

黒潮流路の統計予測の試み

西田 英男・海象課

Statistical Analysis and Forecasting Trial of the Kuroshio Path

By

Hideo Nishida : Oceanographic Division

1. まえがき

海象課においては、日本近海の海流状況を海洋利用者に速報することを目的に海流通報の事業を行っている。これは、戦前の一時期水路部において行われていた事業を昭和35年に再開したものである。観測の手段・能力の不足などから、日本近海全域の海流状況を把握することは無理であったため、黒潮に重点をおいた通報体制がとられ現在にいたっている。この結果、黒潮の変動についてはある程度の知識が得られているが、変動機構の解明には至っていないので、力学的に将来を予測することは現時点ではまだできない。そのため、経験に基づいたある程度信頼のできる予測というのが、実用上有益であると考えられる。経験に基づいた予測といっても様々な手段が考えられる。黒潮の流路をパターンに分類し、各パターン間の移り替りに法則性を見だし、予測に利用するのもよし(二谷、1972、1975)、何か指標となる量を捜すのも一方法である(Ishii 1981)。この研究においては、時系列解析の手法を流路予測に応用することを試みる。これは、ある系が、内部力学及び外部から加わるショックによって動いている場合などに有効であると考えられる。黒潮の変動が、この系に相当するかどうかはかなり問題があるが、数週間から数ヶ月程度の変動はランダム性がかなり強く、この手法が有効である可能性は強い。

2. データ

解析すべき時系列データとして、ある固定した緯線・経線上の黒潮の位置をとる。Fig 1にそれらの場所を示す。第1図に示される14ヶ所の場所において、黒潮流軸の位置を、月2回発行される海洋速報より読みとった。これら14ヶ所のうち、 $138^{\circ} E$ と $139^{\circ} E$ については、黒潮大蛇行の発生する場所であり、継続データとして扱うことが難かしいため、とりあえずこの解析対象からはずした。また、 $35^{\circ} N$ 線上は、データ個数が少ないため、同様に解析対象からはずした。そのため、解析は第1表に示す7ヶ所において行われた。解析対象期間は、1961年1月から1982年7月までをとった。データ個数は、1ヶ所につき519個(最大)となる。しかしながら、この中には黒潮流軸を同定できない場合も多く使用できるデータは519個よりもかなり少ない。データが欠落のままでは時系列解析に都合が悪いので、欠測期間については前後の値から線形補間をして求め、その値を用いて解析をおこなった。実測データの個数及びその全データ点に対する割合も第1表にのせてある。

3. ARIMAモデル

統計予測モデルについては、幾つか教科書が出されているが、ここではBox and Jenkins (1976)に従う。モデルとして Autoregressive Integrated Moving Average model を想定する。これを頭文字をとって

ARIMAモデルと書く。

今、時系列データを $Z_1^*, Z_2^*, \dots, Z_t^*, \dots$ で表わし、このデータの平均値からの偏差を、 $Z_1, Z_2, \dots, Z_t, \dots$ で表わす。Backward operator として B を定義する。すなわち、

$$B Z_t = Z_{t-1} \quad (3.1)$$

である。ARIMAモデルは次のように表わすことができる。

$$\varphi(B) Z_t = \theta(B) A_t \quad (3.2)$$

ここで、 $\varphi(B)$ 、 $\theta(B)$ に関する多項式、 a_t は時間 t における"Shock"である。つまり、 Z_t は、過去の Z の値、 Z_{t-1}, Z_{t-2}, \dots 等の線形結合と、現在及び過去のShock A_t, A_{t-1}, \dots の線形結合の和で表わされることになる。左辺の $\varphi(B)$ をautoregressive Operator, 右辺の $\theta(B)$ をmoving average Operator と称する。定常過程においては、 $\varphi(B)=0$ の根は、すべて $-1 < \beta < 1$ の範囲内にある $\beta > 1$, もしくは、 $\beta < -1$ の時にはこの過程は発散する。非定常過程を表現するために $\varphi(B)=0$ のうち、いくつかを0とおく。すなわち、

$$\psi(B) = (B)(1-B)^d \quad (3.3)$$

とおく、故にARIMAモデルは次のように書ける。

$$\Phi(B)(1-B)^d Z_t = \theta(B) A_t \quad (3.4)$$

(B)、 $\theta(B)$ の B に関する多項式の次数を p, q として、このモデルをARIMA(p, d, q)モデルと書く。difference operator ∇ を次のように定義する。

$$\nabla Z_t = Z_t - Z_{t-1} = (1-B) Z_t \quad (3.5)$$

上記の ∇ を使って、ARIMA(p, d, q)モデルは

$$\Phi(B) W_t = \theta(B) A_t \quad (3.6)$$

と書ける。ここで、

$$W_t = (1-B)^d Z_t \quad (3.7)$$

である。 W_t を時系列データと考えることにすると、(3.6)は W_t に関する定常過程である。

4. モデルの固定

モデルの固定は autocorrelation function, 及びpartial autocorrelation function を使っ
て行われる。(3.6)式を次の形で表わす。

$$W_t = \Phi_1 W_{t-1} + \dots + \Phi_p W_{t-p} + A_t - \theta_1 A_{t-1} - \dots - \theta_q A_{t-q} \quad (4.1)$$

W_t の autocorrelation function $P_k, P_1, \dots, P_{12}, \dots$ は、 \dots を使って次のように表わすことができる。

$$\rho_R = \Phi_1 \rho_{k-1} + \dots + \Phi_p \rho_{k-p} \quad (4.2)$$

この P_R は R が大きくなる時急速にゼロに近づく。autocorrelationのこの性質をモデルの同定のために利用する。すなわち、 $Z_t, \nabla Z_t, \nabla^2 Z_t, \dots$ 等の autocorrelationを計算して、 R を増加させたとき急速にゼロに近づく次数を捜して、(p, d, q)のうち、 d を求める。

一方、partial autocorrelationは次のように定義される。定常のautoregressive過程、すなわち、($p, 0, 0$)において、autocorrelationは次の等式を満足する。(4.2より)

$$\rho_j = \Phi_{k1} \rho_{j-1} + \dots + \Phi_{kk} \rho_{j-k} \quad (4.3)$$

この最後の係数 Φ_{pp} を P の函数と見なして、partial autocorrelation functionと呼ぶ。この函数の性質として、ある固定した p を持つ過程に対して、 $k > p$ のとき、 Φ_{kk} はゼロとなることがあげられる。すなわち、

$\Phi_{11}, \dots, \Phi_{pp}$ までは有限の値を持つが、それ以降はゼロとなる階段型の函数となることが期待される。この性質を用いて autoregressive の次数 p を求めることができる。

5. Autocorrelation 及び Partial Autocorrelation

各場所における黒潮流軸の位置を時系列データとして扱い、autocorrelation, 及び partial autocorrelation を計算した結果を第2図～第8図にのせる。タイムラグとしては15までとってある。このタイムラグは約7ヶ月半に相当する。difference の次数は二次までの結果をのせてある。いずれの結果を見ても必ずしも典型的な形をしているわけではないが、これらの形から、とりあえず、モデルの形を想定してみた。その結果を第2表としてのせる。

6. 考 察

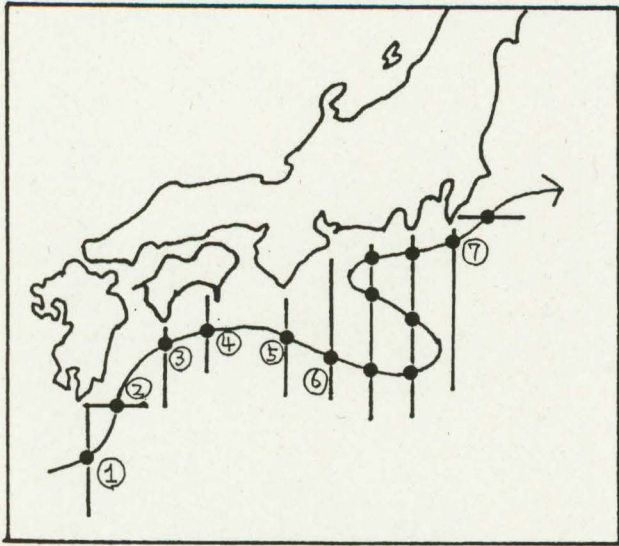
5において、とりあえず、モデルを同定したが、これらのモデルが現実にどの位有効であるかについては、まだ確かめていない。実用に供せらせるモデルについては、これらの想定モデルの検証・改良という過程が必要である。これについては、現在、進行中である。更に、ここでは、ある固定した場所におけるデータのみを利用してその場所における値を予測しているが、そのみならず、近くにおける過去のデータとも相関があるかも知れず、これらについては検討中である。

第1表 各場所におけるデータ個数、全期間に対する割合、平均位置、標準偏差

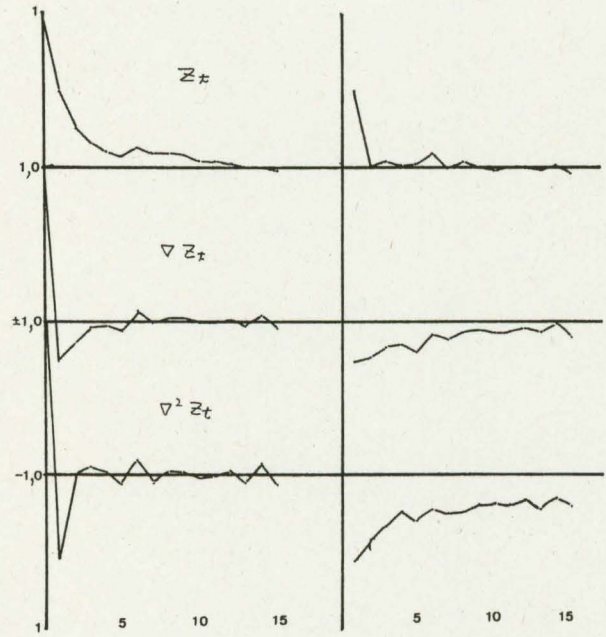
	場 所	データ個数	割合(%)	平均位置	標準偏差
1	131°E	344	66	31°11'	13.5'
2	31°N	394	76	132°07'	37.5'
3	133°E	437	84	32°01'	27.0'
4	134°E	471	91	32°30'	22.1'
5	136°E	497	96	32°35'	49.8'
6	137°E	489	94	32°25'	65.0'
7	140°E	502	97	33°46'	48.3'

第2表 各場所における想定モデル

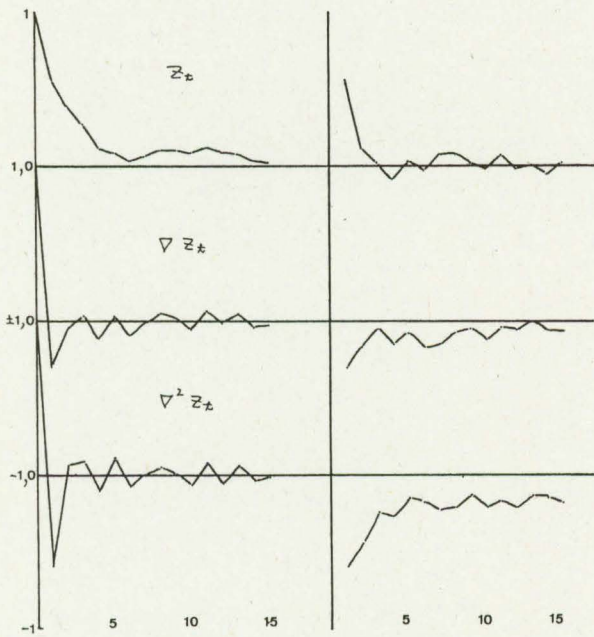
場 所	次 数	想 定 モ デ ル
131°E	(1, 0, 0)	$Z_t = 0.49 Z_{t-1} + \alpha t$
	or (1, 1, 1)	$Z_t = 1.58 Z_{t-1} - 0.58 Z_{t-2} + \alpha t - 0.31 \alpha t - 1$
131°N	(1, 0, 0)	$Z_t = 0.56 Z_{t-1} + \alpha t$
	or (1, 1, 1)	$Z_t = 1.18 Z_{t-1} - 0.18 Z_{t-2} + \alpha t - 0.59 \alpha t - 1$
133°E	(0, 2, 1)	$Z_t = 2 Z_{t-1} - Z_{t-2} + \alpha t - 0.83 \alpha t - 1$
134°E	(1, 1, 1)	$Z_t = 1.39 Z_{t-1} - 0.39 Z_{t-2} + \alpha t - 0.95 \alpha t - 1$
136°E	(0, 2, 1)	$Z_t = 2 Z_{t-1} - Z_{t-2} + \alpha t - \alpha t - 1$
137°E	(1, 1, 1)	$Z_t = 1.55 Z_{t-1} - 0.55 Z_{t-2} + \alpha t - 0.9 \alpha t - 1$
140°E	(1, 0, 0)	$Z_t = 0.64 Z_{t-1} + \alpha t$
	or (0, 2, 1)	$Z_t = 2 Z_{t-1} - Z_{t-2} + \alpha t - 0.83 \alpha t - 1$



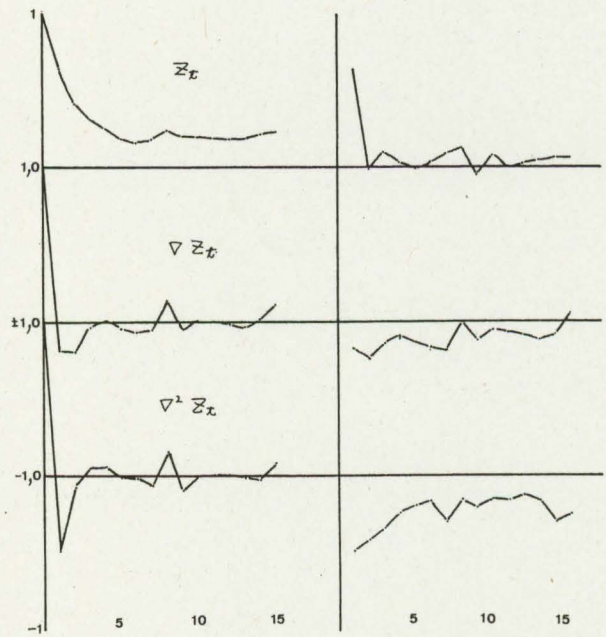
第1図 黒潮流路の時系列データを作成した場所(このうち解析に使用した場所については番号をふってある)



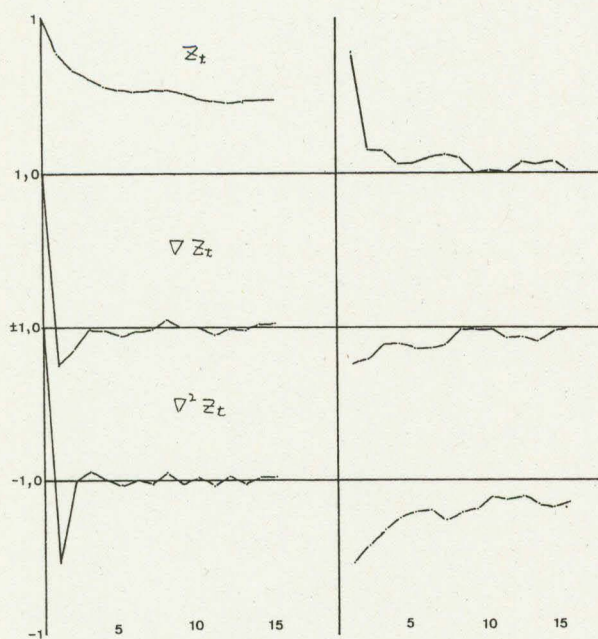
第2図 131°Eにおける流軸位置に対する auto correlation(左)及び partial auto correlationの値。一番上から、生の値、一次差分、二次差分に対する値である。



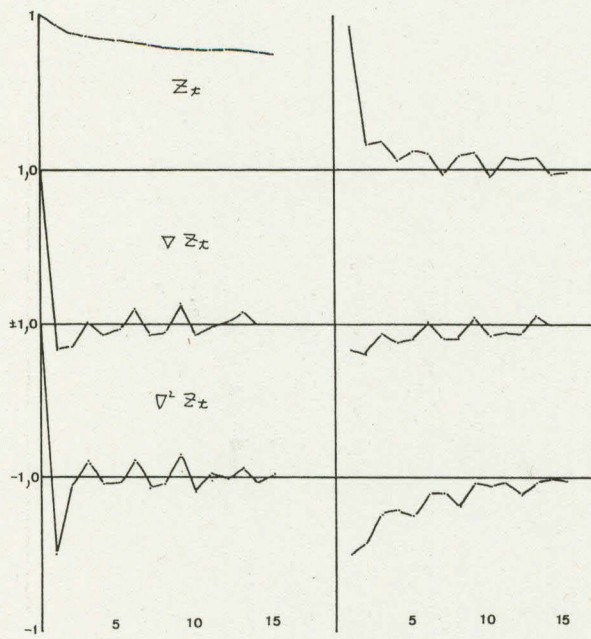
第3図 31°Nにおける結果(説明は第2図と同じ)



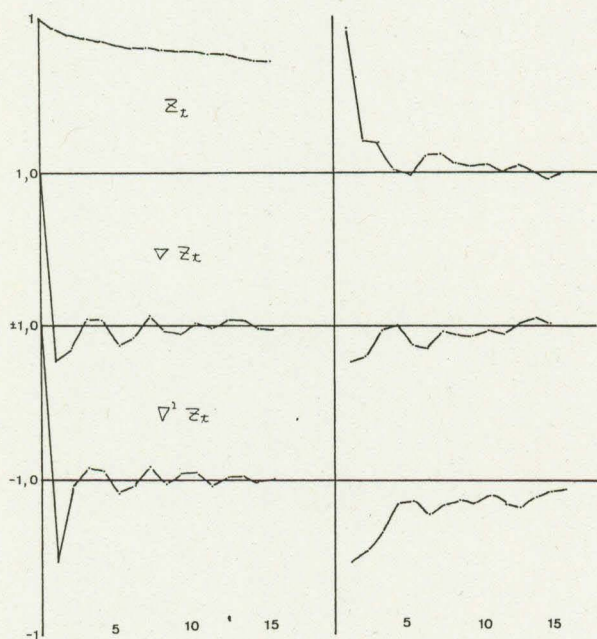
第4図 134°Eにおける結果(説明は第2図と同じ)



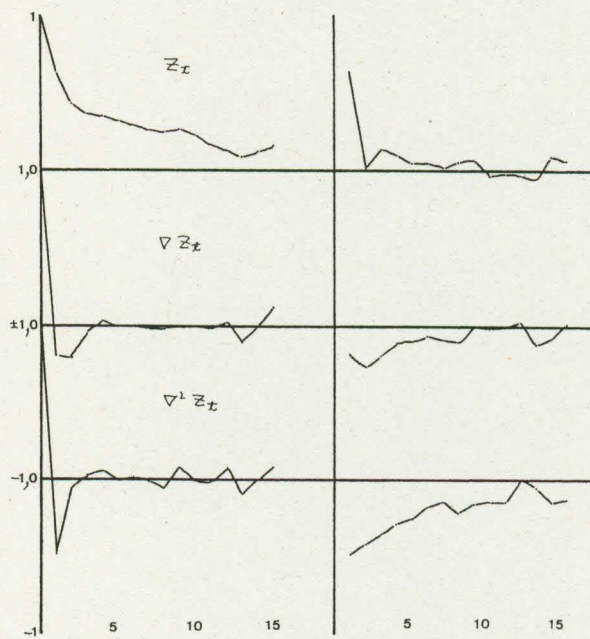
第5図 134°Eにおける結果(説明は第2図と同じ)



第6図 136°Eにおける結果(説明は第2図と同じ)



第7図 137°Eにおける結果(説明は第2図と同じ)



第8図 140°Eにおける結果(説明は第2図と同じ)

参 考 文 献

二谷 穎男, 1972: 黒潮変動について、地学雑誌、81, pp 81-94

Nitani, H, 1975: Variation of Kuroshio South of Japan, JOSJ, 31, pp. 154-173

Ishii, H, 1982: Variation of the Kuroshio Cold Eddy, Rep. Hydrogr. Res., 17, pp. 219-228

Box, G, E, P, and G, M, Jenkins 1976: Time Series Analysis: Forecasting and Control, Holden-Day, San Francisco, 575pp