

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

STATISTICAL CHARACTERISTICS OF SOUTHERN OSCILLATION INDEX AND ITS BAROMETRIC PRESSURE DATA

河村 明¹・江口 聡一郎²・神野 健二³
Akira Kawamura, Soichiro Eguchi, Kenji Jinno

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)

The impacts of Southern Oscillation (SO) on climate are widespread and extend far beyond the tropical Pacific, a phenomenon known as teleconnection. The oscillation can be characterized by Southern Oscillation Index (SOI) which is derived from values of the monthly mean sea level pressure difference between Tahiti and Darwin, Australia. Its best-known extreme is the El Niño event.

In this study, general statistical characteristics of SOI and the data from which it is derived (i.e. mean sea level pressure data at Tahiti and Darwin) are presented as guidance when using SOI for other analyses. The characteristics include the availability of the barometric pressure data, statistics of monthly pressure data, correlation of SO intensity, frequency analysis of SOI by magnitude and by month (January-December), duration properties of SOI by run analysis.

Key Words : *Southern Oscillation Index, Tahiti, Darwin, pressure data, duration of SOI, frequency analysis, run analysis*

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で、海面水温が平年よりも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はラニーニャ現象と一般に呼ばれており、これらの現象はテレコネクションを通じて世界各地に異常気象をもたらすと考えられている^{1), 2)}。太平洋のエルニーニョ, 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) により数値化されている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⁾。

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)。著者らもこれまで, SOIのカオス的特性³⁾, SOIと福岡における降水・気温との相関について研究を行って

いる^{8)~11)}。しかし, SOIの元となる気圧データやSOIそのものの統計的特性は意外にも余り発表されていない。著者らは, これまでにSOI時系列の自己相関やスペクトル特性については発表している³⁾。本論文では, SOIの元となるタヒチ, ダーウィンにおける月平均海面気圧データの存在状況や欠測値, 補間値などのSOIを用いる上での基礎情報およびその統計的特性を検討する。次いで, SOIをその大きさによりグループ化した場合の発生頻度特性および月SOI時系列のエルニーニョ・ラニーニャ持続特性について検討を行い, SOIを用いる場合の有用なバックグラウンド情報を提供することを目的としている。

2. SOI基礎データの特性

(1) 気圧データの存在状況

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

表-1 タヒチにおける気圧データ欠測状況。

欠測期間	欠測月数
1892 年 9 月～1895 年 12 月	40 ヶ月
1906 年 3 月～1906 年 5 月	3 ヶ月
1906 年 12 月～1908 年 8 月	21 ヶ月
1914 年 4 月～1914 年 9 月	6 ヶ月
1914 年 11 月～1915 年 10 月	12 ヶ月
1921 年 3 月～1921 年 6 月	4 ヶ月
1927 年 6 月～1927 年 8 月	3 ヶ月
1931 年 8 月～1932 年 8 月	13 ヶ月

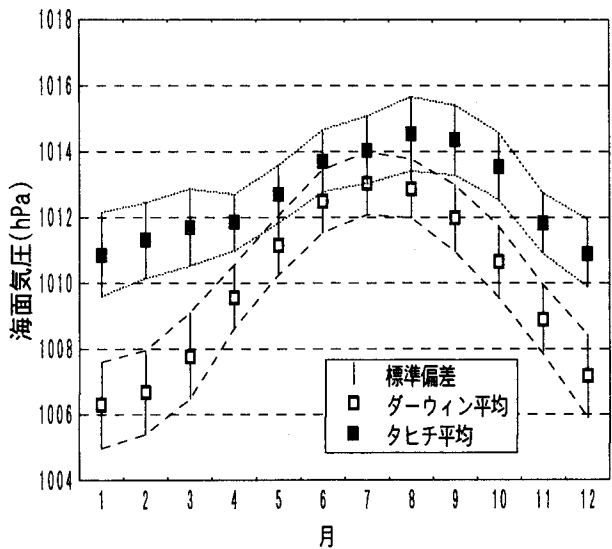


図-1 タヒチおよびダーウィンにおける月別平均気圧とその標準偏差。

130.9度、南緯12.4度) 両地点の気圧データより算定される。両地点の月平均海面気圧データは、1882年以降については、例えばアメリカ合衆国国立海洋大気庁ネットワーク情報センターのホームページより入手できる。この場合、ダーウィンのデータについては欠測はないものの、タヒチについては表-1に示す期間のデータが欠測している。Ropelewski and Jones¹²⁾ は新たに見つかったタヒチの古い気圧記録より、表-1の欠測期間のデータを補間し、1881年以前のデータを追加した。さらに、他地点との相関より、1866年からの連続データとしてタヒチの月平均海面気圧を補完した。またAllan *et al.*¹³⁾ は、新たに見つかった記録や相関解析により、ダーウィンの月平均海面気圧データを1866年からの連続データとして補完した。

以上により、本論文では1866年1月から1999年12月までの134年間(1608ヶ月)と長期間におよぶ両地点の連続した月平均海面気圧データを対象とした解析が可能となった。ただし、1935年より前のデータについては、それ以降のデータと比べ若干信頼性が低いものとなってい

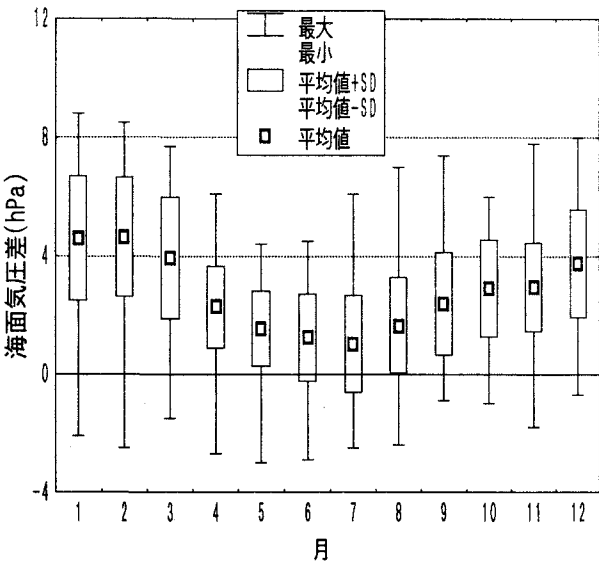


図-2 タヒチおよびダーウィンにおける月平均気圧差の月別平均とその標準偏差、最大最小の箱ヒゲ図。

る¹²⁾。なお、エルニーニョの発生についてはQuinn *et al.*¹⁴⁾により16世紀半ばまで遡って調べられている。

(2) 気圧データの特徴

図-1に、上記のタヒチとダーウィンにおける134年間の月別平均海面気圧とその標準偏差を示す。この図より、両地点とも日本の夏場に気圧が高く、冬場に気圧が低い。その月別平均気圧の差はダーウィンで6.8hPaあり、タヒチの3.7hPaに比べ倍近く大きい。標準偏差は両地点とも1～3月に大きく、それに続く4～6月に小さくなる傾向があることなどが分かる。図-2には、タヒチとダーウィンの月平均気圧差の月別平均、およびその標準偏差、最大最小の箱ヒゲ図を示す。この図より気圧差は、平均的にはどの月でも正であるが、日本の夏場には小さくなり、6、7月では(平均-標準偏差)の値が負となることが分かる。またどの月においても最小値は負となっている。なお、前述の信頼性の関係より、気圧差のデータを1935年で区切り、前半69年後半65年に分けた場合もチェックしたが、各月の平均値および標準偏差の値は両者でほとんど同じであり、その差は平均値で平均0.18hPa、標準偏差で平均0.13hPaであった。

次に、月平均海面気圧からの偏差時系列を最近20年間分について示したのが図-3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により発見され、南方振動(Southern Oscillation)と名付けられたものである²⁾。図-4にはこの月平均偏差値の全データ(1608ヶ月)をプロットしている。この図より、南方振動の相関係数は-0.26であり相関係数そのものは高くはないことが分か

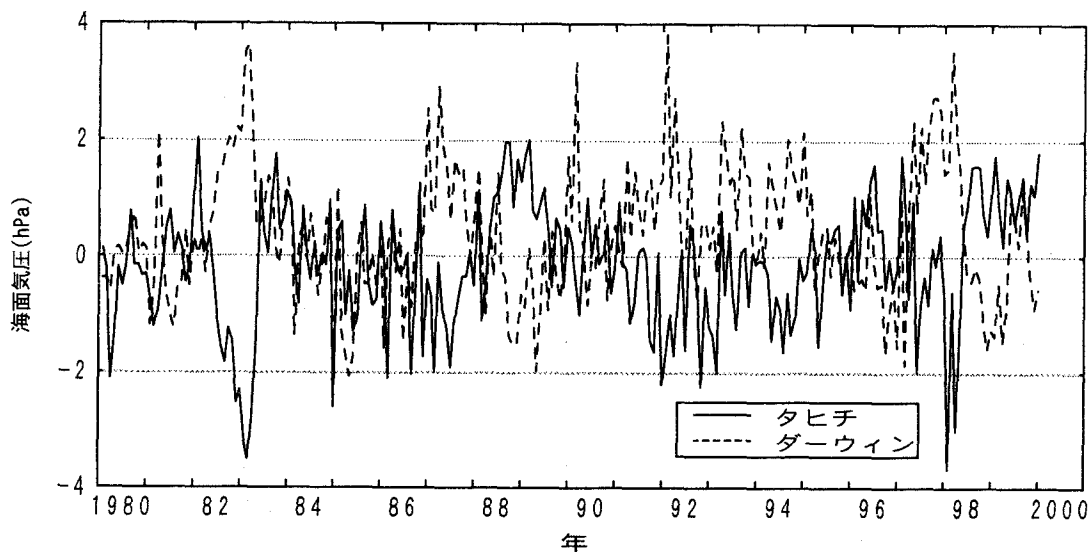


図-3 タヒチおよびダーウィンの月平均海面気圧からの偏差時系列(1980年1月～1999年12月)。

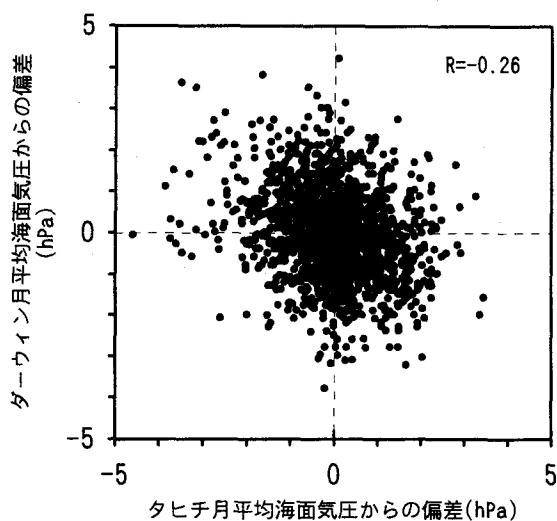


図-4 タヒチおよびダーウィンにおける月平均海面気圧からの偏差値のプロット。

る。しかし、この相関係数を相関係数=0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。すなわち相関係数-0.26は極めて有意であるといえるが、これはデータ数が多いためである。なおこの場合、興味深いことに、タヒチの平均偏差値と1ヶ月遅れのダーウィンの平均偏差値との相関係数(-0.29)が最大となったことを付記しておく。

3. SOIの統計的特性

(1) SOIの算定

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つが代表的であるが、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^{15),16)}を用いるが、この方法による、ある年 y 、ある月 $m(m=1月 \sim 12月)$ 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(図-2参照)の平均値(hPa)および標準偏差(hPa)である。式(1)に示すように $SOI(y,m)$ はタヒチとダーウィンの月平均海面気圧の差を平均0、分散1に標準化したものとして表される(ただし、標準偏差を10にする場合もよく用いられる^{17),18)})。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。

(2) 発生頻度特性

SOIをその大きさにより幾つかのカテゴリーに分類し、そのカテゴリー別にSOIと水文気象要素との関係が研究されている^{8)~11), 17), 18)}。ここではその場合の基礎となる、SOIの大きさによる発生頻度特性をみてみよう。図-5は1608ヶ月のSOIデータのヒストグラムである。期待通りほぼ正規分布となっているが、絶対値が(0~0.5)の場合を除き、いずれもマイナス側の度数の方が多くなっている。例えば、2以上の度数が34であるのに対し-2以下は69であり、エルニーニョ側の発生頻度の方がラニーニャ側のそれより高い。また、SOIの5ヶ月移動平均の時系列に対するヒストグラム(図-6)では、2以上の度数が8、-2以下のそれが25であり、絶対値が2以上の度数そのものは減少するものの、エルニーニョ発生頻度の増加傾向は

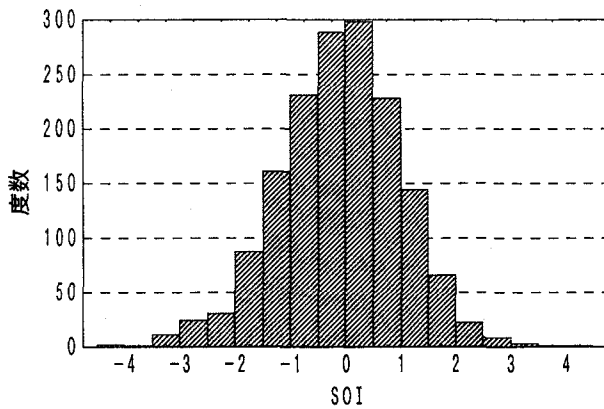


図-5 全SOIデータのヒストグラム。

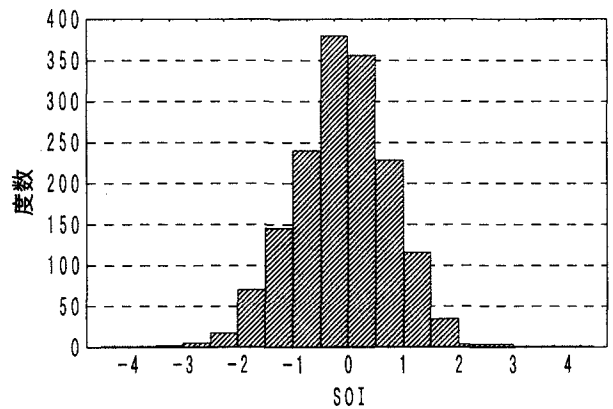


図-6 5ヶ月移動平均SOIのヒストグラム。

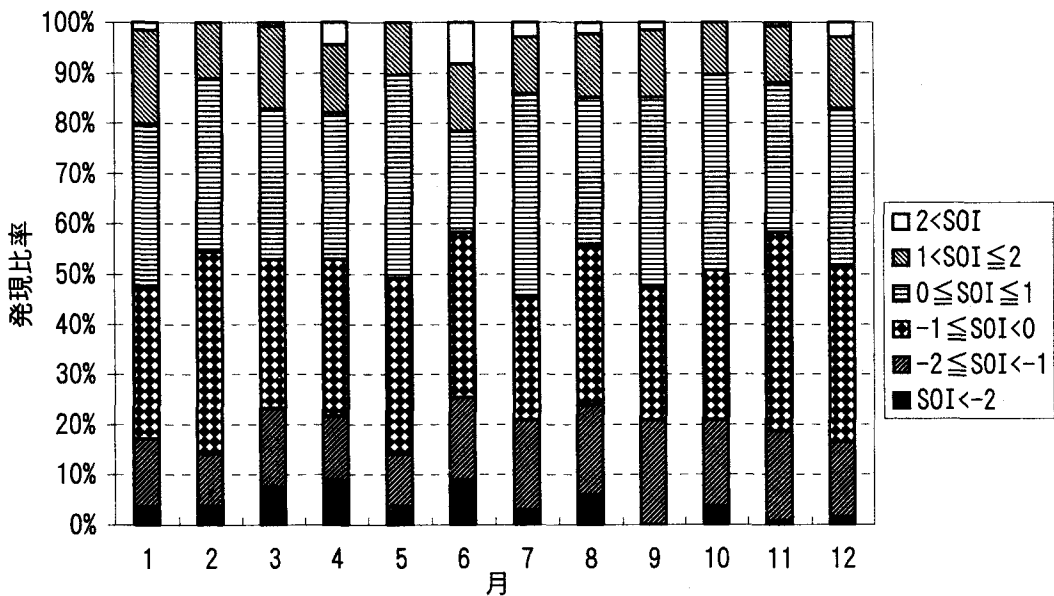


図-7 月別のカテゴリー別SOI発生頻度。

さらに顕著となる。ここで5ヶ月移動平均というのは、気象庁では、エルニーニョ監視海域の海面水温偏差の5ヶ月移動平均が6ヶ月以上続けて 0.5°C 以上高い場合をエルニーニョ現象、 0.5°C 以上低い場合をラニーニャ現象と呼んでいることを考慮したものである。

次に、月別にSOIの大きさ別発生頻度を示したものが図-7である。この図より、月に関係なくエルニーニョ、ラニーニャは発生しうると言えるが、特異なのは6月である。すなわち、6月はSOIが2以上の発生頻度が他の月に比べ極端に高く、また-2以下の発生頻度も4月と並んで最も高い。さらに、1以上-1以下の発生頻度も最も高く、SOIの絶対値が1以下の正常状態が他の月に比べ著しく少なくなっている。逆に、エルニーニョ、ラニーニャの発生が少ないのは2月と5月である。両月ともSOIが-1以下の度数が他の月に比べかなり少なく、また、SOIが2以上の度数は0で1以上の度数も少なくなっている（ちなみに10月も1以上の度数は同様に少ない）。残念ながら、これら月別発生頻度の特異性の理由は現時点では不明である。

(3) SOI時系列の持続特性

SOIの持続特性をみるために、ここでは、SOI時系列においてラニーニャ側である正の値が継続した月数で定義される正の連長（positive run length）およびエルニーニョ側である負の値が継続した月数で定義される負の連長（negative run length）をカウントした結果を図-8に示す。この図より、正の連長、負の連長ともに1ヶ月の度数が最も多く、継続月数が長くなるほど急激にその度数は小さくなる。正の連長、負の連長の平均継続月数はそれぞれ3.4、3.7ヶ月であり、エルニーニョ側の継続月数の方がやや長い。図-8における負の連長で33ヶ月という異常に長い継続は、1939年8月から1942年4月までのものである。また、1982年春～83年夏、1997年春～98年夏にかけての大規模なエルニーニョ現象の負の連長はそれぞれ13、14ヶ月であった。なお、それぞれの正の連、負の連に対するSOIの累積和である正の連和（positive run sum）、負の連和（negative run sum）を算定することにより、過去のエルニーニョ・ラニーニャの大きさが評価できるがこ

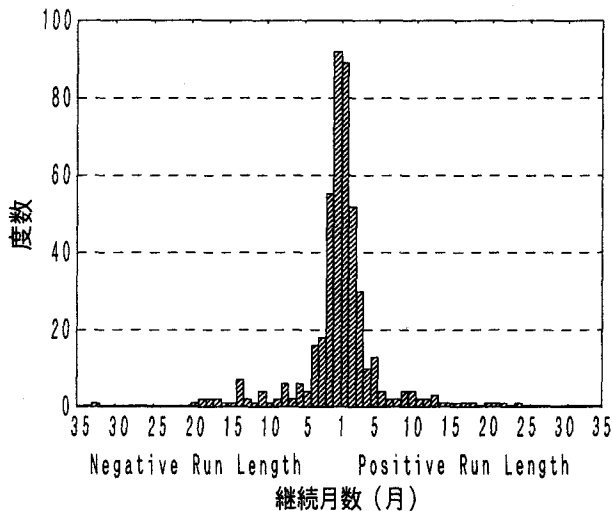


図-8 SOI時系列に対する正の連長(Positive Run Length),負の連長(Negative Run Length)の度数。

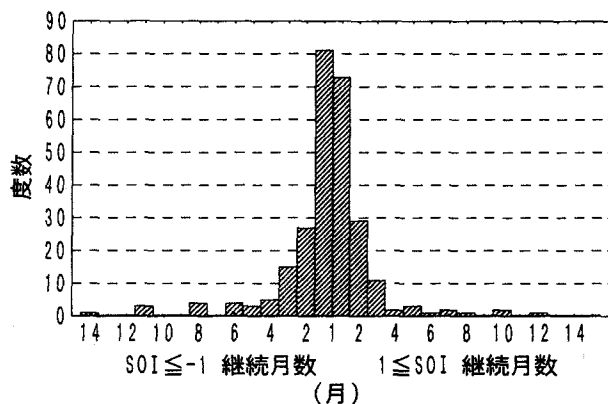


図-9 SOI時系列で絶対値が1以上の継続月数の度数。

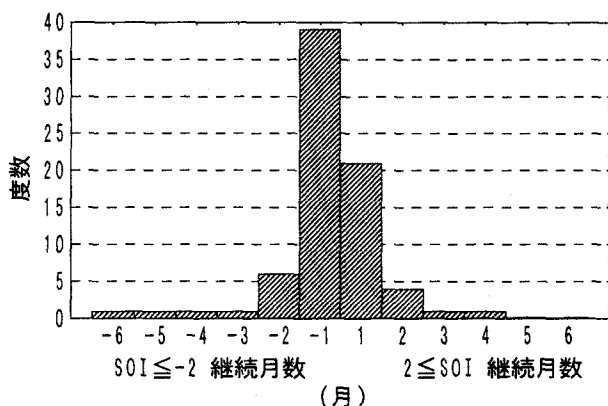


図-10 SOI時系列で絶対値が2以上の継続月数の度数。

こでは省略する。

次に、SOIの絶対値が1以上（エルニーニョ・ラニーニャ現象に相当）の場合について、同様な解析を行った結果を図-9に示す。この図より、絶対値が1以上の継続月数は、エルニーニョ側で最大14ヶ月（1997,98年のエルニーニョに対応）、ラニーニャ側で12ヶ月（1917年の

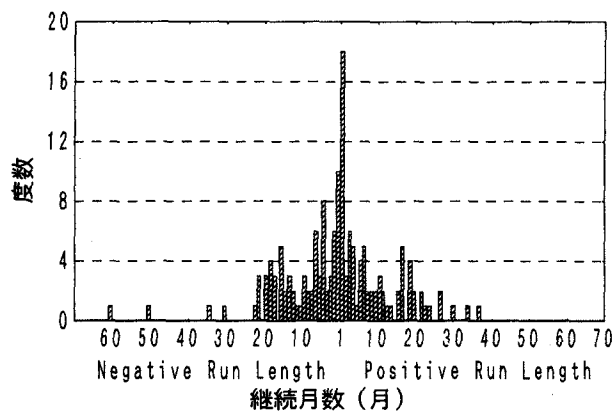


図-11 5ヶ月移動平均SOI時系列に対する正の連長, 負の連長の度数。

ラニーニャに対応) となっており、また、平均継続月数はエルニーニョ側・ラニーニャ側でそれぞれ2.2, 2.0ヶ月とエルニーニョ側が長くなる傾向がみえる。また、SOIの絶対値が2以上（強いエルニーニョ・ラニーニャ現象に対応）の場合（図-10）についても同様な解析を行ったが、エルニーニョ側の継続月数が大きい傾向は同様であった。

次に、5ヶ月移動平均SOI時系列に対する正、負の連の平均継続月数を図-11に示す。図-11より、図-8に比べ、正、負の連ともに1ヶ月の度数が最も多いのは同じであるが、全体的に継続月数が長くなり、短い継続月数の度数は激減している。この場合、継続月数1ヶ月の負の連の度数が正の連に比べかなり小さくなり、継続月数の増加によりその度数が単調には減少せずかなりばらつくようになる。正の連、負の連の平均継続月数はそれぞれ9.6, 11.2ヶ月であり、エルニーニョ側の継続月数が図-8の場合に比べより長くなっている。

またこの図の中で、エルニーニョ側の最大継続月数61およびその次の51は、それぞれ1990年8月、1911年3月から始まっている。そして図-8における負の連の最大継続月数33ヶ月に対応するものは、図-11では35ヶ月でありほとんど継続月数は増えていない。このように、SOI時系列とその5ヶ月移動平均時系列の正、負の連の大きさの順序に対する期間は余り対応していないことが分かった。

4. むすび

本論文では、まず、SOIの元となるタヒチ、ダーウィンにおける月平均海面気圧のデータの存在状況やその統計的特性を調べた後、SOIの発生頻度特性やSOI時系列の持続特性について検討を行った。その結果以下のような結論が得られた。

①SOIデータとしては若干信頼性は低下するものの

1866年1月より連続的に存在する。②タヒチ、ダーウィンにおける気圧は、両地点とも日本の夏場に高く冬場に低く、各月毎の平均気圧のレンジはダーウィンの方がタヒチに比べ倍近く大きい、そして、標準偏差は両地点とも1~3月に大きく、それに続く4~6月に小さくなる。③タヒチとダーウィンの月平均気圧差は、平均的にはどの月でも正であるが、日本の夏場に小さく冬場に大きくなる。④全データに対する南方振動の相関係数の絶対値は0.3以下であるが、統計的仮説検定の結果非常に高い有意水準を保持している。またこの場合、1ヶ月の遅れ時間をとった場合が最も相関が高くなる。⑤-2以下のSOI（強いエルニーニョ）の発生頻度は2以上のそれ（強いラニーニャ）に比べ2倍近い。⑥6月は、SOIの絶対値が2以上の発生頻度が他の月に比べ非常に高く、1以下の発生頻度はかなり低い。また、2月、5月はSOIの絶対値が1以上の発生頻度が他の月に比べかなり低い。⑦SOI時系列のPositive Run, Negative Runともに1ヶ月の度数が最も多く、継続月数が長くなるほど指数的に度数は小さくなるが、エルニーニョ側の持続性の方が長い。このことは、SOIの絶対値が1以上そして2以上の場合についても同様である。⑧5ヶ月移動平均SOI時系列に対する持続性については、継続月数が長くなっても発生頻度は指数的に小さくならずばらつき、エルニーニョ側の持続性の方がより強調される。⑨移動平均SOI時系列の継続月数の大きさの順序に対する期間は、オリジナルのSOI時系列のそれとは余り対応しない。

以上の結果はSOIに関する統計的特性の一部ではあるが、本研究が、SOIを水文気象データとの絡みなどで用いる場合の、バックグラウンド情報の提供に貢献することを期待する。

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., McKerchar, 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) 江口聡一郎，河村明，神野健二：南方振動指数(SOI)と福岡市月降水量との相関について，平成11年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，第二分冊 pp.178-179, 2000.
- 9) Kawamura, A., Eguchi, S. and Jinno, K. : Cross-Correlation Between Southern Oscillation Index and Precipitation in Fukuoka, Japan, *Supplement to EOS, Transactions, American Geophysical Union*, Vol.81, No.22, p.WP57, 2000.
- 10) 江口聡一郎，河村明，神野健二：南方振動指数(SOI)と福岡市月気温との相関について，水文・水資源学会2000年研究発表会要旨集，pp.120-121, 2000.
- 11) Kawamura, A., Eguchi, S. and Jinno, K. : Cross-Correlation Between Southern Oscillation Index and Precipitation /Temperature in Fukuoka, Japan, *Proc. of Fresh Perspectives Symposium 2000*, Christchurch, New Zealand, 2000.
- 12) Ropelewski, C.F. and Jones, P.D. : An extension of the Tahiti-Darwin Southern Oscillation index. *Monthly Weather Review*, No.115, pp.2161-2165, 1987.
- 13) Allan, R.J., Nicholls, N., Jones, P.D. and Butterworth, I.J. : A further extension of the Tahiti-Darwin SOI, early ENSO events and Darwin pressure, *Journal of Climate*, No.4, pp.743-749, 1991.
- 14) Quinn, W.H., Neal V.T. and Antunez de Mayolo, S.E. : El Niño occurrences over the past four and a half centuries, *Journal of Geophysical Research*, Vol.92, No.C13, pp.14,449-14,461, 1987.
- 15) Troup, A.J. : The "southern oscillation". *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, Vol.91, No.390, pp. 490-506, 1965.
- 16) McBride, J.L. and Nicholls, N. : Seasonal relationships between Australian rainfall and the Southern Oscillation. *Monthly Weather Review*, No.111, pp.1998-2004, 1983.
- 17) Moss, M.E., Pearson, C.P. and McKerchar, A.I. : The Southern Oscillation index as a predictor of the probability of low streamflows in New Zealand. *Water Resources Research*, Vol.30, No.10, pp.2717-2723, 1994.
- 18) McKerchar, A.I., Pearson, C. P. And Fitzharris B. B. : Dependency of summer lake inflows and precipitation on spring SOI. *Journal of Hydrology*, No.205, pp.66-80, 1998.

(2000.10.2受付)