

信州大学工学部 正 員 余越 正一郎

同 上 学 生 員 山本 直克

1. 目 的

将来予測の精度は、過去の観測データが長い程周期性と傾向性の判定が容易になるので増大する。少ない水立量データから、適切な将来予測を行なおうとしても種々の操作を重ね、多くの仮定の上に立って予測するので、その精度は鈍るものと思われる。本論文においては、太陽活動、気候変動、降水量変化、樹木成長率間の関係を明らかにすることに依り、他の長期観測データに基づいて、短期観測データの適切な将来予測が可能であるかどうか検討してみた。

太陽活動が惑星間空間を伝播し、地球圏に作用して気候変動に影響を与え、さまざまな気象変化を引き起こし、植物の成長等にも影響を及ぼしていると考えられるので、Fig.1

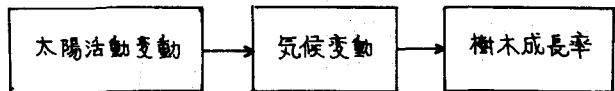


Fig.1 伝 播 機 構

のような伝播機構を想定して、太陽活動変動、気候変動、樹木成長率間の伝達特性を、それぞれの観測データを入出力の信号とした線形を成す伝達系であると仮定して推定してみる。

入出力から系の重み関数、あるいは、そのフーリエ変換であるシステム関数を推定するわけであるが、クロススペクトルの代りにオートバイスペクトルを用いるので、同時生起した観測データがなくてもある程度の観測データにより系の伝達関数を推定できる。

2. 方 法

入力 $x(t)$ 、出力 $y(t)$ 、重み関数 $h(t)$ として、 $x(t)$ をつぎのように表わされる周期信号であるとする、

$$x(t) = \sum_{k=1}^N A_k \cos \{ 2\pi k f_0 (t - t_A) - \varphi_k \} \quad \text{----- (1)}$$

$A_k \neq 0$, t_A は観測開始時刻による影響

$x(t)$ が $h(t)$ を通過することにより、系の出力 $y(t)$ は、

$$y(t) = h(t) * x(t)$$

$$= B_1 \cos \{ 2\pi k f_0 (t - t_B) - \varphi_1 \} + \sum_{k=2}^N B_k \cos \{ 2\pi k f_0 (t - t_B) - \varphi_k \}$$

$$= \sum_{k=1}^N B_k \cos \{ 2\pi k f_0 (t - t_0) - \psi_k \} \quad \text{----- (2)}$$

となる。ただし、*は畳み込み積分を表わし、 t_0 は基本周波数成分の時間遅れにより生じる項である。このとき $\psi_2 \dots \psi_k$ が周波数成分間の影響による分散である。 $x(t)$, $y(t)$ を利用してシステム関数

$$H(kf_0) = \frac{B_k}{A_k} \exp \{ -j \{ 2\pi k f_0 (t_0 - t_1) + \psi_k - \varphi_k \} \} \quad \text{----- (3)}$$

を推定する。

オートパワースペクトルの位相項、振幅項は入力側では、

$$\begin{cases} P_x = \varphi_k + \varphi_{k+2} \\ \quad - \varphi_{k+1} \\ M_x = \frac{1}{8} A_k A_{k+2} \\ \quad \cdot A_{k+1} \end{cases} \quad \text{(pies)} \quad \text{----- (4)}$$

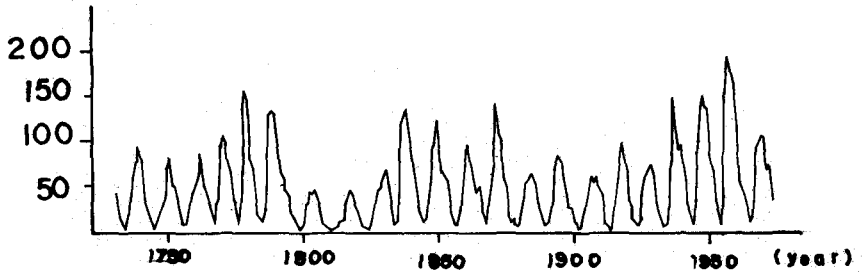


Fig.2 relative of sun spot number

出力側では

$$\begin{cases} P_y = \psi_k + \psi_{k+2} \\ \quad - \psi_{k+1} \\ M_y = \frac{1}{8} B_k B_{k+2} \\ \quad \cdot B_{k+1} \end{cases} \quad \text{----- (5)}$$

と表わされるので、(4)、(5)式を用い、 $\psi_1 = \varphi_1 = \frac{\pi}{2}$ として $\psi_k - \varphi_k$ を推定する。また、入出力信号の1/f コースペクトルより、

$$\begin{cases} A_k = \sqrt{\Phi_{xx}(kf_0)} \\ B_k = \sqrt{\Phi_{yy}(kf_0)} \end{cases} \quad \text{----- (6)}$$

と表わされるので、(6)式より、 B_k/A_k を推定しうる。

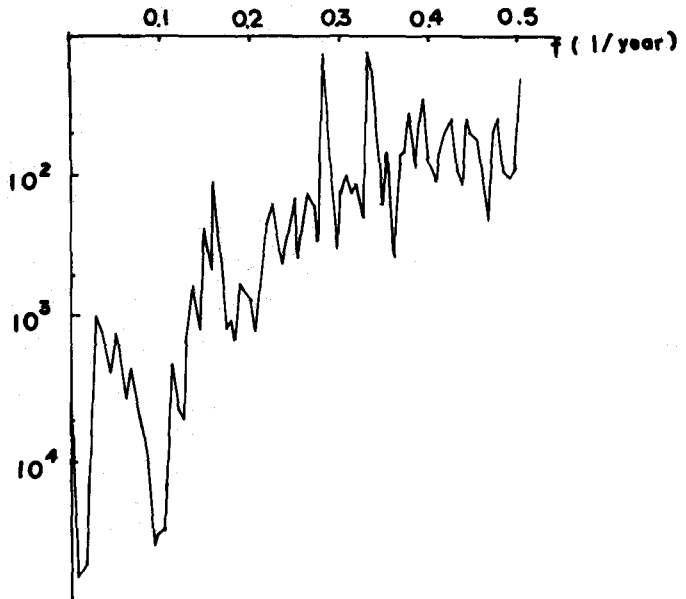


Fig.3 power spectrum of sun spot number

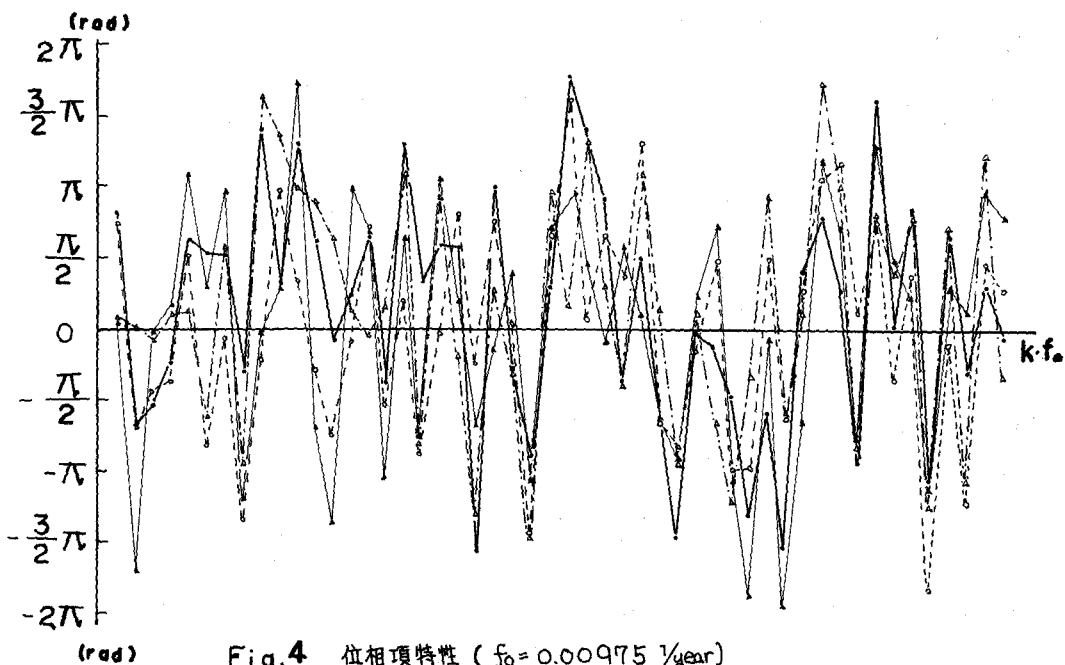


Fig. 4 位相項特性 ($f_0 = 0.00975 \text{ 1/year}$)

- 黒点数・リヤキ成長率間
- ▲—▲ 黒点数・紅梅成長率間
- 黒点数・降水量間
- △---△ 降水量・リヤキ成長率間

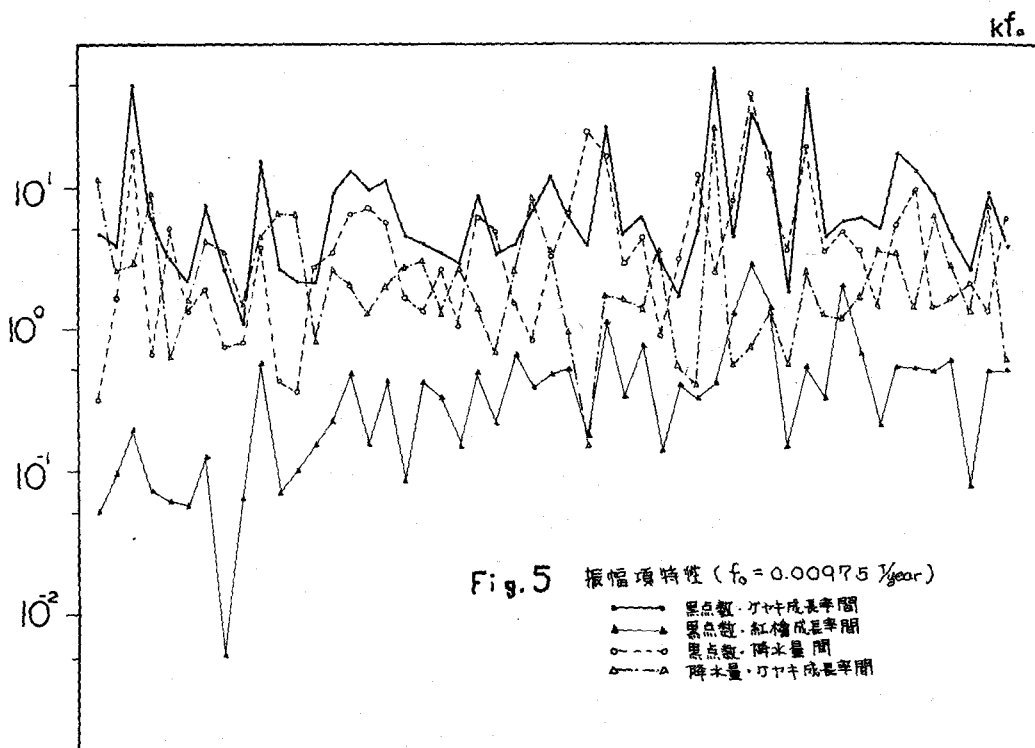


Fig. 5 振幅項特性 ($f_0 = 0.00975 \text{ 1/year}$)

- 黒点数・リヤキ成長率間
- ▲—▲ 黒点数・紅梅成長率間
- 黒点数・降水量間
- △---△ 降水量・リヤキ成長率間

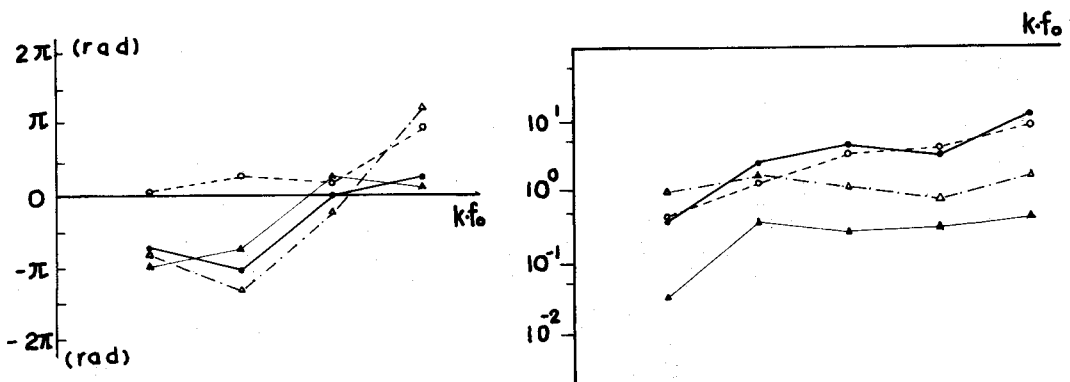


Fig.6 位相項特性(右)・振幅項特性(左) ($f_0 = 0.0897 \frac{1}{\text{year}}$)

●—● 黒点数・ヤナギ成長率間
○---○ 黒点数・降水量間
▲---▲ 降水量・ヤナギ成長率間
—▲ 黒点数・紅檜成長率間

3. 結果・考察

太陽活動の指標として Wolf の相対黒点数、降水量は山形の夏期平均降水量、樹木成長率変化は樹令 323 年の山形産ヤナギと樹令 1047 年の台湾阿里山産紅檜を観測データとして用い、Fig-1 に示した伝播機構の入出力信号として系のシステム関数を推定した。Wolf の相対黒点数の変化とパワースペクトルを Fig-2,3 に示した。パワースペクトルのピークは $f = 0.00975 \frac{1}{\text{year}}$ と $f = 0.0897 \frac{1}{\text{year}}$ で認められるので、この両周波数を基本周波数にとって、それぞれにおけるシステム関数の位相項、振幅項特性を求めて、Fig-4 ~ 7 に示した。

黒点数変動周期 $f = 0.00975 \frac{1}{\text{year}}$ に対する位相項(Fig.4)振幅項(Fig.5)特性に示すように、黒点数、降水量間と黒点数、樹木成長率間のシステム関数の特性が非常に類似している。変動周期 $f = 0.0897 \frac{1}{\text{year}}$ に対する位相項・振幅項特性(Fig.6)を見ると、各成分間のシステム関数の特性はあまり良く対応していないが、位相項特性において黒点数、降水量間の特性はほぼ一定であり、降水量、樹木成長率間の振幅特性変化も一定値を保っていることが認められる。

Fig.1 で想定した伝播機構において、100 年程度の長周期変動は一定の特性変化を示す伝達関数に依って、降水量変化更に樹木成長率に伝えられていると考えられる。それに対し、11 年程度の短周期変動は想定した伝播機構を通じての影響よりも、地域的な要因の影響を多大に受けていて伝達されにくいと考えられる。観測データの少ない降水量等の将来予測を行なうにあたり、得られたデータの解析による予測ばかりでなく、他の長い観測データによって補われることが可能であると思われる。今後、降水量変化等ともっと密な関係がある標本を見い出すことができるならば、更に細部にわたって詳しく検討でき将来の予測の精度は増すものと思われる。なお、本計算には信州大学データレーションを通じ東大大型計算機を用いた。

4. 参考文献

大内 正夫
倉野 暁
余越 正一郎

“樹木の成長率と気候変動”
“パワースペクトルを用いる線形系の推定の方法”
“樹木の成長率と太陽活動について”

京都大学紀要 Ser-8 No.25 1964.10
計測自動制御学会論文集 第18巻 6号 1975.12
農業土木学会誌 第34巻 9号 1966.12