

日本の降水量変動と Niño 3 海面水温変動の 関連性についての基礎的検討

PRELIMINARY STUDY OF THE RELATIONSHIP BETWEEN PRECIPITATION OVER JAPAN AND Niño 3 SEA SURFACE TEMPERATURE.

仲江川 敏之¹; Tosiya NAKAEGAWA

¹正会員 博士 (工学) スクリプス海洋研究所 客員研究員 (気象研究所)

This study explores preliminarily the relationship between precipitation in the three regions of Japan and Niño 3 sea surface temperature (SST). The 87-year data set of precipitation and SST are analysed using wavelet analysis. The strong local wavelet power spectrum of precipitation using Morlet wavelet shows significant signals in 2-4 year periods. Decadal variations of the significant power spectrum are found in all regions and seasons. The decadal power spectrum variations in winter in Kyushu are due to the Rossby wave excited by the tropical SST anomaly.

Key Words : decadal time-scale variation, precipitation, sea surface temperature, seasonal forecast, wavelet analysis

1. はじめに

水フォーラムで採択された閣僚宣言で再確認されたように、洪水と旱魃の影響は深刻さを増しており、ハード、ソフトの面から包括的なアプローチが期待がされている。ソフトとしてはまず、災害予報システムが挙げられよう。数カ月のリードタイムを持った気象予測が可能であれば、災害予報システムは、多くの選択肢を、ユーザーに提供できる。しかし、短期予報と異なり、季節予報には予測の限界があり、劇的な予測精度の向上は望めない¹⁾。El Niño 南方振動 (ENSO) は最大の年々変動シグナルであるので、ENSO インデックスを予測子として、統計的に降水量や流出量などを予測する研究が盛んに行われてきた^{2),3)}。その結果、殆んどの中高緯度で、予測は非常に難しい事が明らかにされている。同様の結果は、全球大気モデルを用いた力学的手法でも得られている^{4),5)}。

近年、ENSO 活動に数十年スケールの変動があることが知られるようになった。Torrence and Compo は、季節平均された中央太平洋 (5°S–5°N, 90°–150°W) の海面水温 (Niño 3 SST; 領域 1–4 まであるうちの一領域) を wavelet 解析し、1920 年から 1960 年にかけて ENSO 活動が低下したしていたことを明らかにした⁶⁾。また、Kestin et al. は Niño 3 SST を wavelet 解析に加えて、窓 Fourier 解析、窓 Prony 解析し、いずれの方法でも同

様の結果を得ている⁷⁾。この数十年スケール変動は、別の ENSO 指標である南方振動指標と中央熱帯降水量にもあることが示されており、その存在は確かなものと考えられている。

この数十年スケール変動は、ENSO 以外の変動にも見出されている。Torrence and Webster は Niño 3 SST とインド降水量を wavelet 解析し、2-7 年の分散の時系列が 1875-1920 年と 1960-90 年の期間で ENSO-モンスーンの高い分散、逆に 1920-60 年の期間で低い分散であることを示した⁸⁾。また、Smith は熱帯太平洋 (30°S–30°N) 水位に 20 世紀半ばから変動の増加傾向があること、そしてそれが ENSO 活動と関連していることを示した⁹⁾。従って、他の現象の活動にも数十年スケール変動が存在し、ENSO 活動が影響を与えていると考えられている。

ENSO 活動の数十年スケール変動と洪水、旱魃の関連性が見出されるならば、ENSO 指標によって、洪水、旱魃が生起し易い (難しい) 数十年スケールの期間を特定できるので、長期的な流域水管理に有益な情報をもたらす。従って、ENSO の数十年スケール変動と流域水量に関連した要素の関連性を明らかにする事は、流域水管理に少なからず貢献すると言える。

そこで本研究では、ENSO 活動の数十年スケール変動に関連した降水量変動が存在するかを日本の領域について調べた。降水量変動と Niño 3 SST の変動の時間スケールを抽出するために、wavelet 解析を用いた。

2. データ, 解析法

本研究では図-1 に示すような, 日本を覆う 3 つのグリッド領域 (九州四国地域, 本州中央地域, 北海道地域) を対象とした。

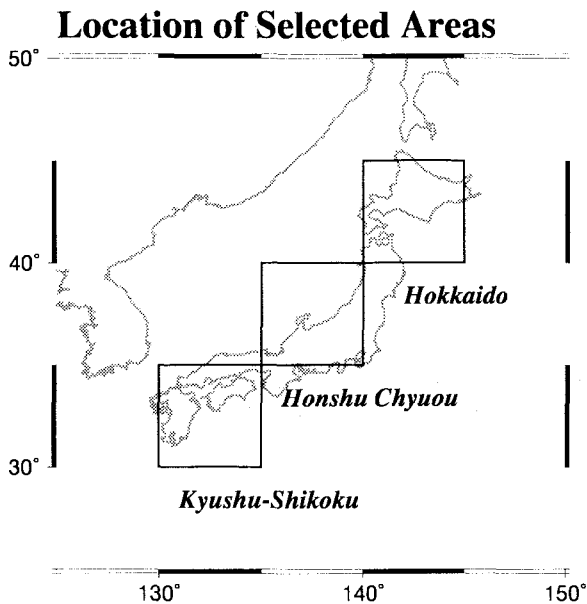


図-1 5°×5° 降水量データグリッドに基づく対象領域。

ENSO の指標として, Torrence and Compo が英国気象局全球海水海面データ (GISST2.3)¹⁰⁾ から作成した月平均 Niño 3 SST を用いた⁶⁾。データ期間は 1871-1996 年である。降水量は英国アングリア大学気候研究ユニットが作成した 5°×5° の月平均データを用いた¹¹⁾。データ期間は 1900-1998 年であるが, 観測データの有無により欠損がある。日本地域の降水量データは 1910 年以降が揃っているため, 解析対象期間を 1910 年～1996 年の 87 年間とした。

この月平均データから, まず季節 (3 カ月) 平均時系列を作成した。季節は慣例に従い, 春 (3-5 月, MAM), 夏 (6-8 月, JJA), 秋 (9-11 月, SON), 冬 (12-2 月, DJF), とした。次に各季節の 87 年間の平均 (気候) 値を算定し, 各年の値から気候値を差引くことにより, 偏差時系列を作成した。以下の解析では全て, この偏差時系列を用いた。

上記データの解析法として, すでに一般的な解析手法となっている wavelet 解析を用いた。この解析法では, 時系列データを時間一周波数空間で分解することにより, 変動の主モードとそのモードが時間的にどう変化するかを同時に決定することができる。本解析では, 基底関数として Morlet 関数を用いた。また, 解析で得られるパワースペクトルの有意水準については, Monte Carlo シミュレーションによる結果に基づき, wavelet パワースペクトルが χ^2 分布に従うとして決定した⁶⁾。

3. 結果と議論

(1) Niño 3 SST

図-2 に Niño 3 SST を wavelet 解析により, 時間一周波数空間分解した結果を示す。同図 (b) から, 局所パワースペクトルが有意な領域 (図中の太線で囲まれた領域) は, およそ 2~7 年の周期に現れているが, 1920 年から 1960 年にかけては, 有意な領域がどの周期にも見られず, ENSO 活動が低下していることが分かる。

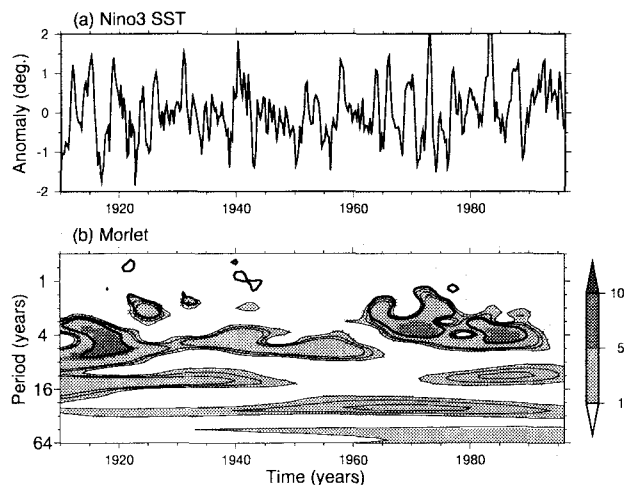


図-2 Niño 3 SST の wavelet 解析. (a) SST 時系列. (b) 局所 wavelet パワースペクトル。但し, 解析では Morlet wavelet を用いている。また (b) 中の太線で囲まれた領域は 95% 以上の有意水準である領域を示している。

(2) 降水量

図示はしないが, 各地域の降水量通年時系列データについて Niño 3 SST と同じ解析を行なったところ, どの地域でも, 周期 1 年以下のところのみ, 有意なパワースペクトルが現れた。これは, 降水に強い季節性があり, 偏差が季節を越えて伝搬しにくいと考えられる。そこで, 次に各季節毎の解析結果を示す。

a) 九州四国地域

図-3 (b) に九州四国地域の降水量に対する wavelet 解析を行なった結果を示す。有意なパワースペクトルは各季節とも 2 年から 4 年の周期に見られる。パワースペクトルが有意でない季節は各 10 年毎に, 1910 年代は JJA, 1940 年代は DJF, 1950 年代は MAM, DJF である。いずれの季節にも, 有意なパワースペクトルがみられない期間があるので, 降水量変動に 10 年スケールの長期変動が存在していると言える。また, 全季節を通してパワースペクトルが弱い時代は存在していない。

クロス wavelet 解析の結果 (同図 (c)) をみると, JJA や SON では殆んどどの期間で, 有意なパワースペクトルがいずれかの周期に存在している。一方, 1950 年代の

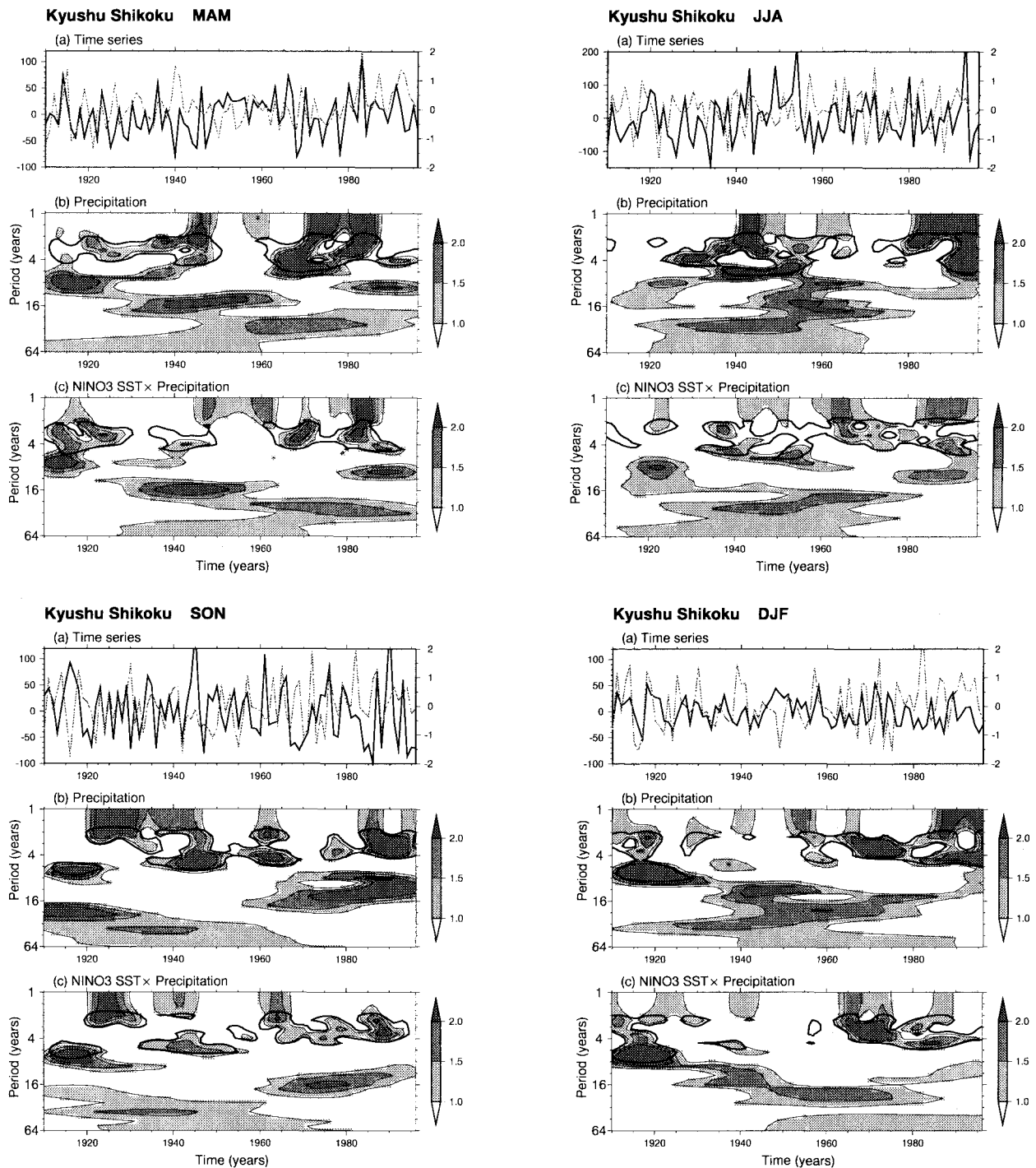


図-3 九州四国地域降水量の wavelet 解析. 左上 春 (MAM), 右上 夏 (JJA), 左下 秋 (SON), 右下 冬 (DJF). (a) 降水量時系列 (黒線, 点線は Niño 3 SST), (b) 降水量の局所 wavelet パワースペクトル. (c) 降水量と Niño 3 SST のクロスパワースペクトル. 但し, 解析では Morlet wavelet を用いている. また (b), (c) 中の太線で囲まれた領域は 95% 以上の有意水準である領域を示している.

MAM, 1940 年代から 1950 年代の DJF では, どの周期にも有意なパワースペクトルが見られない. このことから, 降水量と Niño 3 SST の変動の長期変動の相関関係は時代と季節により変化していると言える.

b) 本州中央地域

図-4 に本州中央地域の降水量に対する wavelet 解析を行なった結果を示す. 降水量の wavelet 解析結果を見ると, 有意なパワースペクトルは同様に各季節とも 2 年から 4 年の周期に見られる. パワースペクトルが有意

でない季節は 1910 年代の MAM, 1920 年代から 1930 年代の JJA, 1965~75 年の SON に見られる. ただし, MAM のいずれかの周期のパワースペクトルは 1920 年以降常に有意な値を維持している. 従って, 本州中央地域でも降水量変動に 10 年スケールの長期変動が存在している.

次に, クロス wavelet 解析の結果をみると, どの季節にも有意なパワースペクトルがどの周期にも存在していない期間が見られる. 即ち, 1930 年前後の MAM, JJA,

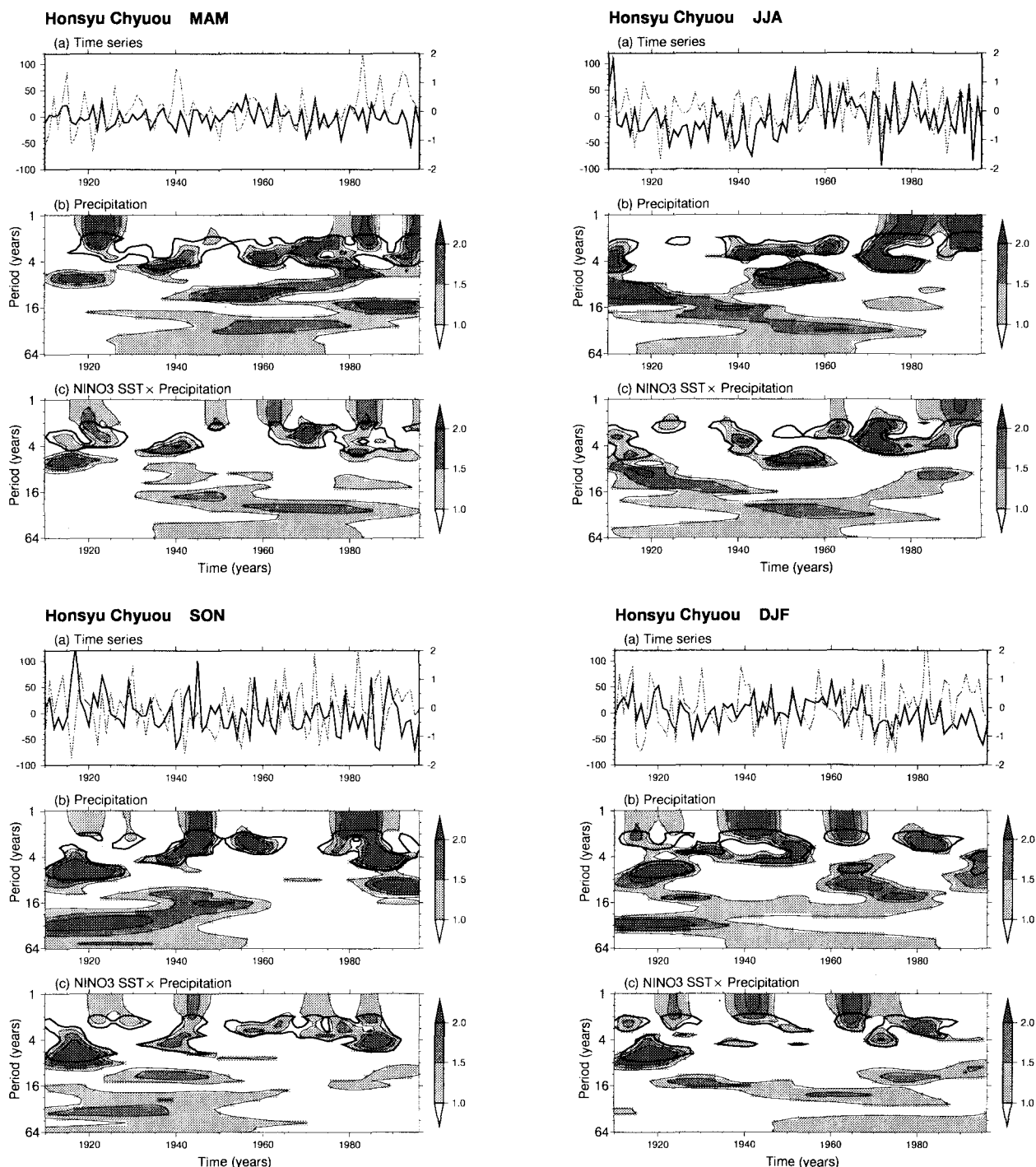


図-4 図-3に同じ。但し、本州中央地域。

DJF, 1950 年前後の SON, 1950 年代の MAM, 1950 年代後半の DJF の期間である。1930 年前後は DJF から JJA までパワースペクトルが弱い季節が継続していることが他の年代と大きく異なる点である。このことから、この地域でも降水量と Niño 3 SST の変動の長期変動の相関関係が時代と季節により変化していると言える。

c) 北海道地域

図-5 に北海道地域の降水量に対する wavelet 解析を行なった結果を示す。降水量の wavelet 解析結果をみると、有意なパワースペクトルは他の地域と同様に各季節

とも 2 年から 4 年の周期に見られる。パワースペクトルが有意でない季節は 1920 年代の MAM, 1930 年代の DJF, 1945 年前後の JJA, 1980 年前後の DJF などが挙げられる。但し、SON のいずれかの周期のパワースペクトルは 1990 年代を除き常に有意な値を維持している。従って、北海道地区でも降水量変動に 10 年スケールの長期変動が存在している。

次に、クロス wavelet 解析の結果をみると、有意なパワースペクトルがどの季節、周期にも存在していない期間が見られる。即ち、1950 年前後の全季節、1960 年前後の MAM などの期間である。1950 年前後の期間では

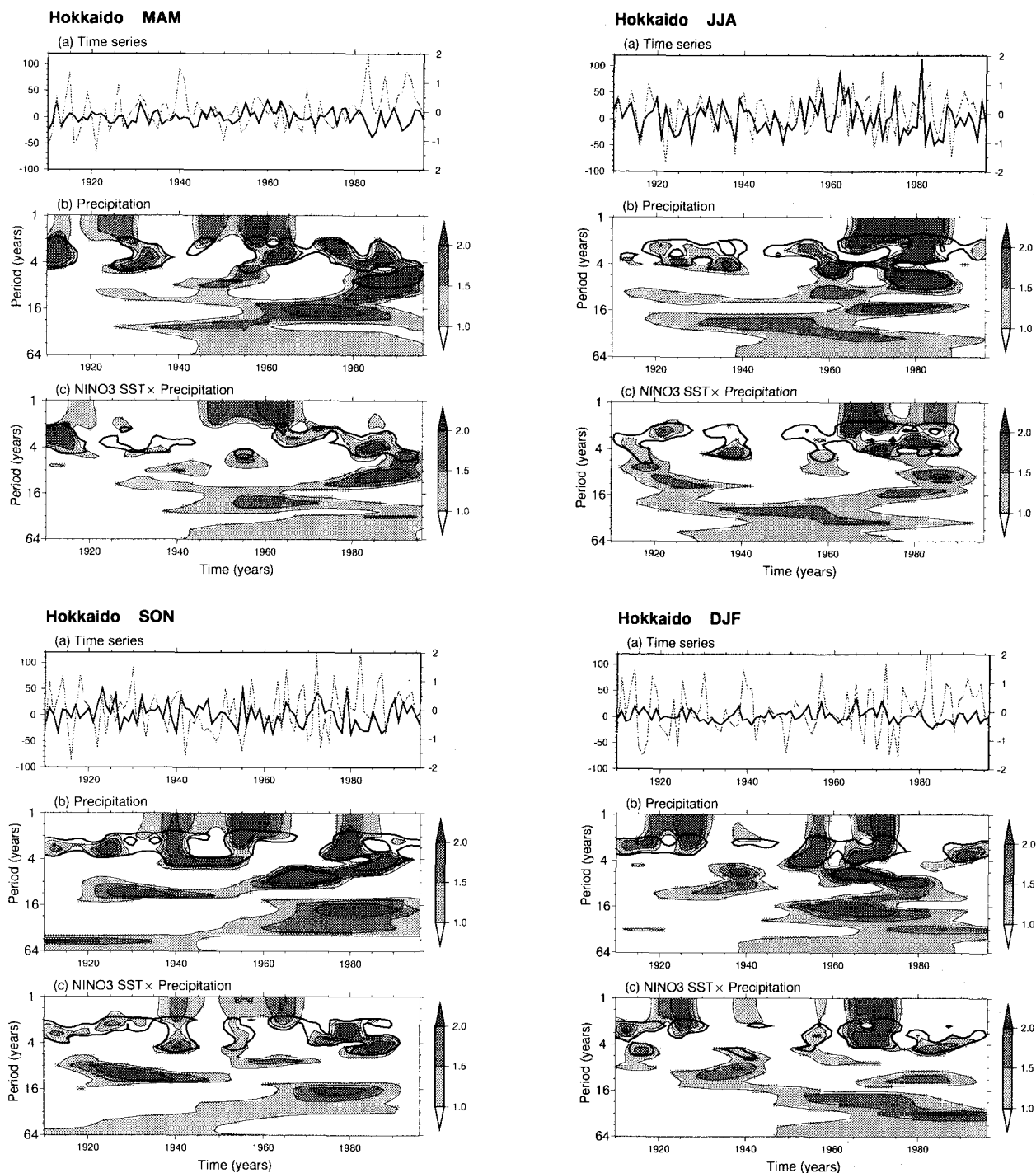


図-5 図-3 に同じ。但し、北海道地域。

全季節のパワースペクトルが弱い。このことから、ここでも降水量と Niño 3 SST の変動の長期変動の相関関係が時代と季節により変化していると言える。

4. 議論

降水量の wavelet パワースペクトル時系列は必ずしも、先に述べたような Niño 3 SST のパワースペクトル時系列と一致していない。また、降水量のパワースペクトルが有意でないからといって、クロスパワースペクトルも有意でないというわけでもない (例えば、北海道地

域の 1950 年前後の SON)。図-2 に示した、Niño 3 SST のパワースペクトルが弱い 1920~1960 年に降水量のパワースペクトルも弱いのは、九州四国地域の DJF、本州中央地区の 1920~1940 年頃の JJA、北海道地域の 1930 年~1950 年頃の DJF と限られている。この地域と季節、時代に対応するクロスパワースペクトルは殆んど有意でない。上記以外の組合せの季節降水量のパワースペクトルが有意な時、クロスパワースペクトルも高いことがわかる。このことは、Niño 3 SST の変動が大きい期間では、両者に相関があるため降水量の変動も大きくなっているが、Niño 3 SST の変動が小さい期間では、

両者に相関は無く、降水量変動が小さいのは別の原因であると言える。

Niño 3 SST のパワースペクトルが弱い 1920~1960 年に降水量のパワースペクトルも弱いという関係が明瞭に現れているのは九州四国地域の DJF である。Nakaegawa et al. は全球気候モデルが完全に大気現象を再現できると仮定した上で、降水量 - 蒸発量の予測可能性を数値実験から調べた。その結果によれば、ENSO によってもたらされる降水量偏差がフィリピン付近上空の大気加熱偏差をもたらし、それに励起されたロスビー波に伴って、日本の南に湿った空気をもたらすので、降水量 - 蒸発量の予測可能性が日本の南で高い¹²⁾。この現象は、大気其自然変動成分が大きいいため、非 ENSO 年には見られない。この物理機構は、変動が大きい期間だけ Niño 3 SST の変動と降水量に有意なクロスパワースペクトルが現れることを説明できる。よって、九州四国地域の DJF 降水量と Niño 3 SST の変動の大きさには関係があると言える。

他の季節と地域については、上記の機構は当てはまらないので、別の物理機構あるいは上記機構を介した機構によって、Niño 3 SST と相関があると考えられる¹²⁾。

5. まとめ

日本の 3 地域の降水量変動と Niño 3 SST 変動の関係を 1910 年~1996 年の期間につて wavelet 解析を用いて調べた。その結果、ENSO の活動が弱まっていた 1920 年~1960 年に対応して、九州四国地域の冬季などで降水量変動が低下する傾向がみられた。但し、日本内の地域によってもその変動の変化が異なっていた。

九州四国地域冬季の降水量変動の数 10 年スケール変動は ENSO 活動によるロスビー波励起が原因である。その他の地域、季節の物理機構は明らかでないが、何らかの SST 変動との関係があると考えられる。これは今後の研究成果が待たれる。

日本域の降水量変動と Niño 3 SST 変動の数 10 年スケール変動の間に、統計的な関係が確立されたとしても、最大の問題が残される。即ち、この場合の予測子である Niño 3 SST の数 10 年スケール変動が、どの程度予測可能かという問題である。現在、大気海洋結合モデルによる数値実験でも、ENSO の 10 年スケール変動が存在していることが確認されている。しかし、その予測可能性についてはまだ、調べられておらず、今後の課題と言えよう。

謝辞： 本解析を実施するに当たり、Torrence and Compo 博士の作成した wavelet 解析プログラムを利用して頂いた。SST は英国気象局、降水量は CRU M.

Hulme 博士により提供されたものである。ここに記して、感謝の意を表します。この研究は文部科学省科学振興調整費「21 世紀のアジアの水資源予測」による補助を受けて行なわれた。

参考文献

- 1) E. N. Lorenz. Atmospheric predictability experiments with a large numerical model. *Tellus*, Vol. 34, pp. 505-513, 1982.
- 2) A. G. Barnston and R. E. Livezey. Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns. *Mon. Weather Rev.*, Vol. 115, pp. 1083-1126, 1987.
- 3) S.-O. Hwang, J.-K. E. Schemm, A. G. Barnston, and W.-T. Kwon. Long-lead seasonal forecast skill in far eastern Asia using canonical correlation analysis. *J. Climate*, Vol. 14, pp. 3005-3160, 2001.
- 4) 仲江川敏之, 楠昌司, 杉正人, 鬼頭 昭雄 小林ちあき, 高野清治. 全球大気モデルを用いた季節予報実験に基づく水資源量の予測精度と予測可能性. 水工学論文集, Vol. 46, pp. 109-114, 2002.
- 5) M. Kanamitsu, A. Kumar, H.-W. H. Juang, J.-K. Schemm, W. Wang, F. Yang, S.-Y. Hong, P. Peng, W. Chen, S. Moorthi, and M. Ji. The predictability of soil moisture and near-surface temperature in hindcasts of the NCEP seasonal forecast model. *J. Climate*, Vol. 16, No. 2, pp. 510-521, 2003.
- 6) C. Torrence and G. P. Compo. A practical guide to wavelet analysis. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, Vol. 79, pp. 61-78, 1998.
- 7) T. S. Kestin, D. J. Karoly, J. Yano, and N. A. Rayner. Time-frequency variability of ENSO and stochastic simulations. *J. Climate*, Vol. 11, pp. 2258-2272, 1998.
- 8) C. Torrence and P. J. Webster. Interdecadal changes in the ENSO monsoon system. *J. Climate*, Vol. 12, pp. 2679-2690, 1999.
- 9) T. M. Smith. Tropical Pacific sea level variations (1949-98). *J. Climate*, Vol. 13, pp. 2757-2769, 2000.
- 10) N. A. Rayner, E. B. Horton, D. E. Parker, C. K. Folland, and R. B. Hackett. Version 2.2 of the global sea-ice and sea surface temperature data set, 1931-1994. Climate research technical note, Hadley Center, Meteorological Office, 1996.
- 11) M. Hulme, T. J. Osborn, and T. C. Johns. Precipitation sensitivity to global warming: Comparison of observations with HadCM2 simulations. *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 25, pp. 3379-3382, 1998.
- 12) Nakaegawa Tosiya, Masato Sugi, and Keiichi Matsumaru. A long-term numerical study of the potential predictability of seasonal mean fields of water resource variables using MRI/JMA-AGCM. *J. Meteorol. Soc. Japan*, Vol. 81, No. 5, pp. 1041-1056, 2003.

(2003. 9.30 受付)