

南方振動と福岡市月降水量の 相関関係について

河村 明¹・江口 聡一郎²・神野 健二³

¹正会員 工博 九州大学助教授 工学研究院 (〒812-8581 福岡市東区箱崎六丁目10-1)

²学生員 九州大学大学院工学府 (〒812-8581 福岡市東区箱崎六丁目10-1)

³正会員 工博 九州大学教授 工学研究院 (〒812-8581 福岡市東区箱崎六丁目10-1)

これまで、エルニーニョ・ラニーニャ現象の指標となる南方振動指数 (SOI) と日本のような中緯度における水文気象要素との相関関係は明瞭とはなっていない。本論文では、渇水リスクの高い福岡市における110年間の月降水量データを正規変換の後規準化し、それに対応するSOIとの相関関係を解析している。その結果、全時系列を対象とした場合の相関はほとんどゼロであるが、SOIデータをその大きさによりカテゴリーに分類し、そのカテゴリー別に相関関数を解析すると、強いエルニーニョ・強いラニーニャのカテゴリーにおいて、ある特定の遅れ時間に対し、有意性の高い相関を検出できることが分かった。そして、これらの現象に関連した福岡市月降水量の傾向が見出された。

Key Words : Southern Oscillation Index, precipitation, Fukuoka, correlation, El Niño

1. はじめに

ペルー沖から日付変更線付近にかけての東部太平洋赤道域において、海面水温が平年よりも最大で数度ほど上昇する現象をエルニーニョ現象、反対に平年よりも下がる現象をラニーニャ現象と一般に呼んでいる¹⁾²⁾。エルニーニョ・ラニーニャ現象に対応して、その洋上にみられる東西の気圧振動は南方振動 (Southern Oscillation) と呼ばれ、南方振動の状態は南方振動指数 (Southern Oscillation Index, 以下 SOI と記す) により数値化される³⁾。アメリカ合衆国の国立海洋大気庁 (NOAA) では、この SOI によりエルニーニョ・ラニーニャ現象の判断を行っている²⁾。

エルニーニョ・ラニーニャ現象はテレコネクションを通じて世界各地の気象に影響を及ぼし、これらの現象に起因すると考えられる異常気象が世界各地で数多く報告されている¹⁾²⁾。このような異常気象の発生や気候変動は、例えば水資源確保という点から見て不安定な要因として懸念されており、これに伴い南方振動の定性・定量的解析や予測、そして南方振動の降水・気温などへの影響評価が重要な課題となっている。

SOI と世界各国の水文気象要素との関係については精力的に研究が行われている (例えば、文献 4)~7) 参照)。その結果、低緯度帯での水文気象要素と SOI との間には顕著な相関関係が見出されている。一例として、吉野⁷⁾はフィリピンとマレーシ

アでの平均月雨量と SOI の変動が非常に良く対応することを示している。

これまで、エルニーニョが発生した年 (エルニーニョ年) と日本の天候の特徴については、夏に低温傾向、冬に暖冬傾向になる場合が多いことが指摘されている²⁾⁸⁾が、日本のような中緯度における気候へのエルニーニョ・ラニーニャ現象の明瞭な影響はあまり報告されていない¹⁾²⁾。そして、日本の降水に影響を及ぼす台風発生数などとエルニーニョ年との関係²⁾⁹⁾や、日本の桜の開花日 (3月の月平均気温などに関係する) とエルニーニョ年やラニーニャ年との関係²⁾¹⁰⁾といったようなエルニーニョ年 (ラニーニャ年) に対応させた研究は多くある。しかし、SOI (月単位で計算される) と日本における月降水量などの水文気象要素とを直接用いて関係づける研究は、ほとんど見受けられない。その数少ない研究として、吉野⁷⁾は SOI 時系列と四国の月降水量時系列の関係を解析した結果、四国の月降水量の変動と SOI との間に、明瞭な影響を指摘することは困難であり、これは日本のような中緯度までエルニーニョの直接的な影響は及ばないことを示していると結論づけている。このように SOI と日本の水文気象要素を直接用いて相関解析を行っても明瞭な相関関係は得られないため、そのような研究結果は余り発表されていないものと推測される。

本論文では、月単位でSOIと福岡市月降水量の相関関係を詳しく解析している。福岡市は地勢的に

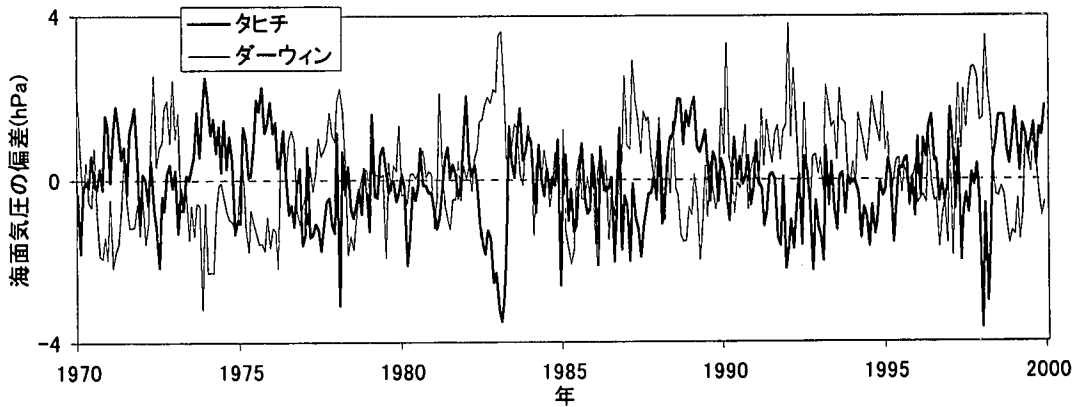


図-1 タヒチおよびダーウィンにおける月平均海面気圧の月平均値からの偏差時系列(1970年1月から1999年12月)

水資源に恵まれておらず、常に渇水の危険性にさらされている。過去において11回もの給水制限を実施しており、特に、昭和53年や平成6年の大渇水時には甚大な被害を被っている(詳しくは文献11),12)を参照)。このため、本地域における水文気象特性を把握することは、水資源問題上非常に重要な課題となっている。

本論文でも、SOI時系列と福岡市月降水量時系列の相関関数を直接計算しているが、結果は降水量の遅れ時間に関わらず相関はほとんどゼロとなった。しかし、SOIデータをその大きさによりカテゴリーに分類し、そのカテゴリー別に相関関数を解析した結果、難しい数学的手法を用いなくとも、強いエルニーニョ・強いラニーニャと分類したカテゴリーにおいて、ある特定の遅れ時間に対し、有意性の高い相関を検出できることが分かったのでここに報告するものである。これにより、エルニーニョ・ラニーニャ現象に関連した福岡市月降水量の有用な傾向が見出された。

2. 用いたSOIおよび福岡市月降水量データ

(1) SOIデータ

SOIは、南太平洋のタヒチ島パペーテ(西経149.6度、南緯17.5度)とオーストラリア北部のダーウィン(東経130.9度、南緯12.4度)両地点の気圧データより算定される。これらの月平均海面気圧データに関しては1866年1月からの連続データが得られている(詳しくは文献13)参照)。

図-1は、これら両地点における月平均海面気圧の月平均値からの偏差時系列を、最近30年間分(1970年1月から1999年12月)について示したものである。この図より、一方の地点の気圧が平均より高くなると、他方の地点では平均より低くなる傾向がはっきりと認められる。この現象は20世紀はじめWalker卿により発見され、南方振動(Southern Oscillation)と名付けられた有名な現象

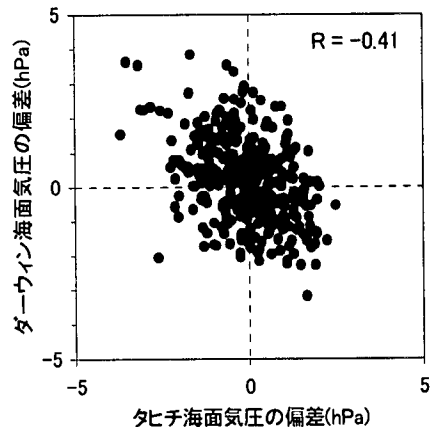


図-2 タヒチおよびダーウィンにおける海面気圧の偏差散布図(1970年1月から1999年12月)

である²⁾。南方振動は、この太平洋上における東西の気圧(他の気象要素は考えない)の振動を指しておりシーソーにたとえられる。そしてこの南方振動はエルニーニョ・ラニーニャ現象と相互に関連している。

図-2に、図-1の30年間の海面気圧の偏差散布図を示しているが、30年間の南方振動の相関係数は-0.41となっている。また、1866年1月からのデータ(134年間)を用いた場合の南方振動の相関係数は-0.26となっていて¹³⁾、南方振動の相関係数そのものは決して大きくはないことが分かる。しかし、これらの相関を相関係数がゼロという帰無仮説をたて、統計的仮説検定を実行すると、0.001%以下という非常に高い有意水準でその帰無仮説は棄てられる¹³⁾。すなわち、南方振動の相関係数は極めて高い有意性を保持しているといえる。このようにデータ数が多い場合(図-2の場合360個、134年間の場合1608個)は、相関はそれ程高くなくても、例えば図-2の場合の相関係数-0.41の95%信頼区間は-0.320~-0.493(およそ-0.41±0.09)となり、この相関係数の95%信頼区間の幅

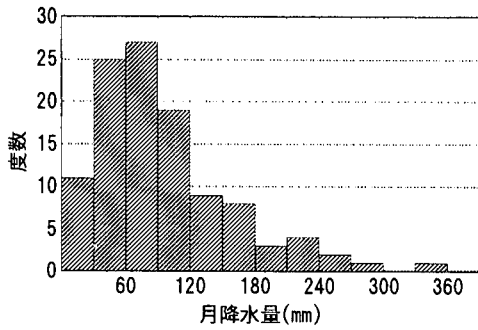


図-3 福岡市 10月の月降水量ヒストグラム

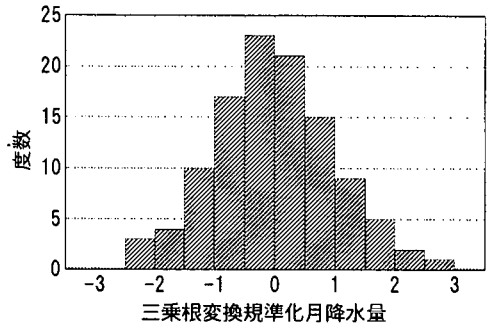


図-4 福岡市 10月の三乗根変換規準化月降水量ヒストグラム

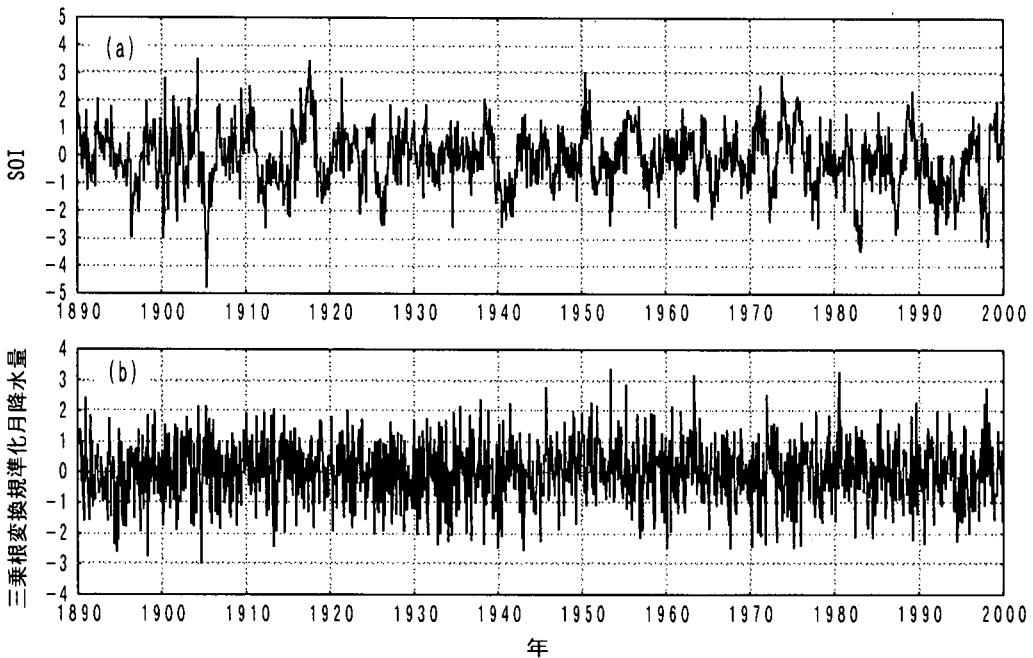


図-5 用いた SOI 時系列(a)および福岡市の三乗根変換規準化月降水量時系列(b)

は非常に小さく、有意性は極めて高いものとなる。逆に、データ数が少ない場合は、たとえ相関係数は大きくても偶然そのようになる確率が高くなるので、その相関係数が有意とはならない場合も生じてくる。以上のように相関係数の有意性は、相関係数の大小に関わらず、帰無仮説をベースに検定される。ただし、両者の相関の強さは、求められた相関係数の値で規定される。

さて、タヒチとダーウィンの月平均海面気圧データより SOI を算定する方法としては、Troup の方法と気候予測センターによる方法の 2 つが代表的である。どちらの SOI も値そのものに大差はない³⁾。ここでは Troup の方法^{14),15)}を用いて SOI を算定するが、この方法による、ある年 y 、ある月 $m(m=1$ 月~12 月)における $SOI(y,m)$ の値は次式で算定される。

$$SOI(y,m) = \{P_T(y,m) - P_D(y,m)\} - M_{30}(m) / S_{30}(m) \quad (1)$$

ここに、 $P_T(y,m)$ 、 $P_D(y,m)$ ：それぞれタヒチ及びダーウィンにおける月平均海面気圧(hPa)。 $M_{30}(m)$ 、 $S_{30}(m)$ ：それぞれ基準期間 30 年間(1951 年から 1980 年)における、ある月 m に対するタヒチ及びダーウィンの月平均海面気圧差の平均値(hPa)および標準偏差(hPa)である¹³⁾。すなわち本方法による SOI は、タヒチとダーウィンの月平均海面気圧の差を平均 0、標準偏差 1 に規準化したものとして表される。そして、SOI が -1 以下の場合エルニーニョ、1 以上でラニーニャと大まかに判断される。特に絶対値が 2 を超えると強いエルニーニョ、ラニーニャと判断される。

なお、SOI 時系列の統計的特性(発生頻度特性、持続特性など)およびカオス特性(自己相関特性、スペクトル特性を含む)については、それぞれ著者らの文献^{13),3)}を参照されたい。

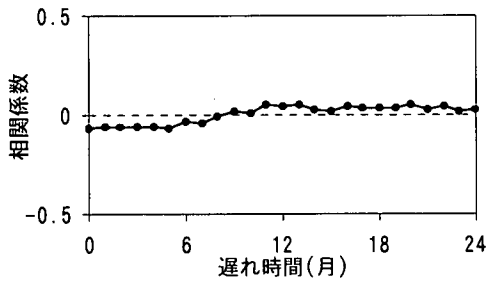


図-6 SOI 時系列と三乗根変換規準化月降水量時系列の相互相関関数

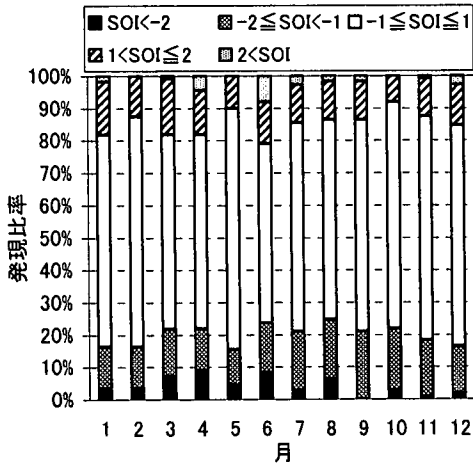


図-7 SOI 発現比率

(2) 福岡市月降水量データ

福岡市月降水量のデータは1890年1月から存在する。各月(1~12月)の降水量ヒストグラムは、例えば図-3(10月のヒストグラム)のように正規分布ではなく正に歪んでいる¹⁶⁾。一般に月降水量の分布は非対称であり、対数変換や n 乗根変換によって正規分布に近似できるといわれている¹⁷⁾。このため、ここでは月降水量に三乗根変換を施して正規変換し、さらに各月毎に平均値を差し引き、標準偏差で割ることによりデータを規準化した。その結果、例えば図-3のヒストグラムは、図-4のおおよそ平均0、標準偏差1の正規分布として規準化される。本論文の以下の解析では、福岡市月降水量のデータ数に合わせて、1890年1月から1999年12月までの110年間1320ヶ月のSOIデータと正規変換後規準化した福岡市月降水量データを用いて解析を行っている。これらの時系列を図-5に示す。

3. SOIと福岡市月降水量との相関

以上で述べた SOI 時系列と福岡市における三乗根変換規準化月降水量時系列に対して、相互相関

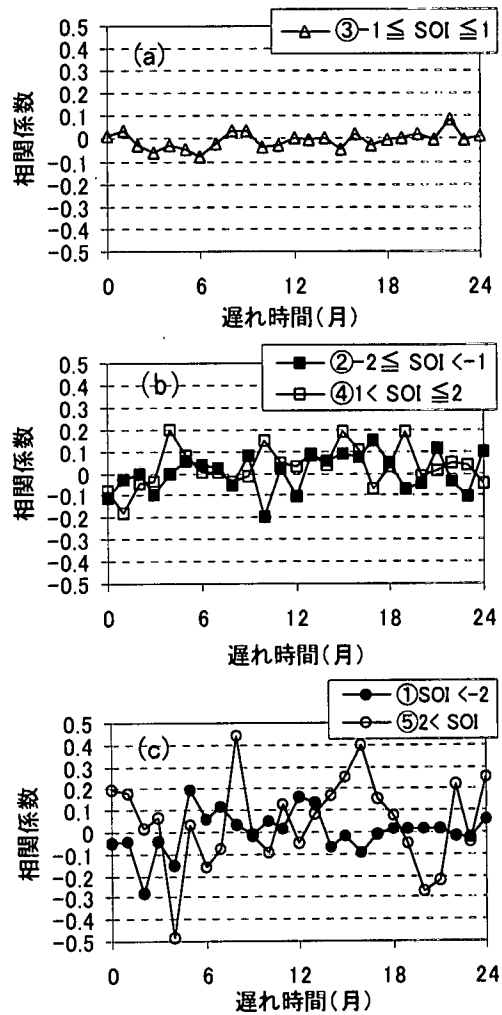


図-8 カテゴリー分類したSOIと対応する三乗根変換規準化月降水量との相互相関関数

関数(SOI を基準として月降水量を遅れ時間にとる)を算定した。その結果を図-6に示す。この場合、SOIの異常(エルニーニョ・ラニーニャ現象)が原因となって、世界各地(特に低緯度帯)の水文気象要素に影響を及ぼすことが気象物理学に説明されている¹⁸⁾ので、負の遅れ時間については考慮しない。図-6より、どの遅れ時間に対しても相関係数はほとんどゼロであり、両者の間に相関関係は見出せない。この結果は、1.で述べたように、吉野が四国の月降水量に対して得た結果と同様である¹⁹⁾。

そこで、SOIのデータをその大きさによって、①SOI < -2, ②-2 <= SOI < -1, ③-1 <= SOI <= 1, ④1 < SOI <= 2, ⑤2 < SOIの5つのカテゴリーに分類し、そのカテゴリー毎に三乗根変換規準化月降水量との相関関数を算定することを試みた。以後、これらの現象を容易に関連づけるため、カテゴリー①~⑤をそれぞれ、強いエルニーニョ、弱いエルニ

一ニヨ、通常状態、弱いラニーニャ、強いラニーニャと呼ぶことにする。図-7に、用いた110年間のSOIデータについて、上記の5つのカテゴリーの月別発生頻度を示す。この図より、エルニーニヨ、ラニーニャはどの月でも発生し、月毎のそれぞれのカテゴリーの発現比率にそれ程大きな変動は見られない(詳しくは文献13)参照)。この場合、110年1320ヶ月全体のカテゴリー①~⑤の発生比率は、それぞれ、4.2%、15.6%、65.5%、12.6%、2.1%となっている。

さて、上記の5つのカテゴリー毎のデータに対し、ある月のSOIと、そのSOIから遅れ時間 n ヶ月後($n=0\sim 24$)の三乗根変換規準化月降水量との相関関係について調べた結果を図-8に示す。図-8(a)より、エルニーニヨおよびラニーニャ現象が生じていない通常状態(カテゴリー③)の場合には、図-6同様ほとんど相関が見られないが、SOIの絶対値が大きくなるにつれて、図-8(b),(c)のように相関係数の絶対値も大きくなるという傾向が見て取れる。この場合、強いラニーニャ現象の方が強いエルニーニヨ現象よりも相関が高くなる傾向にある。最も相関係数が大きいのは、強いラニーニャ(カテゴリー⑤)で遅れ時間 $n=4$ ヶ月の場合で、相関係数は -0.48 である。この相関係数は有意水準1%で有意である。この強いラニーニャのカテゴリーではその他に、遅れ時間 $n=8$ ヶ月および $n=16$ ヶ月の相関係数が有意水準5%で有意である。また、強いエルニーニヨ(カテゴリー①)については、唯一 $n=2$ ヶ月の場合に有意水準5%で有意な相関が得られた。

次に、有意な相関が得られた以上の4ケースについて、その散布図を調べてみよう。まず図-9に、強いラニーニャ時で遅れ時間 $n=4$ ヶ月の場合の散布図を示す。この図より、SOIが大きくなる(ラニーニャ現象が顕著になる)程、4ヶ月後の福岡市月降水量は平年に比べ減少する傾向にあることが認められる。次いで、同じ強いラニーニャで遅れ時間 $n=8,16$ ヶ月の散布図をそれぞれ図-10,11に示す。これらの図より、 $n=4$ ヶ月の場合とは逆に、SOIが大きくなる程福岡市月降水量が増加する傾向が見られる。最後に、強いエルニーニヨ(カテゴリー①)で遅れ時間 $n=2$ ヶ月の散布図を図-12に示す。この図より、SOIが小さくなる(エルニーニヨ現象が顕著になる)程、2ヶ月後の福岡市月降水量は平年に比べ(増加するというよりもむしろ)少雨が出現しにくい傾向にあることが分かる。

ここで得られたSOIと福岡降水量の有意な相関関係の気象物理的説明については、エルニーニヨ・ラニーニャ現象により、太平洋上の熱帯低気圧の発生位置が東西に移動し、それに伴う周囲の高気圧・低気圧分布(特に太平洋高気圧)がシフトすることに起因すると考えられる¹²⁾が、その福岡市降水への時間的遅れの影響など詳しいことは、現時点では不明であり今後の研究課題であると考える。

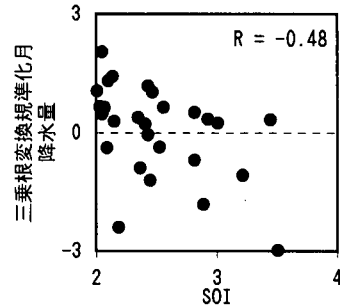


図-9 強いラニーニャ時における遅れ時間 $n=4$ ヶ月の三乗根変換規準化月降水量散布図

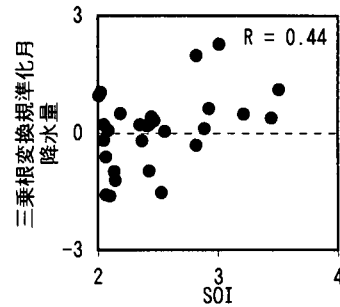


図-10 強いラニーニャ時における遅れ時間 $n=8$ ヶ月の三乗根変換規準化月降水量散布図

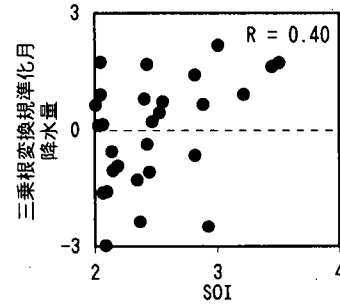


図-11 強いラニーニャ時における遅れ時間 $n=16$ ヶ月の三乗根変換規準化月降水量散布図

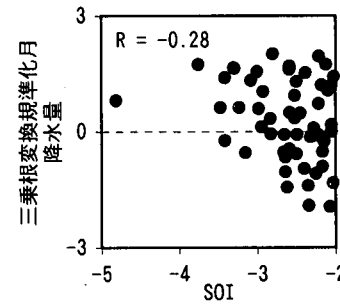


図-12 強いエルニーニヨ時における遅れ時間 $n=2$ ヶ月の三乗根変換規準化月降水量散布図

4. むすび

本論文では、110年間1320ヶ月の南方変動指数(SOI)と正規変換した後規準化した福岡市月降水量データを用いて、南方振動と福岡市月降水量との相関関係について解析・検討を行った。まず、南方振動の相関について考察を加え、相関係数そのものはそれ程大きくないものの極めて高い有意性を保持していることを示した。そして、SOIと降水時系列全体を対象とした場合、両者の相関は予想通りほとんどゼロであった。しかし、SOIをその大きさによって5つのカテゴリーに分類して、カテゴリー別に相関関数を算定するという単純な解析の結果、強いエルニーニョ・強いラニーニャのカテゴリーにおいて、有意な相関を抽出することができた。そして、例えば、強いラニーニャ時には、SOIが大きくなるほど、4ヶ月後の福岡市月降水量は平年に比べ少雨となる傾向にあること等を示した。従来、日本のような中緯度における気候要素とSOIとの明瞭な相関は得られていなかったが、本論文のようにSOIをカテゴリー分類することにより、日本の他の地域でも有意な相関が抽出される可能性があると考えられる。なお、本論文で得られた有意な相関関係のより深い原因については、今後の研究課題であるとする。

参考文献

- 1) 桜井邦雄：エルニーニョ現象の予測に向けて、日本に影響を及ぼす熱帯の気象、日本気象学会関西支部、pp.38-57,1998.
- 2) 気候影響・利用研究会編：エルニーニョと地球環境、成山堂書店、1999.
- 3) Kawamura, A., Mc Kerchar, A.I., Spigel, R.H. and Jinno, K.: Chaotic characteristics of the Southern Oscillation Index time series, *Journal of Hydrology*, No.204, pp.168-181, 1998.
- 4) Ropelewski, C.F. and Halpert, M.S.: Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation, *Monthly Weather Review*, Vol.115, pp.1606-1626, 1987.
- 5) Halpert, M.S. and Ropelewski, C.F.: Surface temperature patterns associated with the Southern Oscillation, *Journal of Climate*, Vol.5, pp.577-593, 1992.
- 6) Uvo, C.B., Repelli C.A., Zebiak S.E. and Kushnir, Y.: The relationships between tropical Pacific and Atlantic SST and northeast Brazil monthly precipitation, *Journal of Climate*, Vol.11, pp.551-562, 1998.
- 7) 吉野文雄：エル・ニーニョ現象と四国の月降水量の関係について、平成11年度土木学会四国支部研究発表会講演概要集、pp.90-91,1999.
- 8) 新田尚：新気象読本、東京堂出版、1988.
- 9) 西森基貴、吉野正敏：ENSO現象と台風の発生・発達・経路との関係、地理学評論、第63巻Ser.A、第8号、pp.530-540, 1990.
- 10) Yoshino, M. and Park, H.S.: Variations in the plant phenology affected by global warming, In: Glantz, M. et al. (eds.), *Climate change and plants in East Asia*. Springer-Verlag, pp.93-107,1996.
- 11) 河村 明：平成6年渇水—地域別の事例・福岡市—昭和53年福岡大渇水との比較、土木学会誌、第80巻、第9号、pp.96-97,1995.
- 12) Kawamura, A. and Jinno, K.: Integrated water resources management in Fukuoka Metropolitan Area, *Environmental Research Forum*, Vols.3&4, pp.97-109, 1996.
- 13) 河村 明、江口聡一郎、神野健二：南方振動指数(SOI)およびその気圧データの統計的特性について、水工学論文集、第45巻、pp.169-174, 2001.
- 14) Troup, A.J.: The "southern oscillation", *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, Vol.91, No.390, pp. 490-506, 1965.
- 15) McBride, J.L. and Nicholls, N.: Seasonal relationships between Australian rainfall and the Southern Oscillation, *Monthly Weather Review*, No.111, pp.1998-2004, 1983.
- 16) 河村 明、上田年比古、神野健二：降水時系列の長期的パターン変動の解析、土木学会論文集、第363号/II-4, pp.155-164, 1985.
- 17) 鈴木栄一、岡本雅典：降水量の分布とその正規化に関する2,3の問題、気象と統計、第6巻、第3号、pp.13-15, 1955.

(2001. 3. 23 受付)

CORRELATION BETWEEN SOUTHERN OSCILLATION AND MONTHLY PRECIPITATION IN FUKUOKA

Akira KAWAMURA, Soichiro EGUCHI and Kenji JINNO

The impacts of Southern Oscillation on climate are widespread and extend far beyond the tropical Pacific. However, the concrete influence is not so clear, especially in middle to high latitudes, including Japan. In this study, the correlation between monthly values of on one hand Southern Oscillation Index (SOI) and on the other hand normally standardized precipitation in Fukuoka, Japan, which is constantly exposed to high drought risk is investigated in detail using 110 years of data. For the original time series, no significant direct correlation is detected. However, statistically significant correlation coefficients are obtained when using SOI data categorized into five groups according to their magnitudes.