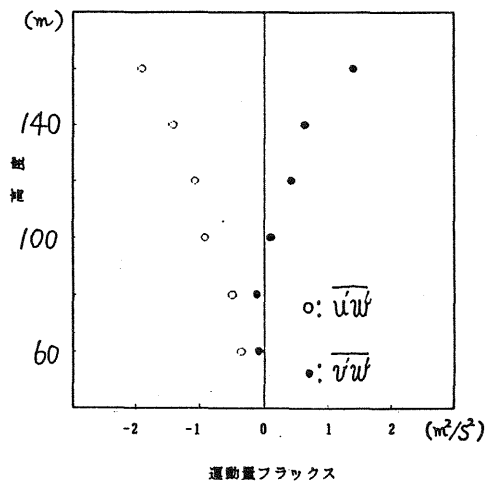


図3 高度別、運動量フラックス2成分
1992年6月24日 12:40-13:30

$$\phi_E = \frac{1}{2} \frac{(\overline{u^2} + \overline{v^2} + \overline{w^2})}{u_*^2} \quad (5)$$

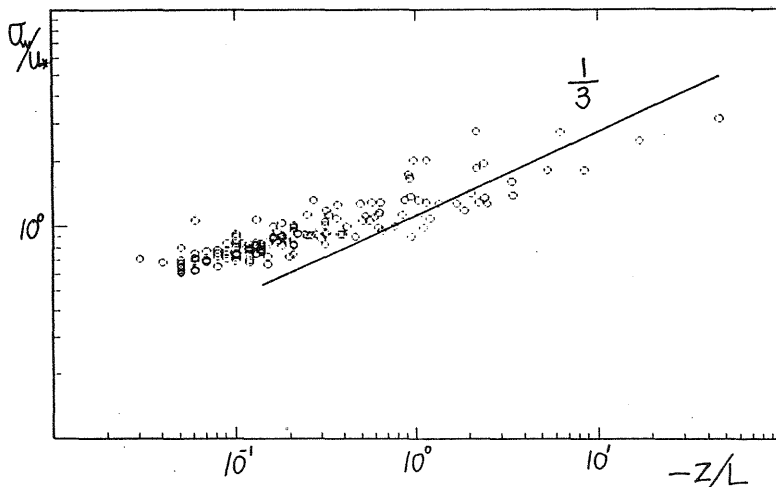


図4 ソーダデータによる $\frac{\sigma_w}{u_*}$ と $-\frac{z}{L}$ との関係

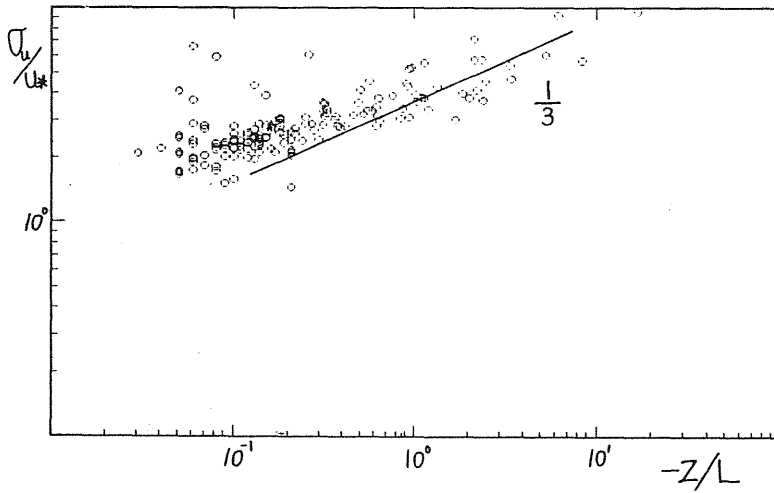


図5 ソーダデータによる $\frac{\sigma_u}{u_*}$ と $-\frac{Z}{L}$ との関係

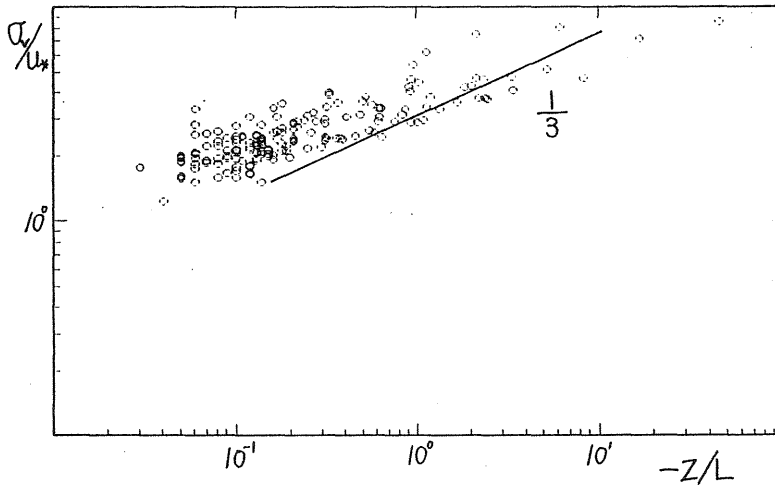


図6 ソーダデータによる $\frac{\sigma_v}{u_*}$ と $-\frac{Z}{L}$ との関係

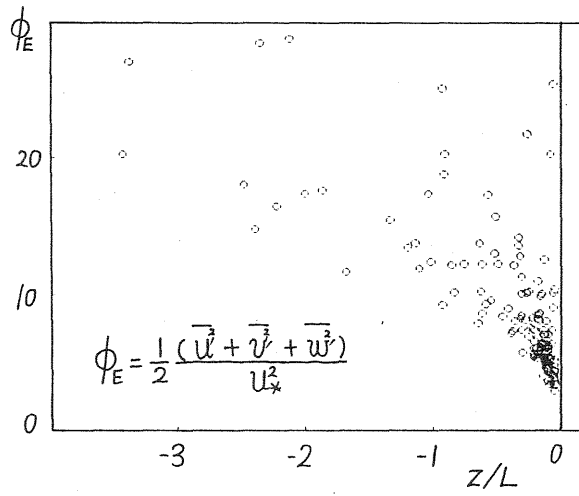


図7 乱れの全エネルギー ϕ_E と $\frac{z}{L}$ との関係

暖かかった時代の全地球的な気候復元について
(紹介)

森 広道 (大阪管区気象台)

はじめに

気候変動に関する政府間パネル (IPCC) の第一作業部会によるIPCCへの報告書 (第7章) には、ロシアのBudyko and Izrael (1987) が将来の温暖化した気候と類似の気候として、3つの温暖期の古気候を推定しました。その後、同じロシアのBorzenkova and Zubakov (1990, 1992) が前述の解析を全球について行っていますのでその概要を紹介します。

1. 序

人間活動等の人為的要因により、2千年までに1℃、2025年までに2~3℃、21世紀中頃までに3~4℃の全球気温の上昇が見込まれる。これらの気候に類似した古気候として、3つの暖かかった時代：完新世最盛期 (6~5千年前：地質時代最後の紀)、最終間氷期 (12万5千年前)、鮮新世 (430~330万年前：新世代第3紀後半) を事例解析した。

過去の気候復元 (気温と降水量) には、生物共同体 (主に、海洋ではプランクトンの分布、大陸においては植物の分布) と気候との間にある関係を数量的に計算した。

過去の地勢とある地域に特有な気候の復元に関しては、岩石学・古地理学・古植物学・土壌学・地質学その他のデータの指標を広範囲に統合した。この解析は、現在考えられている古気候の地勢・気候帯の移動を十分な精度で復元していると思われる。

以下に、3つの温暖期に対する経験的データより地域的な古気候を再現した。これらは、将来の気候状態の一つのシナリオとして有効と考える。

2. 気候復元

2-1. 完新世最盛期 (約6~5千年前)

第1図(a)(b)に示した夏季 (7~8月) と冬季 (1~2月) の気温の全地球的な復元では、北半球の熱帯域以外の復元については、ロシア科学アカデミー地理大学のA.A. Velichko教授と国家水文大学の解析結果による。この復元で、アフリカの熱帯域とアジア [1, 2]・中国 [3]・南アメリカ [4, 5]・オーストラリア域については、以前の解析データに新たなデータを補足した。

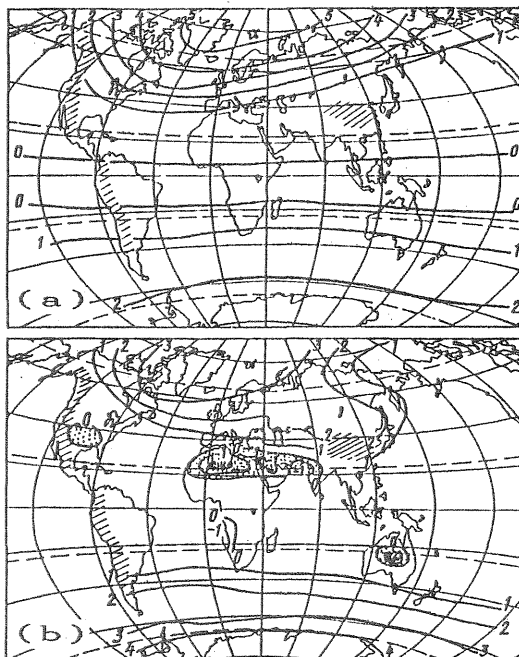
この時期の古地理学データは広範囲に残っている。しかし、完新世最盛期の全地球的な気温の復元に関して、海洋データが限定されている不確実性がある。

第1図(a)(b)の解析図によると、産業革命直後の値

と比較して全般的な気温上昇が見られた。特に両半球の高緯度で顕著で、夏季に4℃、冬季に4~5℃の気温上昇であった。中緯度では1~2℃上昇し、その地域の南では僅かながら負偏差となった。

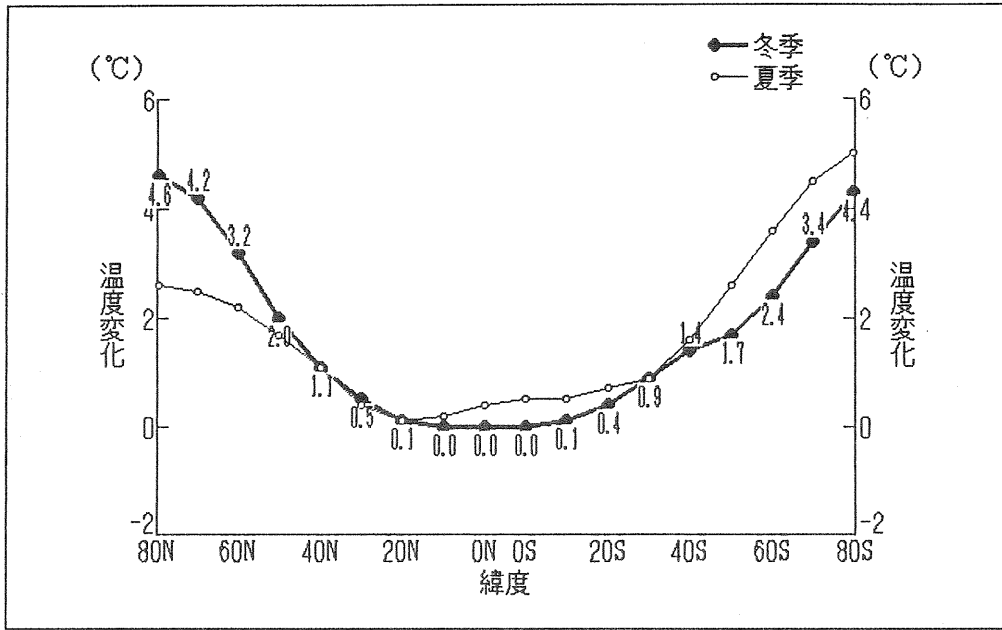
夏季の気温低下はサヘル北部・アラビア半島・インド北西部・中央アジア・アメリカ南部・オーストラリア中央部・ナミビア砂漠・カラハリ砂漠で顕著であった。

19世紀から20世紀始めの平均気温と6~5千年前の気温との差を、緯度別平均と両半球平均した解析を第2図に示す。全球の年平均気温は現在よりも約1℃高かった。しかし、この時期の気候は既にCO₂濃度の上昇の影響もあり、全球の平均気温は産業革命直後よりも約0.2℃高かったと見積られる。このことから、6~5千年前の全球平均気温は産業革命直後よりも約1.2℃高かったようである。



第1図.

19世紀中頃の値との偏差でみた完新世最盛期 (6~5千年前) の古気候復元図。(a) は1月~2月の地上気温で (b) は7月~8月の地上気温を示す。



第2図. 完新世気候最適期と現在(19世紀から20世紀初め)との気温差を、冬季(1月~2月)と夏季(7月~8月)で緯度別平均した図。ここで、20Nは20~30N帯の値であり北半球の冬季平均は0.9℃, 夏季平均は0.8℃。南半球の冬季平均は1.0℃, 夏季平均は1.3℃である。

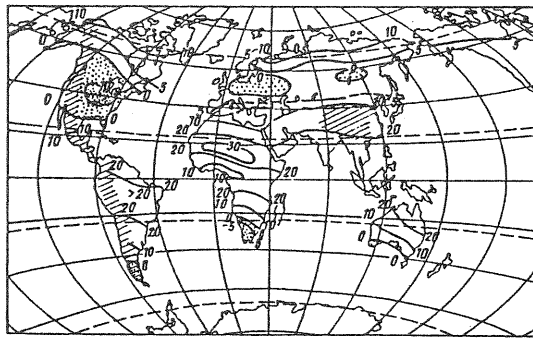
完新世気候最適期における年降水量の解析(第3図)では、湿潤状態の改善は多くの大陸で見られた。高緯度では年間100mm, アフリカの亜熱帯域・赤道域・インド南西部・オーストラリア・南アメリカでは年間200~300mmの増加であった。年間50mmまでの降水量の低下は、西ヨーロッパ・南ヨーロッパ・地中海地域・東ヨーロッパ南部に見られた。

年間150mm以上の大きな低下はアメリカ中央部に見られた。南半球のチリ南部・アフリカ南部・オーストラリア南部でも降水量は減少した。

湿潤状態の改善は、サハラ砂漠・インド南西部・ヒマラヤタール地方・ナミビア砂漠の北部・カラハリ砂漠・オーストラリアの中央部と北東部でも見られた。

アフリカ砂漠地域からの経験的データ[1,2]によると、完新世中期のサハラ地域では150~300mm以上の年降水量を伴ったサバンナと同様な、あるいは半砂漠の地勢が優勢であった。また、現在と比較したときの湿潤状態の改善は、ナミビア砂漠の北部・カラハリ砂漠に見られた。

このような変化は気圧場や大気的作用中心と関係し、その位置(循環)はアフリカ・アジア・南アメリカ・オーストラリアの亜熱帯地域における熱帯内対流と湿潤状態の季節的・多年変動帯に表われてくる。このメカニズムは、全球気温が大きく上昇した1980年代末におけるスーダン・サハラ地域における



第3図. 19世紀中頃の値との偏差でみた完新世最適期の年降水量(mm)の古気候復元図。ただし、第3図に限っては原図の数値を10倍する必要がある。

降水量の増大の原因と関係しているかもしれない。このとき、降水量の最大増加は1988年にスーダン・ナイジェリア・サハラ南部において見られた。いくつかの研究によると、これらの現象は全球的な昇温の結果であると言われている。

2-2. リス・ビリュームスキ最適間氷期(約12万5千年前)

最終間氷期(約12万5千~13万年前)については、

大陸では古植物情報が、海洋では古生物情報が十分に提供されている [6.7.8]。

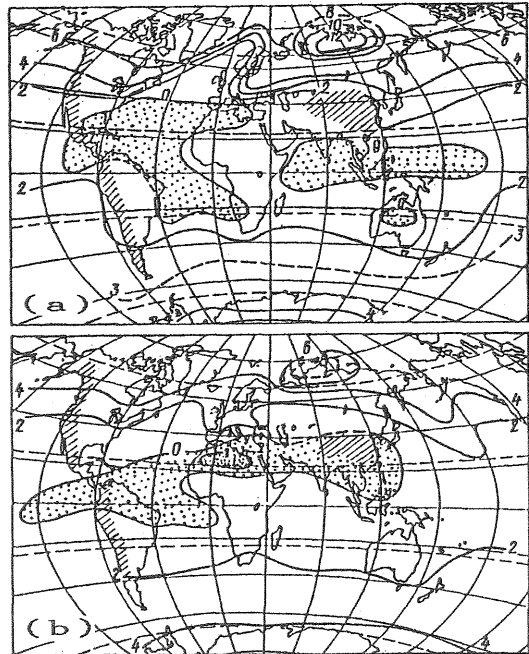
19世紀中頃との地上気温偏差を第4図(a)(b)に示す。古気候の復元においては、旧ソ連邦と西ヨーロッパについてはロシア科学アカデミー地理学で解析されたものを、大西洋と太平洋・インド洋についてはロシア科学アカデミー海洋学で解析データを用いた。

北アメリカ大陸・アフリカ・アジア・南アメリカ・オーストラリアでの気候の復元には、参考文献にある多用なデータを用いた。南半球における海洋の冬季水温と夏季水温、南半球の気温の復元では、大西洋・太平洋・インド洋での深海掘削データを基にしたA.G.Rapeniconの解析データとCLIMAP計画とSP-EKMAP計画 [6.7.8] で得られたデータを用いた。

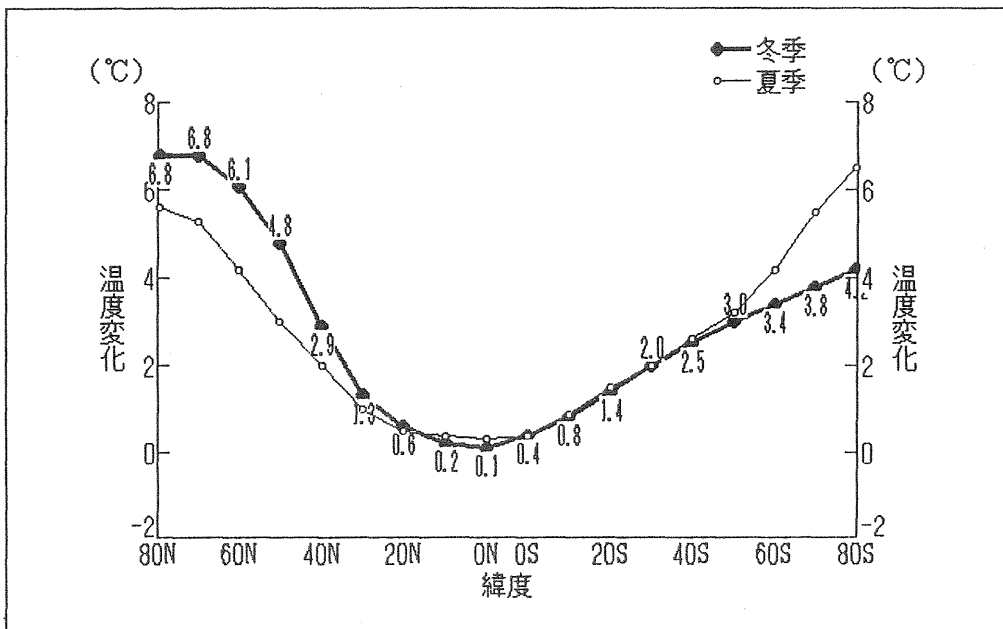
ロシアと海外のデータから約130の深海データを利用したが、このうちの約80は北半球に、約50は南半球に分布した。これらのデータの不確実性は、ミクロな動物相の解析に伴うロシアと海外の研究者の得た情報の解析手法の相違にある。

最終間氷期の気候最適期と現在の気温との緯度別平均 (第5図) によると、全球気温は現在よりも1.8℃高かった。北半球の夏季の気温は現在よりも1.5℃高く、南半球では2.0℃高かった。また、北半球の冬季は2.0℃高く、南半球は1.8℃高かった。

古植物データ等 (第4図) によると、夏季と冬季の



第4図。最終間氷期の気候最適期 (約12万5千年前) の古気候復元図。その他の説明は第1図に同じ。



第5図。最終間氷期の気候最適期と現在との気温差を、冬季と夏季で緯度別平均した図。北半球の冬季平均は2.0℃、夏季平均は1.5℃。南半球の冬季平均は1.8℃、夏季平均は2.0℃である。その他の説明は第2図に同じ。

気温の最大上昇はシベリア北部（冬季に10~12℃，夏季に6~8℃），カナダ北部・グリーンランドにあった。西ヨーロッパ領域・旧ソ連のヨーロッパ中央部では，夏季は現在よりも1~2℃高く，冬季は3~4℃高く，年降水量は100~200mm多かった。

カナダ北部・アメリカ中西部・カリフォルニアについて最近得られた新たな経験的データ [9] によると，北アメリカ領域についてこの気候復元は充分な精度であった。それによると，約12万5千年前のカナダの北極周辺域では，暖かさを好む広葉樹林帯が分布し，冬季と夏季の気温は現在よりも3~4℃高く，僅かな気温変化を伴った海洋性気候が卓越していたことを示している。

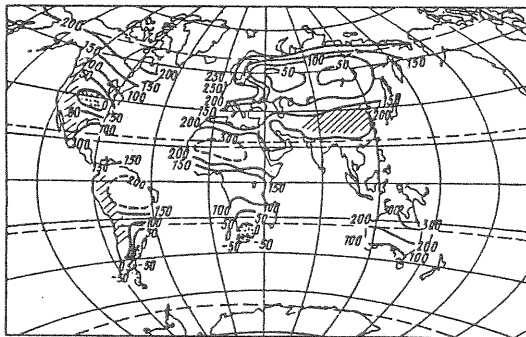
同様に，アメリカ大陸中央部の夏季の気温は現在より1~2℃高く，冬季は2~4℃高かった。これらのデータは，以前に解析した同領域についての復元がほぼ正確であったことを証明している。

古植物データ等を用いた年降水量の復元（第6図）では，旧ソ連邦・西ヨーロッパについてはA. A. Velichko等の解析を用いた。それによると，全ての大陸の降水量は現在よりも多く，増加の最大値（年間200~300mm）は亜熱帯域と西ヨーロッパにあった。このとき北アメリカの大陸とヨーロッパの年降水量は相対的に小さな変化量であった。

2-3. 鮮新世最適期（約430~330万年前）

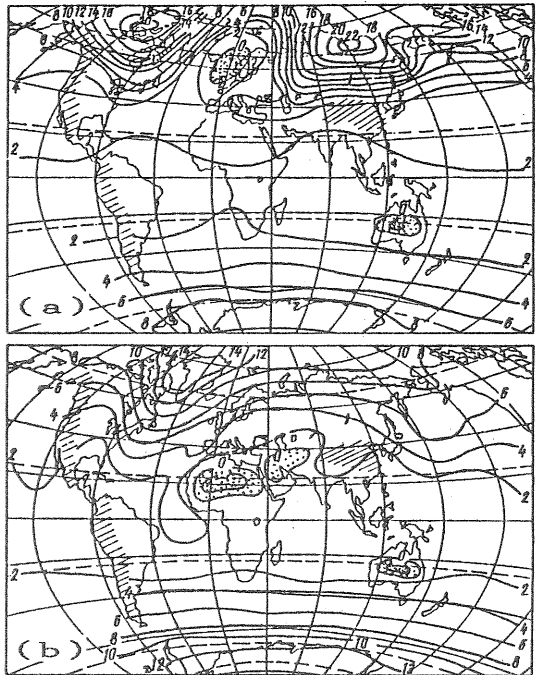
鮮新世初期の世界の海洋と大陸については多くの経験的データが得られている。これらのデータによると，鮮新世最適期は4つの全球的に暖かかった時期から成り立ち，それぞれの継続期間は約20万年で，その間には短期間の寒冷期があった。最大の温暖期は鮮新世初期（470~450万年前）で，そのときの南極大陸の氷河の楕状地の面積は現在と比較すると約40%となり，海面水位は30m上昇していた。

また，鮮新世初期と中期の植物は現在と比較する



第6図

19世紀中頃の値との偏差でみた最終間氷期の気候最適期の年降水量（mm）の古気候復元図。



第7図。

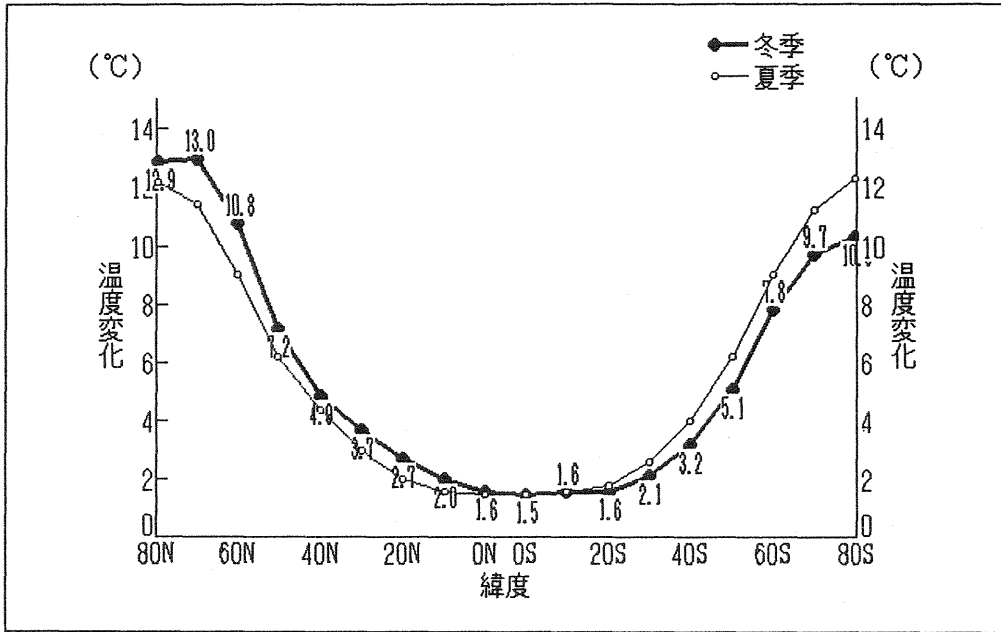
鮮新世（約430~330万年前）の古気候復元図。その他の説明は第1図に同じ。

と大きな相違が見られた。西ヨーロッパの多くはヌマスギや暖かさを好む多年生の外来植物の分布を伴った中生植林であった。夏季の気温は現在と比較して相対的に差が小さく（2~3℃以下），冬季は暖かさが顕著であった。

ウクライナ南部・ヴォルガ沿岸・カザフスタンでは，サバンナ・タイプの赤色層の土壌が形成されていた。夏季と冬季の気温の上昇だけではなく年間降水量も増加した。また，南北両半球の多くの砂漠地帯（サハラ・中国北部・モンゴリア・中央アジア・オーストラリア中央部：第9図）の湿潤状態は現在よりも良かった。現在と比較したときの顕著な相違は，ロシア北東部とカナダ北部に見られた。

また，古植物学のデータによると針葉樹・広葉樹・さまざまな草木の地域を伴った北アメリカ・アフリカ・オーストラリアの地勢も現在と大きな相違があった。

鮮新世初期の大陸地勢の復元には，約100の支柱断面（北半球では約80，南半球では約20の断面）についての古地理学・地質学・古植物学・古水文学データ等を総合して得た。大陸の気温と降水量の復元は，全球的な地勢モデルを作成したB. A. Zubakovaの解析を利用した。



第8図. 鮮新世と現在の気温差を冬季と夏季で緯度別平均した図。北半球の冬季平均は4.5℃, 夏季平均は3.8℃。南半球の冬季平均は3.1℃, 夏季平均は3.6℃である。その他の説明は第2図に同じ。

海面水温場の復元には、有孔虫プランクトンと海面水温との間にある関係を用いた。この解析で復元された鮮新世中期の全世界の海洋の気候的な地域性から、年間・冬季・夏季毎の海面水温を復元した。ここで特に困難であったのは（不確実性が強いのは）赤道域における海面水温の復元である。

熱帯域に分布するボーリング孔、降水生原体のそれぞれのO₂同位体の解析によると、鮮新世と現在の気温偏差は1.5~1.0℃以下であった。また、古生物学データの解析によって得た北大西洋中緯度における海面水温の復元は、以前に得た結果とほぼ一致した。

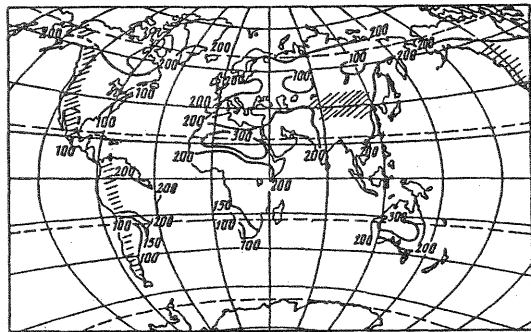
鮮新世の両半球高緯度では、現在と比較して年降水量は150~200mm増加した。温潤状態の相対的に小さな変化は、北アメリカ大陸を含む中緯度で見られた（第9図）。

アフリカ・アジア・オーストラリアの砂漠地域では温潤状態は良く、そこではサバンナあるいはサバンナと同様な地勢が優勢であった。

3. 結論

温暖化の多様な側面を含んだ過去の3つの暖かかった時代に関して、その経験データから全球的な古気候を復元した。得られた結論は以下のとおりである。

①完新世最適期と最終間氷期における南北両半球



第9図. 19世紀中頃の値との偏差でみた鮮新世の年降水量 (mm) の古気候復元図。

の気温変化（第1,4図）については、タイミル半島北部・チュクチ半島・カナダ・チリ南部・パタゴニア・ノーボイシュラン・南極大陸からのそれぞれ独立した古植物学データと同位体データから本論文の解析が裏づけられた。

②本論文の3つの暖かかった時代に対する地上気温の領域平均（第2.5.8）は、これらの3つの気候的に暖かかった時代の一つの特徴（要因）を述べている。

③しかし、この要因に炭酸ガスやメタンの温室効果気体の役割ははっきりしなかった。

④このメカニズムの“トリガー”として考えられる天文学的要因は、気温変化において直接的な相互関係は見い出せなかった。

⑤中・高緯度での年代の不確実性はあるが、雪氷面積の減少は全球的な熱的狀態に影響を及ぼすアルベド効果を上げている。

⑥3つの暖かかった時代に対する年降水量の解析(第3, 8, 9図)により、全球的な温暖化あるいは温暖化のスケールと大陸での年降水量との関係について結論を得た。

⑦全球的な温暖化のスケールの増大に伴い、両半球の大陸での湿潤状態は改善され、中緯度においては降水量不足を伴う地域は減少した。

最後に

ロシアにおいても、将来の気候予測については大気大循環の数値モデルによるシミュレーションと類似法(古気候復元)の2つのアプローチがなされています。

前者については、後者以上に数多くの論文を目にしますが、紹介者には内容的に難解でした。そこで、IPCCで取り上げられた解析データを補足する意味で最近発表された論文よりその概要を紹介しました。

本論文のなかで述べられていましたが、3つの暖かかった時代に対する全球的な気候の復元ではより高い精度の情報が必要になるようです。特に、北半球よりも経験的データが少ない南半球の熱帯域についてそれが言えるようです。

最後に、IPCCの中で述べられていたロシアの古気候復元についての不確実性の要点は以下のとおりでした。

1. 過去の気候の復元における不確実性
2. 限られた空間領域の地球規模への拡張における不確実性
3. 山岳地形の変化や非平衡状態に対する平衡状態の仮定の効果の解釈における不確実性
4. 過去の気候変化を引き起こした様々な要因の相対的影響度の決定における不確実性

* И.И. Борзенкова, В.А. Зубаков, А.Г. Лапенис (1992): Реконструкции глобального климата теплых эпох прошлого, Мет.и Гид., No 8, 25-36.

参考文献

- ①Paleoecology of Africa, E.M. Bakker and J.A. Coetzee, vol.1~20, Balkema, Rotterdam, 1967~1989.
- ②Petit Maire N: Will greenhouses green the Sahara? Episodes, 1991, vol.13, No.2.
- ③Winkler M.G. and Wang P.K.: The Late Pleistocene and Holocene climate of China: A review of the biogeologic evidence and a comparison with GCM climate simulations, IES-Center for Climate Research, Department of Meteorology, University of Wisconsin, Madison, 1988.
- ④Bush M.B., Colinvaux P., Wieman M., Poperno D., and Kam-Biu Lr: Late Pleistocene temperature depression and vegetation change in Ecuadorian Amazonia, Quatern. Res., 1990, vol.34.
- ⑤Heusser C.J: Polar perspective of late Quaternary climates in the Southern Hemisphere, Quatern Res., 1989, vol.32.
- ⑥CLIMAP Project Members: The last interglacial ocean, Quatern. Res., 1984, vol.21, No.2.
- ⑦Imbrie J., McIntyre A., and Mix A.C.: Oceanic response to orbital forcing in Late Quaternary: Observational and experimental strategies. Climate and Geoscience, A Challenge for Science and Society in the 21st Century. Eds. A. Berger, S.H. Schneider, and J.C. Duplessy. D. Reidel Publishing Company, 1989.
- ⑧McIntyre A., et al: Surface water response of the equatorial Atlantic Ocean to orbital forcing, Paleoceanography, 1989, vol.4.
- ⑨Mott R.J: Sangamonian forest history and climate in Atlantic Canada, Geographie physique et Quaternaire, 1990, vol.44, No.3.

明治23年 大島沖トルコ軍艦遭難の気象学的解析

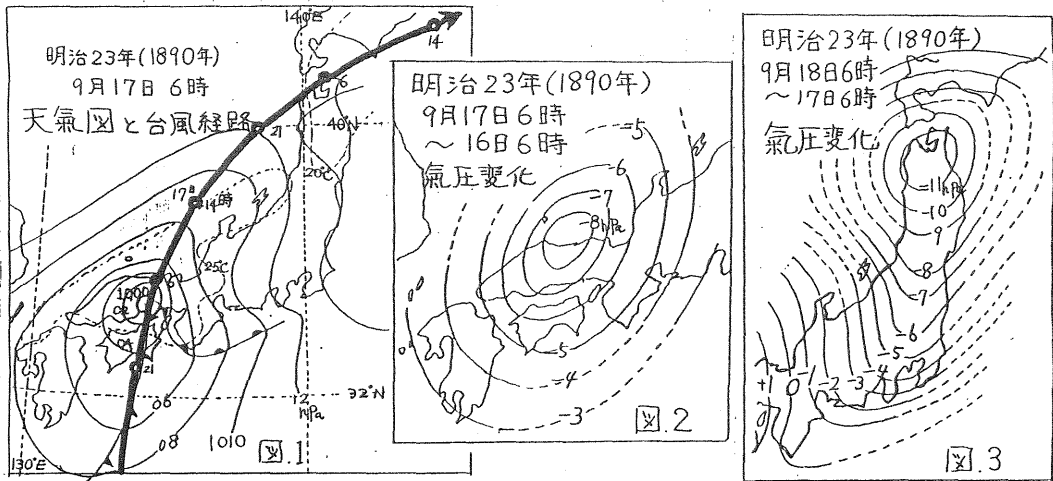
半澤 正男 (神戸女子短期大学)・藤 武浩 (気象庁OB)

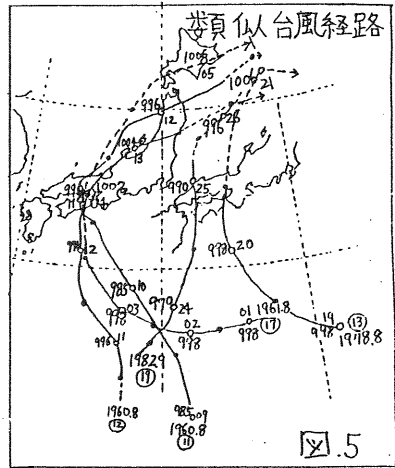
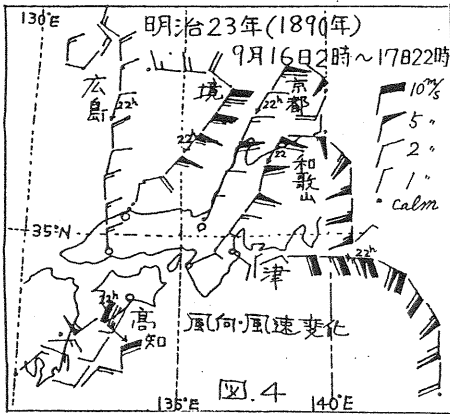
はじめに 海洋気象学会機関誌「海の気象」Vol.36, No.1 (19910年)に、「トルコ軍艦エルトグルル号遭難から100年」瀬岬測候所 坂内俊彦氏の記事がある。ばるかトルコから日本を表敬訪問した、トルコ軍艦 *Entougrul* (2400トン・600馬力・速力10海里・木造船・1881年建造)は横浜からの帰路台風風に遭遇し瀬岬の榎野崎灯台下に座礁沈没した。この時の司令官(エミン・オスマンパニヤ)以下の乗組員650名のうち80余名の犠牲者(360余名の遺体は未発見)は、異国の墓地と海を深く永遠の眠りに残っている。

明治中期の台風に関する著述として、二代目神戶港長 *John Tomes Mahlmann* (お雇い外国人)が1918年(大正7年)に出版した *The inland sea & coast pilot* (瀬戸内海水路誌)がある。そこには、8個の台風と1個の土佐沖低気圧等の記述がある。マールマンによると、この遭難を起した台風は「左外縁部が神戶をかすめ、中心は東を通過した。神戶では台風による被害は見られなかったが、日本の南東沿岸では痛ましい惨事が発生した。トルコ軍艦と日本郵船の豪華蒸気船「武蔵丸」(船長 *Frahm*氏)も室戸岬沖で沈没した。その乗組員であった「デンノトキキ」は、1/2程は漂流し、田辺沖で漁船に救出された唯一の生存者である」と述べている。

軍艦の台風による海難事故としては、1938年(昭和10年)9月12日田に三陸沖で演習中の日本海軍連合艦隊を猛烈な台風が襲った。最新鋭の特型駆逐艦「初雪」「夕霧」は、船首切断流失・甲板亀裂等の被害を受けたことを想起させる。トルコ軍艦を襲った台風とは、どのようなものであったか?

1. 調査資料と手法 当時の天気図は、1日3回(6,14,21時)であり、国内の測候所約40ヶ所の観測値(2,6,10,14,18,22時)が、気象報告(日)として残されている。天気図上の等圧線は2mmHg毎の突線で、等温線も5°C毎に点線で引かれている。日本列島のための資料のため、南大洋上より接近する台風や、日本海を北東進する状況は解りにくい。天気図上の気圧をhPa(ヘクトパスカル)値に換算し、天気・温度・風等を考慮して等線と等圧線を2hPa毎に引いた(図1)。気圧の24時間変化量の分布(図2,3)、台風を挟む東西の測候所の風向・風速の時間変化を示した(図4)





これらの図から、台風は高知へ室戸岬間に上陸、時速約30 Kmで北上、境へ京都間より日本海に入り、速度を増しつつ北東進、ノの日早朝には津軽海峡に達している。中心気圧は、四国に上陸する頃998hPa、その後やや深まった程度である。最近の類似台風としては、図5に示したものがあつた。マールマンもこの台風による神戸の被害は見られなかつたと述べたが、測候所(ノノノ所)の4時間毎の夷測風速値で台風基準を越えた値は、津でノの日2時Eノ2.2、ノク日2時E S Eノ2.6のみである。また、雨量も2日間で約50mm程度であつた。

2. 海上の模様 昭和ノ2年(1927年)6月4日付の報知新聞(樫野崎に遭難記念塔の除幕式)によると、エルトグルル号(トルコ勲興の先駆者となつた英傑の名、666トン、鉄骨木波の軍艦)は、明治27年(1890年)9月ノ4日ノ3時、横浜を出港した。海の難所熊野灘にさしかかつた時、思いもかけぬ荒天が襲つて来た。ノ6日は朝から曇り勝ち、東風で波高く白馬の狂奪する如く波面にながねりを生じていた。午後になり突如として南風に変じ、西辺暗霧・雲霧低垂して暴風の魔神は荒れに荒れ、狂いに狂つた。天候の激変に、加えてエンジンに故障が起つた。大島沖への道を航行していたが、怒濤にもまれて流され、船も深海のためぎひす、2ノ時頃樫野崎灯台下の「船甲羅岩礁」に乗り上げた。艦体は中央よりニツに折断され、22時半頃には全艦沈没した。

主題から若干逸れるが、遭難100年に当る平成2年(1990年)トルコから世界最古を誇る軍楽隊が来日し、遭難記念碑に深い哀悼の意を捧げた。この時、軍楽隊は東京・大阪「花の万博会場」、京都と和歌山で古風で勇壮な行進を披露した。NHKは、其の模様を46分番組で放映している(和歌山地方気象台長・白崎航一氏の好意によりビデオを拝見した)。

一方、マールマンの著書によると、9月ノ6日ク時、下関を出港した「武蔵丸」は、追風を受けて南下し20時頃には豊後水道を通過する。足摺岬をかむれた所では進路を室戸岬に向け船速をノットで航行した。気圧はゆつくりと下降し、風も強まりヌはール性の降雨となつた。ノ6日早朝4時には、

甲板上を時々海水が洗う状況になり、船速はふノットに落ちた。ノス時頃には台風の中心付近と思われ、大波でペンケレーター、ボート等が流出、艀輪のケエーンが切れたので半速人力操舵で航行する様になった。その後、不調であった蒸気機関の修理が終了したので、ノ8時頃、船首方向を変えるよう船長の命令を受けた「オトキケ」は、風に立てるよう船首を又点（90°）変える操舵を行なった。その直後、船は数回続く大波を受け横倒しとなった。

海に投げ出された船員は、救命艇にノク名、他のボートに船長以下数名が、かじり付いていた。「オトキケ」が乗った救命艇もその夜、数回転覆した。その度毎に仲間は波にさらわれ、ノク日の日の出頃には外名に減っていた。救命艇も長く浮いている状況でなくなったので、残が作られそれに乗り移った。ノク日の深夜、「オトキケ」は海岸の灯を見た。その後、氣を失って記憶がなくなったが、不思議にも残が離れなかった。ノ8日夕時頃、漁船に救助されて、田辺に上陸した。

あとがき 波高は、風速、吹走時間、吹走距離によってほぼ決まる。しかし、当時の天気図からこれらを定めることは無理である。台風も陸地に近づいて急激に衰えるものもあるが、本例の場合、両船の洋上における荒天の根柢から推測する波高は、中型台風の中心付近で生ずるものと考えられよう。

われわれが、この台風を調査する切掛となったのは、始めに述べたように

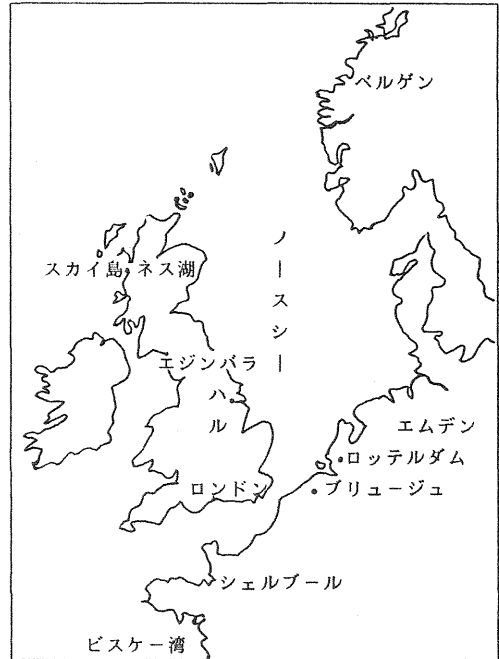
- ①：当時の軍艦や豪華蒸気船を遭難させた台風とは、どの様なものであったか？
- ②：マールマンの指摘した台風の中心が神戸の東を通過した場合に、室戸岬沖から田辺方向に残が漂流するのだろうか？ という疑問があった。

不十分な気象資料からではあるが、意外に台風の示度は浅く、小さい熱帯性低気圧であった。経路は神戸の西を北上したものと考えられる。このため室戸岬沖では、持続する南寄りの風によって漂流した残は、東流する黒潮の作用も加わり北東に流れ、田辺沖に達したものだと思われる。（終り）

『北海の自然』

上瀧 昭六 (大島商船高等専門学校 商船学科)

- (1) ビスケーク湾の嵐
- (2) 『霧のドーバー海峡』
- (3) ノースシーフェリー
- (4) 私の見たEC諸国のプロフィール
- (5) 北欧のストーム



(1) ビスケーク湾の嵐

オーストラリアのコブ港から、ヨーロッパへ「アルミナ」の輸送をした事があった。「アルミナ」というのは、ボーキไซด์を精錬し、アルミニウムを製造する過程の半製品である。全く「カタクリ粉」の如く、純白でサラサラした美しい貨物である。前の航海に、北米のノーホークから石炭を満船輸送した本船、船艙内は真黒、更に錆だらけであった。内地での揚荷後の停泊期間が短く、掃除の時間がなかった。「アルミナ」はそのまま電気炉に入ればアルミニウムとなる。し

かし若し、夾雑物、特に鉄錆が少しでも混入していると、電気炉が傷んでしまう。積地までの十日間の航海の間に乗組員によって、艙内の掃除、錆落しをしたが、何しろ、深さが、20メートルもあるから、上の方では手が届かない。ホースで圧力をかけた水を放射して、何とか表面の錆だけは落すことが出来た。ゴブ港での積荷前の検査は、サーベヤーを案内する一等航海士について、綺麗な個所だけを見せてパス、何とか積荷だけは無事終了出来た。豪州から欧州までの航海は南インド洋を、南極寄りの大圏コースを走って、アフリカ南端にとりつく事になるが、先ずここで荒天に見舞われた。ドドーン、パターン、ビリビリ!という船体の振動と共に、艙壁や天井の錆が容赦なくアルミナの上に落下した。それから一ヶ月の航海、毎日毎日、錆を拾うのが乗組員の仕事となった。十数トン、トラック一台分程もの錆を一つ一つ拾い上げて、文句一つも出なかったのは、一等航海士の部下の掌握の賜ものだったものと、感謝もし、後に慰労の申請もしたもだった。

こうして、何とか、ヨーロッパに辿りつこうとした時、待っていたのが、ビスケーク湾の嵐であった。猛烈な風と、うねりの為に巨大な船体もほんろうされ、船体がきしむ、折角綺麗にしたアルミナの上にまた錆が落ちてしまった。このあと、連日連夜また錆拾いの作業をしたのだが、二日後にロッテルダム入港で、時間切れ、一部に錆をのこしたままの揚荷になってしまった。錆をアルミナに混ぜて、ごまかしてしまったのでは、あとから大問題になる。正直に事情を打ちあけて、錆の混じったアルミナだけを、別のハシケに除いて、あとの貨物をクリーン・カーゴとして揚荷をした。ロッテルダムで半量の3万トンを揚げ、あとの半量はノルウェーまで運ぶので、今度はバーラップを購入し、貨物の表面に敷きつめて航海する事にして、残量も無事陸揚げ出来た。大自然の猛威、船乗りとしては常時経験する事ではあるけれども、数万トンの鉱石の上に落下した無数の錆を、蠟の如き人間が拾い集めて事無きを得た、この快挙は今も脳裏に残っている。

この時は、フランスのシェルブールで北海パイロットを乗船させたのだけれど、これも又、印象に残るシーンであった。多少湾内に突込んだといえ、まだかなりの風とうねりがある。スピードを落してジワッと待っていたら、「モアースピード・キャプテン」と、VHF電話で連絡して来た。なる程、木の葉の様に揺れているパイロットボートが近付いて来る。スピードを落した本船も横揺れしている。かえってスピードを上げた方が

揺れが少ない。急遽、スピードアップし、本船の右舷側に風浪を受けて、左舷側に「かけ」を作って、無事パイロットを収容したのだけれども、とてもこのしけでは出て来ないと思ったパイロットが出て来て、風浪をもとせず、高速航行中の本船にボートを横付けして、乗り移った様は、北海に君臨していたバイキングの昔をしるばせるのに充分であった。

(2) 『霧のドーバー海峡』

かつて、ヨーロッパからオーストラリアへと流刑囚を運んだと云う。囚人船とは逆のコースで、豪州から欧州への鉄鉱石を満載した鉱石専用巨大船K丸は、ひたすら大西洋を北上しつつあった。羽田沖の日航機墜落事故は、機長の管理職としての精神的負担と、離着陸時における、神経への重圧が如何に大であるかを教えてくれたけれども、はからずも、船長職にも共通の、いやそれ以上にプレッシャーがある、と云う一つの事例を紹介してみたいと思う。

人間一ヶ月余も、何処にも寄港しないで、海と空を相手に単調な航海を続けていると、おかしくならない方がおかしい……。長期航海の船舶の乗組員は、それを何らかの方法で昇華させるなり発散させるなりして正常な神経を維持しているわけである。既に、内地のテレビは勿論、ラジオも聴けない、何巻か積込んだビデオテープも、すり切れる程、何回も繰返し観てしまっている。雑誌や単行本を読むにも限度があるし、個室に引きこもる点に問題がある。いろいろなレクリエーションを企画して、「退屈」と云う一番の敵を追払う事に努めた。「卓球大会」「飾り毛布展示会」「誕生パーティー」等々。更に壁新聞を発行したり、船内新聞的な随筆を書いたり……。おまけに、この航海に限って他社にチャーターされて苛酷な条件も課されていたし、何かと船長と頭を悩ます事が多かった……。この様なK丸を待ち受けていたのが、「ドーバーの霧」であった。

かつて、東京湾を出航時、浦賀水道で、横にならんだ北欧の船があったが、三航士が、「キャプテン、あまり接近しない方がよいですよ……」と云う、何かと、双眼鏡で相手船の船橋を見てみたら、何んと、上半身裸体、毛むくじらの大男が二、三人、航海直に立っている。何とも不気味なムードであったわけであるが……。高緯度の欧州、日照時間も短いし、霧も多いので、住人はつとめて陽光を求め、素肌に吸収する事を心掛けているわけである。有名な「ドーバーの白い崖」にも、冬分には滅多にお目にかかれぬし、ロンドンの霧も有名である。ともあれ、ドーバー海峡を乗り切らなければならない……。船舶の往来が激しい狭水路で霧の為、視界が制限されたのでは「泣き面に蜂」であるが、も一つ、「ドーバー海峡」は世界的に有名な「通航分離方式」の航法を設定しており、通航船に厳しい制約を課している。おおまかに云えば、中央にセパレーション・ゾーンを設けて東航船と西航船を分離しているのであるが、細かいルールも多く、「密告方式」とも云える通報制度で違反船の摘発もしているので油断が出来ない。通常の航海に於ては、西の入口の「シェルブルール港」で北海パイロットを備って、水先案内をして貰うところであるが、この航海は備船契約によって北海パイロットの費用は、当社負担となっているので、これを節約していたのである。何もかもを船長自身で処理し、一つのミスも許されない、自室のベッドで眠る事も出来ず、船橋のソファでの仮眠となる。

悪戦苦闘の末、ダンケルクの沖に辿りついて錨を入れたのであるが、ここで、一つ、この様な時の船長の血圧の状況はどうであるかのテストをしてみた。折柄、ドクター代理として乗船中の看護婦を船橋に呼んで待機させ、投錨直後に船長の血圧測定を行ってみたが……。何と、これが『208』と云うとても数字を示したのである。平常の私の血圧は136、極めて正常であったが、この航海多少上がり気味で、160前後を示していたとは云え、操船の時のストレスを加えて極端にハネ上ったわけである。若しも、コレステロールでも溜っていて、血管が詰っていたとしたら、「ドーバーの霧」と心中した船長、てな事になっていたかもしれぬ……。翌日、接岸、「パリー見物」を兼ねて、パリーでドクターを探して見たが、何とこの時は、フランスのパカンス・シーズン、ドクターは南佛のニースあたりで優雅な休養中でそれもならず、当方もやけのやんばちで「花のパリー」の休暇とばかり、これ又世界一流のナイトクラブ「リド」のショーを楽しんだり、かけあしパリー観光や、ショッピングを楽しんで帰船、再度血圧を測定してみたらこれ又、何と、156の略正常迄下降していた……。「ドーバーの霧」が上げた船長の血圧を、「花のパリジェンヌ」が下げてくれたわけである。そして今、何の異常もなく職務にファイトを燃やしている。

(3) ノースシーフェリー

北欧の海軍国ノルウェーが、EC諸国の仲間入りする事を考えて居るとか……。十数年前にお正月を迎えた懐かしい国の繁栄に繋がるとしたら、嬉しい事である。ヒューズネスと云う名の、寒村の港に、オーストラリアから、アルミナを運んだのだが、文字通り、白銀一色の「聖しこの夜」であった。名高たる、フィヨルドを水中翼船で突っ走り、ベルゲンを訪問したのが、丁度クリスマス時期で、街路樹がその儘、Xマス・ツリーになって居たのも印象深く、岸壁のいけすで泳いでいる「たら」を捕まえての「タラ・ステーキ」は美味であったが、「たら子」や、「かずのこ」は、全部、臍物として廃棄されるので、欲しくても入手出来ず、悔しい

思いもしたものである。そして、乗組員のレクリエーションの賞品に買って帰ったのが、「バイキング船」のミニチュアであり、今も、教官室の飾り棚の中で、若い学生に夢を与えてくれて居る。

はからずも、スコットランド・エジンバラから、娘夫婦、孫らと共に陸路南下して、イングランドへ入り、海路南下したバイキングが侵入したヨークの街を訪れる機会を得た。古代ローマ人の征服、バイキングの侵入、ノルマン・コンクエストと支配者の変転著しかった、ヨークは北イングランドで重要な都市国家として君臨して来た歴史を象徴するかのごとく城壁に囲まれた町で様々な時代の遺跡が略、完全な形で保存され、我々訪問者にタイム・トンネルを潜らせて呉れる。ようやく、二人がすれちがえる狭い城壁の通路で一巡すると、町の様子が全部判る楽しい町であるが、バイキングの王の最後の居住地を復元した「バイキングセンター」内部を4人乗りの電動車で見て回ると、視覚、聴覚に加えて、臭覚にも訴えて、当時のムードに浸らせて呉れる。すなわち、くんせいのスモークの臭いを漂わせて居るのである。入り口は長蛇の列で、孫をあやすのに、アイスクリームを買いに走る始末でもあった。「ヨーク・ミンスター」英国各地に数ある大聖堂の中でも一際、立派な教会で、71mの高さの塔を持つ、イギリス最大のゴシック建築とされて居るが、700年前によくもこれだけの建物をこさえた事に驚くとともに、一切、政府からの財政援助を受けずに、この壮大な建築物の維持をして居る事に感動させられ、思わず、マネーボックスに浄財を寄付することとなる。

も一つ、そそっかしい家内が、家を出る間に、熱湯をポットに注ぐ時に掌に火傷を負い、ヨークの救急病院に世話になったが、保険どころか、一切無料であったのにも感心させられた。保健、厚生に関するお国柄の差も痛感する。ヨークのB・B(ベッド・ブレックファースト、民宿)で中世の夢を結び、バイキングの侵略の路を逆に辿って、ハルの港に赴き、待望のフェリーに乗って、欧州本土へ向かう事になった。

ここ3年、毎年夏休みをイギリスで過ごす結果になっているものの、実は、船乗りを30年もやって居て、英国の港には一度も来たことがなかった珍しいシーマンの私でもあった。ハル港の直ぐそばのミドルズブローの港外まで、日産自動車を2千台運んで来た事があったのだが、英国特有の「ワイルドキャットストライキ」(山猫スト)に引っ掛かってしまって、入港出来ずに、オランダのロッテルダム港へ回って、陸揚げした事があったのが、若い船長時代の経験でもあったが、はからずも、今回は、略、同じコースを船客として航海する事になったわけである。

日本には未だ存在しない3万2千トンの大型フェリー、5才の孫娘以上に胸をときめかしての乗船だったかも知れない。...。「旅客船・フェリーのアドバイザー」業務の兼業もしている私、参考の為に船内を見学させて貰おうと思って、舷門の士官に申し出ていたところ、キャビンに着くか着かない中に船内のアナウンス「キャプテン・コウタキ、インフォメーションへどうぞ」との事、早速、出向いたところ、「キャプテンがご挨拶をしますので、船長室へ案内します。」という、出帆間際の忙しい折ながら、暫く、オランダ人船長と敏談、後から家族一同、船橋へも招待されて、つぶさに見学も出来たが、10年前の船長の骨董品?でも、船長を大切に作るヨーロッパの慣習は不変のものであった。...

(4) 私の見たEC諸国のプロフィール

毎日の如く、欧州の通貨危機が報じられて居る。EMSやERM等の通貨調整メカニズムでは調整が付かず、欧州のみならず、米国や日本にも飛火しそうな様相で、「対岸の火事」では済まされない状況でもある。未だ、欧州統合なんて事の糸口も見出せなかった1970年代に、船長として訪れ、1990年代初頭から毎年の如く訪れて居る欧州のEC諸国の横顔を私の見た範囲でお知らせする事にしよう...

〔英国〕

「グレートブリテン及び北アイルランド連合王国」はながったらしい、「U. K.」では判り難いから、「大英帝国」を「英国」と呼ぶのは良いが、「イギリス」とは、「イングランド」のポルトガル、オランダ読みであって、「織田信長」時代に「えげれす」として伝わった所似はともかく、スコットランドや北アイルランドの人々には甚だ失礼だし、此処、2年にわたって、毎夏の3週間、英国で普通の生活をしてみて、イングランドとスコットランドの差異を肌で感じたままを述べたいと思う。

〔イングランド〕

EC諸国の議長国である英国がERM(為替安定制度)から離脱したのは、文字通り話にならないが、「ポンド危機」とはいえ、ニューヨーク、東京と共に、世界経済の一翼を担って居るのが、「ロンドン」であろう。昨年はグリニッチを訪れ、海図の上で御世話になって居た、緯度0度線を還暦の齡にして、初めて孫と共に跨いだ。海運の淵源が中東や極東にあったにも関わらず、後発のヨーロッパ人が好奇心に燃えて世界制覇の道を進み、ヨーロッパが中心になったのは、「コロンブス500年」の本年、感慨深い事でもある。

但し、この夏訪れた、リバプールの寂れかたには目を覆いたい面もあり、かつては世界を風びしていた保険会社にまで、「To-Let」(貸家)の札が貼ってあるのには驚いた。美味しい食べ物を見つけるのが難し

いのもイングランドであり、ロンドンのオックスフォード通りのステーキハウス「アバディーン」では、固く不味い肉にへき易し、ピカデリーサーカスの南京街でもやたらに辛いチャーシュー麺に参った。ギネスビールは好みに合うが、やたらにぬるいビールを吞ませるのもイングランドのパブである。スコットランドでは、この様な事はない。ホテルも、冷房どころか電気機器の故障に悩まされる。反面、博物館や美術館は立派で何度も訪れたい魅力もあるし、国内線の空港設備でも成田等が足下にも及ばない。ウェッジウッド、パーバリー、アクアスキュータム等々、ブランドものの本店が庇を並べるリージェント通りには日本人観光客が群れて居る。晴間の少ないロンドンでは、未だにこうもり傘を携えた紳士を見掛けるのも、多少の雨では雨具もつけないエジンバラとは異なった風景でもある。イングランド北部の湖水地方では、ワーズワースの里で、未だにその一節を暗記して居る「ダッホデイル」（水仙）の詩と再会したり、ピーターラビットの呼ぶ声にも誘われるし、古く、ローマンコンケストの史跡や、バイキングの侵入の遺跡に中世を偲ぶのも「イングランド」の横顔であった。

〔スコットランド〕

たまたま、「MBA」（経営修士）の資格を取る為にエジンバラ大学大学院に企業留学している娘夫婦のもと毎夏の居候が出来、スコットランド地方にも遠征し、「ネッシー」の足跡を訪れたり、「スカイ島」に渡って、さいはての地の風物にも接し得た。ゴルフのメッカ「セントアンドリュース」も覗き、中世の騎士が闘争に明け暮れて居た近辺の王族、貴族の居城や館も歴訪したが、門から館まで車でかなり走らなければ到達出来ないその広さには感服させられた。一方、その発展振りは目覚ましく、道路の整備状況もイングランドを凌ぎ、地理的に間にあるイングランドをとびこえて、EC諸国へのアプローチもあるとか聞いた。「兎小屋」とちがって、半永久な住居は古い建物程、家賃が高いし、内装を新しくするだけで快適な生活を楽しんで居る。庭木を切るにも、許可が要り、自然の環境を重視して居る街並みは美しく、街中の公園では、孫がりすと戯れる天然が残って居る。空間的にもゆとりのある生活を送って居る住民との接触では不愉快な事は絶無である。「温古知新」これが「スコットランド魂」とも受け取れ、ピューアーモルトのスコッチウイスキーの香りと「エジンバラ・タトゥ」のバグパイプの音色は未だに残って居る。

〔オランダ〕

ことはあえて、陸路、スコットランドからイングランドと辿り、ヨークの外港ハル港からフェリーでオランダへ渡る事とした。船長を大切にす欧州でもオランダはその傾向が強い国でもある。

船長時代にも訪れた世界最大の港、ロッテルダムで風車風のレストランで食事をしたら、入り口とテーブルには日の丸が翻って居たのに感心した事も思い出したものである。ハーグ市に近いマドラーダムのミニチュアの町では、ガリバーになった気分、チューリップに代表される花の国の花博「フロリヤード」では蝶々の如く羽化登仙、リゾートビーチ「ステファンニンヘン」では孫と共に波と戯れた。EC諸国の将来のリーダーと目されるオランダの工業中の中心であるロッテルダムは発展目覚ましい反面、自然が狭められ、かつて、ドイツの猛爆でハートが飛んでしまったとの monument の「心臓が破れた男」をやっとの事で建物の蔭に見出したものの、環境の破壊を嘆いて居るかの如く思えたものである。

かつて、うら若き本船のナイチンゲールと共に登ったユーローマストや、ホンデューの店を5才の孫娘とともに訪れ、感慨一人でもあったが、「忍耐」の額を掲げた、南京街の「東京バー」は跡形も見出せなかった。ハイネケンビールも苦く感じられた事でもある。ロッテルダム・ヒルトンに届いた、山九ヨーロッパ社長のお招きで、船長時代「夜の部」？しか知らなかったアムステルダムでは、「コースターダイヤモンド」の見学も出来たが、家内や娘共は別行動で、アンネフランクの家へ行き、お義理に買ったダイヤモンドも手頃なもので済み、破産？を免れたが、ホテル・オオクラで賞味した数の子に十数年前の味を見出し、ロッテルダム明治屋がホテル出発間際に届けてくれた、5キロ入りのバケツの塩漬のダイヤがアクセサリーのダイヤとともに後に物議を醸そうとは・・・神のみぞ知る？事だった・・・。

〔ベルギー〕

昨今のECの会議は専らブリュッセルで開催されているが、オランダとベルギーは小国ルクセンブルグを含めて、毛利元就の「三本の矢」の訓の如く、一心同体の親があり、インダストリーキャリアの最大手、「山九」が、ヨーロッパ進出の布石をアムステルダムに選んだのは正解と考える。オランダ～ベルギーのモーターウェイのドライブ中、うとうとと居眠りしていたら何時のまにか、ベルギー領に入っている。

運転の娘婿に、国境はどうした、税関手続きは？と聞いても、何の標示も無かったという。何時も厄介な税関も、今度ばかりは、手続きをして出国しないと、タックスが戻って来ない、すなわちダイヤモンドの価格の18パーセントが不意になって仕舞うのである。Uターンしても一度オランダ領に戻って、今度は目を凝らしていたら成るほど「ドゥアーナ」という標示がある。私はオランダ語はさっぱりだが、南米航路で覚えたポル

トガル語には自信がある。南米でたかられた恨みの税関の「アドゥアーナ」の「A」をとったら、「ドゥアーナ」即ち税関なのである。英国在住2年の婿もオランダ語は解せず、「ドゥアーナ村」への標示と錯覚して、一切ゲートもラインもない国境線突破行となったわけであった。レース編みで有名なベルギーの運河の街ブルージュに立ち寄り、外港「ジープルージュ」から再び「ノースター号」の船客となり、英国に戻ったが、豪華なディナーに満足し、ラウンジのカジノでは久しぶりのルーレットに興じ、婿とのパーの呑み代位は稼がして貰ったわけである。

〔フランス〕

豪州の鉱石をダンケルクに運び、本船の白衣の天使の懇請もだしがたく、スピード観光したパリーに丁度10年ぶりに訪れたのが、一昨年、加藤一二三さんと御一緒のデラックス・ツアーであったが、その10年前と偶然同じ、「コンコルドラファイエット・ホテル」に、糟糠のばあさんと投宿、前回は「リド」、今回は「ムーランルージュ」と、まずは世界で一、二のナイトクラブの見聞ともなったが、ご他聞に洩れず、ルイビトン、エルメス、シャネル等々の歴訪でパリーのガイド位は出来そうにもなかったが、いずれの店にも群がる、特に若い娘さん達のなりふり構わぬ「円高貴族」の買い漁りの姿は浅ましく、恥ずかしかったものである。

フランス新幹線T. G. V. でジュネーブに向かったが、スピードのみならずゆったりとした車内の設計等、日本の新幹線は及びもつかないものがある。平和の象徴と思っていた「スイス」が、国境警備も厳しく、高速道路は直ぐに、滑走路に変わり、沿道にミサイルを隠し、核シエルターが多いなど、ガッチリとした殻に閉じ籠もりECに参加しないのも窺い得たものだった。

〔イタリア〕

遺跡の中に街がある「ローマ」では、コロッセオやカタコンベの墓跡など迫害された、キリスト教徒のうめき声が聞こえて来そうな、歴史の重みと、良くもまあ、これだけ古いものを大切に保存して居る、当局の努力を感じとったものだし、オドリハッピーパンやキャサリンハッピーパンの喜怒哀楽をも実感したものであるが、なんとしても物騒な土地でもあった。カンツオーネを聴きながら、のイタリア料理に堪能したものの、レストランに警官を呼び、帰り道の護衛を頼まなければならない現状では、興覚めでもある。

〔ギリシャ〕

中東戦争の余波で、(中東のパリーの別名のある)ベイルート揚げのカーゴもピレウス港で揚げる事となり、長期停泊してのアテネ通い、昼の部は、古代の遺跡の見物、夜の部はこれまた、モンバルナス登山、雪道で山道やケーブルが閉ざされるのも忘れて、カジノへ授業料?も納めた船長時代であったが、オナシスに代表されるかつての海運王国の名残が多々残って居たのを記憶する。復航の船室には、いろいろな壺が溢れ、いま尚、家内手製の陶芸の壺と優劣を競って居る。

〔ドイツ〕

エムデン港でフォルクスワーゲンを積み、アメリカへ輸送したが、十数年前に既に、数千台の車の積み込み管理をコンピューター管理して居るのに感心したが、東西の壁が外れて多少の足踏みがあったものの、ECの中核である事は間違いないだろう。但し、若い代理店のマネージャーとの食事の話題に戦艦「エムデン」の武勇伝を話したところ、全然知らず、時代の変遷を感じたものである。

(5) 北欧のストーム

毎年、悲惨な漁船の遭難事故のニュースの絶えない北太平洋の荒天もさる事乍ら、冬分の北大西洋、わけても北欧のストームはすさまじい……。北海油田開発のプラットホームが流されて幾多の人命を奪われた悲劇を記憶されている向もあろうが、以下は私の体験した、北欧のあらしとの闘いの物語である。

(その一) 1972年ロッテルダム港の例

2千台の乗用車を積載、横浜港を出帆して1ヶ月と1週間、1万3千漕を走り続けて辿り着いたロッテルダム港には大変なお客様の待伏せがあった……。何とか岸壁に係留を終えてホッとする間もなく強風警報の発令があった。自動車運搬船の吃水は浅く、強風には弱い。「ともおもてスタンバイ」「機関用意」すなわち「総員配置」の体制をとる。バロメーターは既に977ミリバール迄急下降、みぞれまじりの強風もすでに風速20米を超え、刻一刻、状況は悪化する。係留索を増し取りをし、岸壁側の左舷錨も投下、一切の荒天準備を整えたけれども、最悪の状況になった。

「おもての係留索が1本切れました!」と、船首部配置の一等航海士から悲憤な報告が来る。本船自力の対応だけでは不充分、港湾当局に曳船の派遣を要請、折から便乗していたオランダ人の北海パイロットにタグボート船長への連絡を通訳して貰う。前後方向の風なら、本船のエンジンで何とかなるが、横方向からの風はタグにたよる他ない。この時気圧は974ミリバール迄下がり、風速は40米を超えていた。クレモナロープの係留索が、ゴムの様に伸び、船体が岸壁から離される。「タグボート、全力で押せ」「了解、キャプテン」息

詰まる数分、ようやく岸壁に船体押し付けられ、ホッとす。今度は風向が前方に移って来た、右舷錨も投下、岸壁に係留していて錨を入れるなんて意外に思われるかもしれないが、可成りの効果がある。「ヘッドラインこたえます」「よし、デッドスローアヘッド」「デッドスローアヘッド・サー」と、三等航海士のアンサーバックにも力が入る。ブルルン、ストーンストーンとエンジンがかかると、じわっと係留索がゆるむ、「ストップ・エンジン」「ストップ・エンジン・サー」この頃、他船のタグボートへの援助依頼の無線連絡が傍受されて来たが、すでにタグは出払っていて応じられない無情な返答が返っている。

「先手必勝」の本船のタグ手配の要請は全くラッキーであった。こうして機関を使用する事、実に32回、タグボートに押し貰う事、3時間余、ようやくバロメーターも上昇の気配を示し、風雨も衰えて来て、危機を脱する事が出来た。本船の被害は幸いに係留索一本で済んだけれども、「気象の急変の察知」「係留索切断の早期発見」「機関準備」「タグアテンドの手配の時期」どれか1つ欠けても大事故につながるものであった。…。現地新聞の報道によると、50年来のストームだったと云うし、大型船が座礁したり、港のクレーンがアメの様に曲がっていたり、各所に大きな被害があった様で、あらためて、本船の適切な対応による無事を悦び、悪戦苦闘した乗組員に感謝したものだ。…。何処吹く風？と白河夜舟を漕いでいたのは、若きナース一人だけであった様である。

(その二) 1976年ヒューズネス港の例

オーストラリアでアルミナを積んで、オランダ経由、ノルウェーのフィヨルドを奥深く入り込んだ小さな港でのストームとの闘い、と云うよりも、嵐が過ぎたあとの出来事である。

白銀一色の素晴らしい正月のおとそ気分もさめやらぬ、1月2日未明にかけてのストーム、流石に北緯60度と云う高緯度の嵐は強烈を極めたけれども、前述の経験をも生かして無事切抜けることが出来た。時機を失しないロープの増し取り、機関使用、両舷錨の投下は、この時も有効であった。船橋のソファで仮眠していた私に一等航海士からの報告、「キャプテン、すっかり風まりましたよ」「よし御苦労さん、フィニッシュ・エンジン」「フィニッシュ・エンジン・サー」突然、舷梯の状態を見に行っていた甲板手がとんで上がって来た。

「キャプテン、船が走っています!」「エーッ、何に!・・・」気が付いて見ると、テレグラフ(機関指示器)が、ラングアップ・エンジン(機関整定)になっている。何と、全速力のも一つ上の馬力に機関が廻り出しているのである。慌てて、機関停止にしたけれども、20本もの係留索をひきずって約30米前進、船首が前方の浅所に乗り揚げた形でとまった。

もと捕鯨船の船長だったこの一等航海士、素晴らしい人格を持った好漢で、部下の掌握もよく、困難な船務を捌いて呉れていたが、テレグラフの「機関終了」を勘違いして、「機関整定」にしてしまったのである。機関無人化のテレグラフは、オーダーに忠実に指示通り、メインエンジンを動かしてしまったのである。在来の船なら、即、当直機関士から、「岸壁に係留して『前進』とは何事ですか」と電話で問合せがあった筈であるが、主機遠隔操縦では機械は正直にそのまま作動したのは無理からぬ仕様であった。

幸い乗揚げた船首部の海底が泥の底質である事が確認され、機関後進による引卸しではショックを与えるおそれがあるので、係留索を捲き込む事により、ジワッと、引卸したが、船の全タンクを検査の結果、浸水の兆候もなく、損傷のない事が判った。

若し会社に報告されたら、一等航海士のミスが表面に出てしまうと、本人が心配している。後に問題が起これたら船長が責任を問われる事になる事を覚悟の上で報告を出さずに済ましたけれども、推察通り、その後の入渠時の船底検査でも、損傷はない事が確認されたとか……。休暇で故郷に帰省したこの一等航海士から届いた、仙台の「笹かまぼこ」を有難く、賞味したものだ。

気象のコンサルタント

(財) 日本気象協会関西本部

主 な 事 業 案 内

- 気象知識及び防災思想の普及
- 気象機関の各種観測資料，天気予報，長期予報及び情報の提供
- 気象，地象，水象等に関する予測手法の研究，開発ならびに特定利用者に対する予測の提供
- 大気質，水質の測定と分析及び評価
- 水資源，ダム管理，河川洪水等に関する水文気象観測，調査及び研究
- 波浪，潮流等の海象に関する観測，データ処理，シミュレーション及び予測の研究
- 環境アセスメントに関する気象及び水象の観測，調査ならびに研究
- 気象に関する学術助成及び気象事業関係者の共済及び育成事業

大阪市東成区東今里3丁目16番11号

財団法人 日本気象協会関西本部

電話 大阪 (06) 972-7501