

グローバルな海面水温とタイの降水量の長期変動

INTERANNUAL VARIATION OF GLOBAL SEA SURFACE TEMPERATURE AND PRECIPITATION IN THAILAND

沖 大幹*、虫明 功臣*

Taikan OK*, Katumi MUSIAKE*

北本 拓也**

Takuya KITAMOTO**

ABSTRACT ; Thailand locates in sub-tropics, and it has distinct rainy and dry season. The interannual variability of monsoon rainfall is extremely large, which sometimes causes drought and flood in this country. The prediction of the rainfall during rainy season is particularly important in this region, because the dominant agriculture here is paddy. The water deficit or surplus also sways a single or double crops of rice for the year in some particular areas.

For the better understanding of the interannual variability and the prediction of rainfall in Thailand, station raingauge data were collected and analyzed with sea surface temperature by lag-regression. Daily rainfall data from Meteorological Department of Thailand, and SST data from Japan Meteorological Agency were used in monthly scale. The results shows that there are statistically good correlation between them, especially at the Gulf of Thailand and in the tropical Atlantic Ocean. An operational rule using the difference to the former year is proposed and it can predict the excess and shortage of seasonal rainfall by 80% qualitatively. It was also shown that there is a good correlation of interannual variation between Southern Oscillation Index and the rainfall in Thailand.

Keywords ; Climate Variation, Water Resources Prediction, Climate System, ENSO

1 タイの稲作と降水量の年々変動

タイは東南アジアモンスーン地域の中でも緯度的には亜熱帯に位置し、顕著な雨季と乾期を持つ。米は重要な農業輸出品目であり広大な面積で栽培されている。太陽エネルギーは充分であるが降水量は年間 1,000mm 程度と豊富ではなく、水の確保が生産量を左右するため灌漑設備によって増産が図られている。これからもわかる通り雨季の降水量の多寡が米の生産量、ひいては国の農業経済に大きく影響を及ぼし、実際 1993 年は降水が少なく水不足が原因で不作となった。Bhumibol Dam や Sirikit Dam の貯水容量も減ったため、1994 年の水不足も懸念されており、適切な対策を立てるために、雨季降水量の予測情報をあらかじめ得ることが切望されている。

一方、気候システム研究が発展するに連れ、気候の年々の変動が大気海洋陸面相互作用の結果であることが強く認識されるようになりつつある。すなわち産業革命以降の二酸化炭素排出量の増加に伴ういわゆる地球温暖化の様な人工的な気候の変動だけではなく、エルニーニョ南方振動や、対流圏準二年振動の様に自励的な変動が気候システムには備わっていることが指摘される様になってきている^[1]。しかも、そうした変動にアジアモンスーンの活動が深く関わっていることが統計的には示されており、こうした変動を理解することによって、豊水年や渇水年をあらかじめ予測することも可能になると期待される。実際、オーストラリア東部の河川流量を近海の水面温度からある程度予測可能であることも報告されている^[2]。そこで、ここではタイの降水量の年々変動が地球規模の海面水温の年々変動とどのように関係しているかについて統計的に調査した結果を紹介する。

*東京大学生産技術研究所 Institute of Industrial Science, University of Tokyo

**森本組 Morimoto Gumi

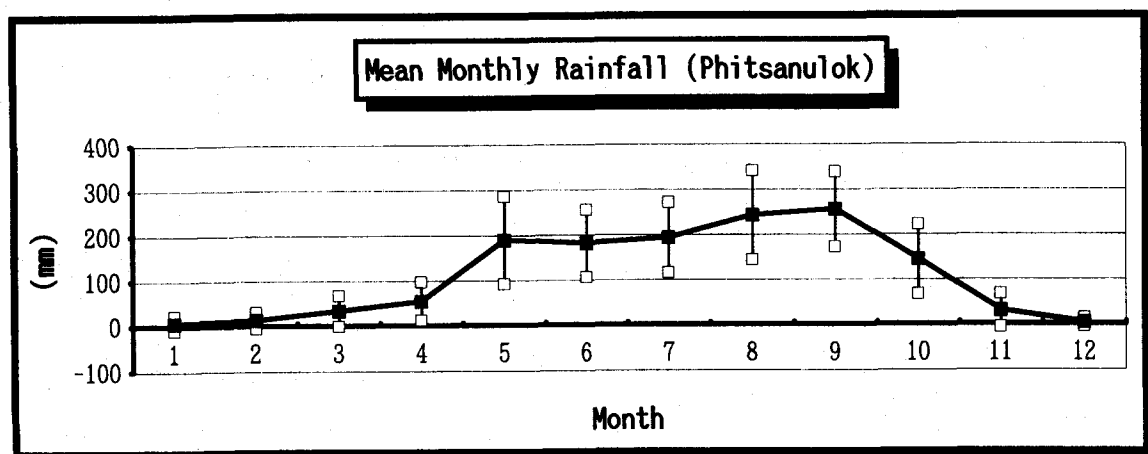


図 1: Phitsanulok における平均月降水量。各月の標準偏差分のバーを付している。

2 利用したデータ

2.1 タイの降水量

タイ気象局より 1951 年から 1988 年までの 38 年分の日降水量データの提供を受け、月降水量や年降水量に集計して利用した。ここで、欠測日が全観測日数の 5% を越える場合は集計降水量も欠測とした。Phitsanulok における平均月降水量の季節変化を図-1に示す。

南西モンスーンの影響を強く受けて 5 月から 10 月位までが雨季で、ほぼ毎月 200 mm 程度の降水がある。逆に 12 月から 3 月にかけてはほとんど降水は観測されない^[3]。各月の 38 年間のデータの標準偏差を平均値に加減したバーを図-1には付しているが、これを見ると 5 月の偏差が大きく、雨季の開始時期の年々変動が大きいことに対応しているものと考えられる。こうした季節変化は、タイ中央部ならびに東北部についてはほぼ同様であるが、南部の半島部では逆に北半球冬の北東モンスーンによる降水量の方が多くなり、パターンは全く異なる。Phitsanulok の平均月降水量変化に対する相関係数を示した図-2にはそうした傾向が現われている。同様の関係を気温について調べると、地域間の違いはなく地点間の相関は軒並み 0.9 を越え、Thai についても降水量が気温に比べて地域性の高い量であることが明らかになった^[4]。

また、平均月降水量と 38 年間のデータから求められた各月の標準偏差をプロットしたのが図-3である。両者には比較的良好な相関が見られるが、月降水量が 50 mm 程度までと 100 mm 以上とではその傾きがかなり異なっている。すなわち、平均月降水量が多い月ではその年々変動は約 30-50% 程度であるのに対して平均月降水量が少ない月の場合には標準偏差がその 100% 程度もあって年による違いが相対的には大きいことがわかる。

2.2 全球海面水温データ

ここでは、気象庁海洋課のデータを利用させていただいた。南緯 80 度-北緯 80 度の範囲について、緯度経度 2 度メッシュで月平均の海面水温が解析されている。資料期間は 1946 年以降である。

3 降水量の年々変動

図-4は、年降水量の経年変動を、同じく Phitsanulok について示したものである。ただし、毎年の値 r_i の平均値を $\bar{r}$ 、分散を r' として

$$R_i = \frac{r_i - \bar{r}}{r'} \quad (1)$$

と正規化した値で示している。この場合平均年降水量は 1,349 mm、標準偏差は 214 mm である。太い実線で 5 年移動平均の値も示すが、こうした長期傾向が空間的にどのように分布しているかを調べるため、5 年移動平均の値が正か負かを各地点について並べたものが図-5である。図-2に示す位置を参照すると、Chaing Mai, Phitsanulok, Nakhon Sawan という北部～中部、Roiet, Ubon Ratchathani, Surin という北東部 + Bangkok、そして Prachuap Khiri Khan, Surat Thani, Songkhla, Narathiwat という南部で明らかに長期変動のパターンが異なっていることがわかる。例えば、1970

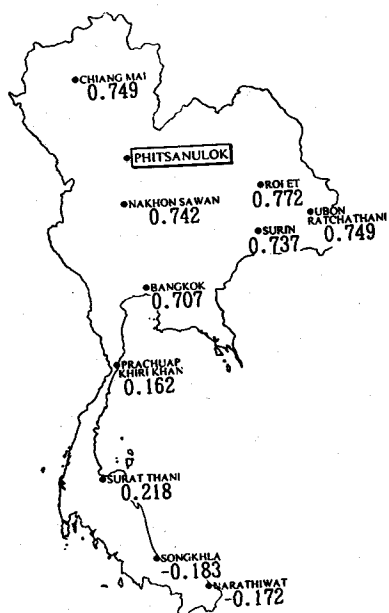


図 2: 平均月降水量季節変化の Phitsanulok に対する相関係数

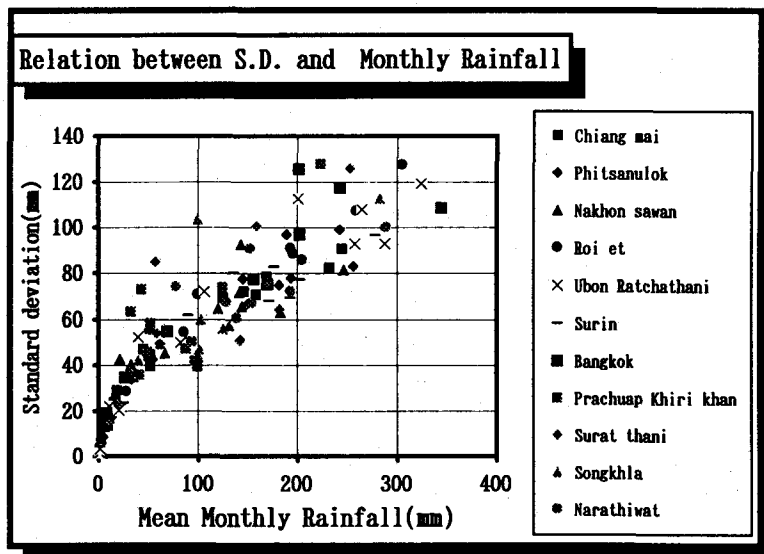


図 3: 平均月降水量と各月の標準偏差との関係

年代後半以降、中北部と南部では寡雨傾向であるのに対し北東部では多雨となっている。次章ではこうした変動を海面水温の変動に結び付けることを考える。

4 タイの降水量と海面水温との関係

ここでは、中北部でほぼ同様の季節変化、年々変動を示す 3 地点 (Chaing Mai, Phitsanulok, Nakhon Sawan) 平均の雨季 (5-10 月) の降水量を取り上げ、タイの降水量とする。これらの地点はいずれも Chao Phraya 川流域内にあり、このタイ最大の河川に対する降水量は稲作などに強い影響を及ぼすため、タイの渇水・洪水の指標として適切であると考えられる。

これに対してタイ近海ならびに全球の $30^{\circ} \times 30^{\circ}$ グリッドの各地点における海面水温の時系列を対応させ、ラグ相関係数を求めた。平均降水量・海面水温ともにそれぞれの時系列を正規化し、トレンドを除去した。さらに海面水温については 5 カ月の移動平均操作を行なった。

雨季の降水量に対して前後計 36 カ月のラグをとった結果が図-6である。ここではタイ近傍でもっとも相関の良かった

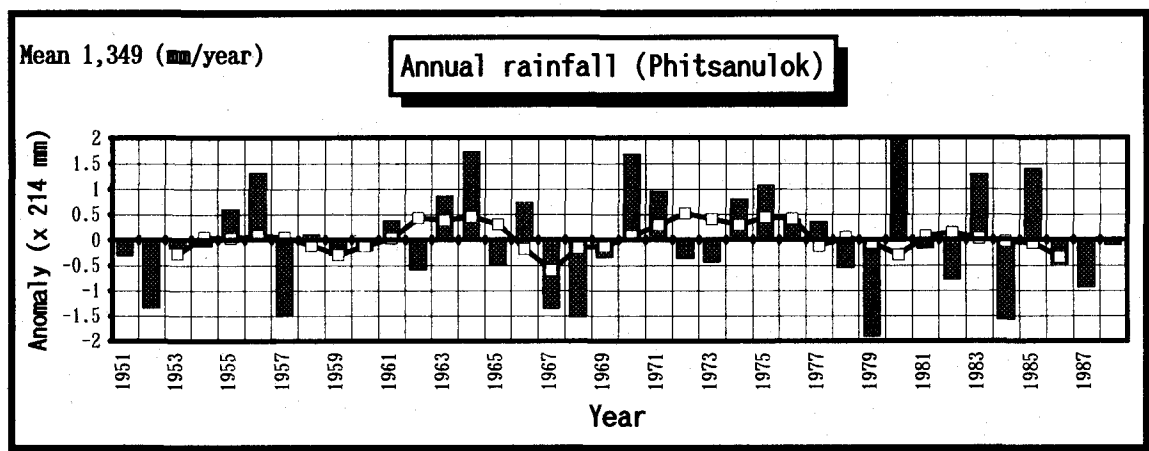


図 4: Phitsanulok における年雨量の年々変動。平均値と分散とで正規化した。太い実線とプロットは 5 年移動平均。

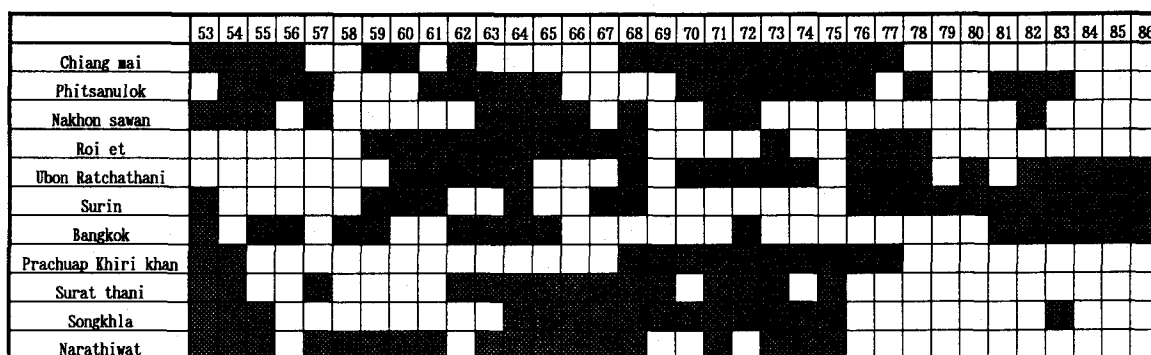


図 5: 各地点について、年降水量の 5 年移動平均値が平年値よりも正 (黒) か負 (白) であることを示す。

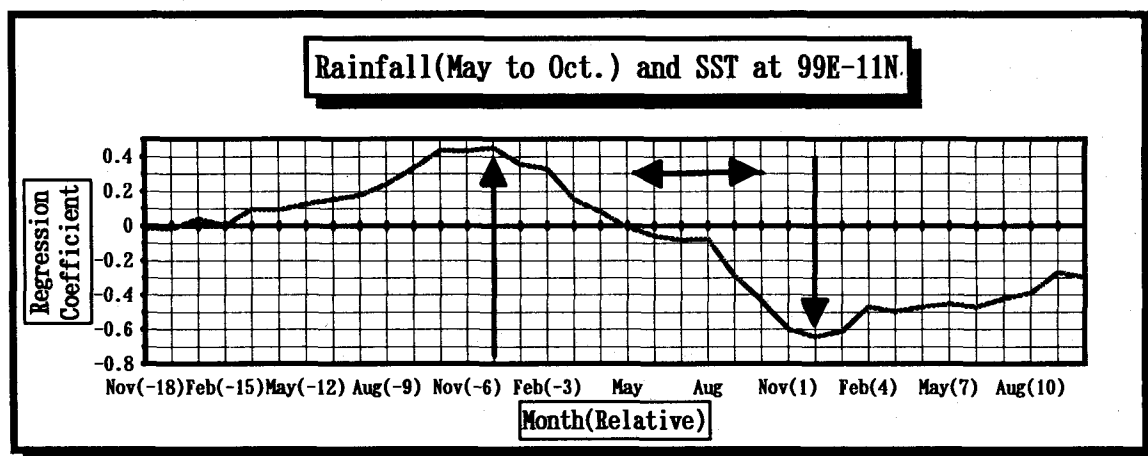


図 6: タイの雨季 (5-10 月) の降水量と 99°E-11°N 地点の海面水温とにおける年々変動のラグ相関係数。

99°E-11°N というタイ湾内の地点の例を示している。雨季に先立つ 12 月ごろの海面水温に対しては弱い正の相関があり、雨季直後の 12 月ごろは逆相関となっている。ここでは移動平均をとっているため目安程度であると考えられるが、全く独立な 38 個のデータ同士の場合、相関係数は 0.412 を越えれば棄却水準 0.01 で有意である。面白いことには、雨季の最中、5-10 月の海面水温との間にはほとんど相関が見られない。これは、タイの雨季の降水量の年々変動が近海の海面水温の変動で決まるような local な現象ではなく、より大きなスケールの、アジア (南西) モンスーンの年々変動の様な現象の反映であり、その一端がこの降水量データに現われているのだということを示唆するものであろう。

水資源管理的な立場からは、雨季に先行して降水量を予測することが重要である。図-7に前年 12 月の海面水温と雨季の降水量との年々変動を示す。必ずしも両者の変動が一致しているわけではなく、こうした 1 説明変数だけで定量的な予測を行なうことは難しい。そこで、定性的な予測判断基準を次の様に設けることを考案する。すなわち、この場合正の相関なので、「前の年の 12 月の海面水温がそのさらに前年よりも高ければその年の雨季の降水量は、前年よりも多い」という判定基準を定める。この基準に沿った予測の適合度を評価したのが図-7の下の方の○と×である。この例では 37 回の判定中 29 回 (約 80%) も適合しており、定性的とはいえ充分役に立つ情報が提供できるものと考えられる。実際の適用を考えてみても、海面水温の 5 カ月平均操作が不可欠であっても 3-4 月には情報が揃うはずであり、こうした予測判断手法は実用可能であると期待される。

全球の海面水温に対する同様の解析結果をまとめたのが図-8である。相関係数の絶対値の最大値と、その値を与える相対的な月を示す。全ての地点について調べたわけではないので断定的なことは言えないが、亜熱帯の東太平洋付近を除いて、雨季の後に最大値がある場合にはほぼ負の相関、逆に雨季の前には正の相関となっていることがわかる。

予測的な立場で見ると、遠く離れた大西洋赤道上に雨季に先立つ弱い正の相関があって、その近傍で探したところ、図-9に示す 11°W-1°S 地点における前年 12 月の海面水温に対しては相関係数が 0.499 という高い値を示し、図-7と同様の予測判断基準を設けると、70% 弱的中率となった (図略)。もし、図-6の様に雨季の前後ちょうど 1 年を隔てて符合の違う相関があって、それが充分高ければ 2 年周期となるはずであるが図-9に見るように大西洋上については雨季後の海面水温との間には強い相関はない。最後に、気候システムにおけるこうした年々変動の中でも顕著なエルニーニョ現

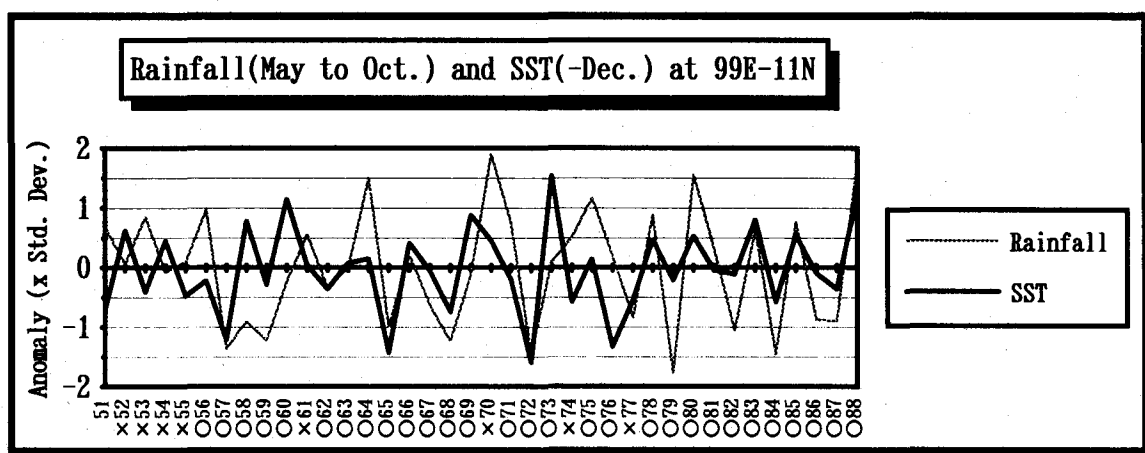


図 7: タイの雨季(5-10 月)の降水量とその前年の 99°E-11°N 地点の海面水温における年々変動の対応。○×は本文中に提案した雨季の降水量の定性的な予測基準の適合度を示す。

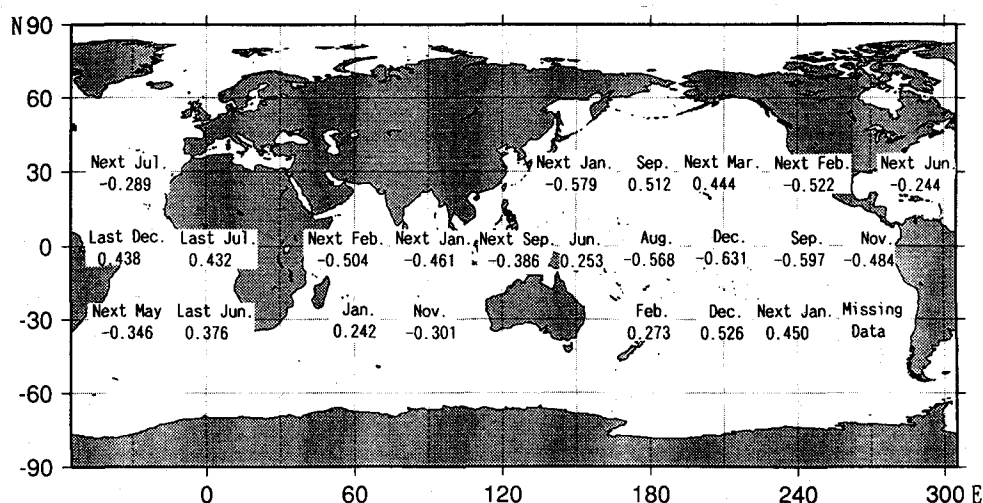


図 8: タイの雨季(5-10 月)の降水量と海面水温の年々変動のラグ相関係数。その絶対値が最大となる相対的な月とその値を示す。

象との関係を示す。ここでは海面水温ではなく Darwin と Tahiti の正規化された海面気圧差である南方振動指標 (SOI) を筑波大学の富田智彦博士より提供^[5]いただいで同様にラグ相関を求めた。図-10にその結果を示すが、SOI は SST と傾向が一致するよう符合を逆転させてある。ここでは雨季后に負の相関があって、タイの降水量が少なかった年には SOI が小さい、すなわちエルニーニョ傾向となり易いということになる。従ってタイの場合には、エルニーニョ年には渇水となり易いということとは言えても、時間的順序としてはエルニーニョになったから渇水、というわけではなく、むしろ逆であることがわかる。

5 おわりに

以上の様に、海面水温の情報に対して適切な判断基準を与えることにより、定性的ながらも高い精度でタイにおける雨季の降水予測が可能であることが示された。タイと大西洋上の海面水温を結び付けることには無理があるように思えるかも知れないが、どちらかが原因でどちらかが結果というのではなく、どちらもが気候システムの自然変動の結果が現われていると考えるのがむしろ「自然」であろう。

今後は、全球の海面水温に対して相関をとって対応関係の詳細な分布図を作成するとともに、気温や流出、積雪、そして可能ならば土壌水分など他の要素についても調査し包括的な知識を得ることによって、気候の自然変動の理解、引いては水資源予測の向上につながるものと期待する。

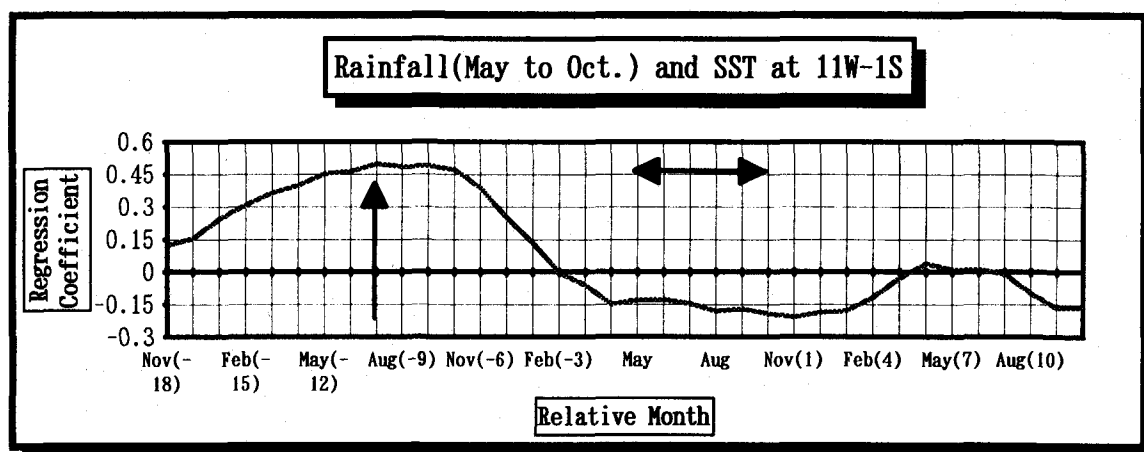


図 9: タイの雨季 (5-10 月) の降水量と $11^{\circ}\text{W}-1^{\circ}\text{S}$ 地点の海面水温とにおける年々変動のラグ相関係数。

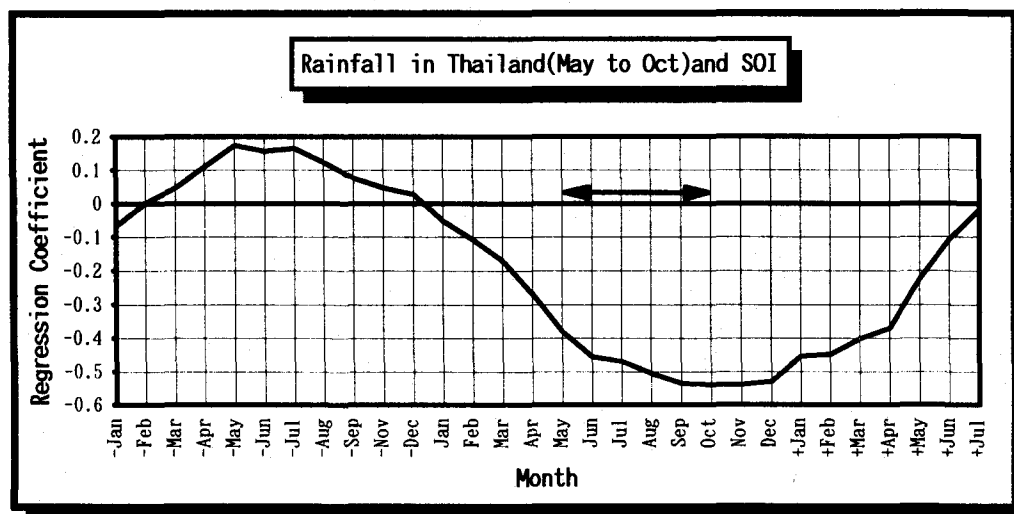


図 10: タイの雨季 (5-10 月) の降水量と南方振動指標 (正負逆転) との年々変動のラグ相関係数。

謝辞

海面水温は気象庁海洋課が作成したデータセットを、東京大学気候システム研究センターの新田勲教授を通じて利用させていただきました。タイの降水量はタイ国気象局より、南方振動指標のデータは筑波大学の富田智彦博士より提供させていただきました。また、この研究は文部省国際学術研究「東南アジア熱帯地域の水文・水資源特性と流域管理 — タイとマレーシアの調査研究 —」(代表: 椎貝博美、筑波大学教授) によりました。ここに記して深甚なる感謝の意を表します。

参考文献

- [1] T. Yasunari and Y. Seki. Role of the Asian monsoon on the interannual variability of the global climate system. *J. Met. Soc. Japan*, Vol. 70, No. 1, pp. 177-189, 1992.
- [2] H. J. Simpson, M. A. Cane, A. L. Herczeg, S. E. Zebiak, and J. H. Simpson. Annual river discharge in southeastern Australia related to El Nino-Southern Oscillation forecasts of sea surface temperatures. *Water Resour. Res.*, Vol. 29, pp. 3671-3680, 1993.
- [3] 沖大幹, 虫明功臣, 増田耕一. 大気水蒸気収束量と流域水収支との対応 — チャオブラヤ川での事例解析. *水工学論文集*, Vol. 35, pp. 679-682, 1991.
- [4] 沖大幹. 気候・気象から見た国土の特徴. *日本土木史*. 土木学会, 1994. 印刷中.
- [5] T. Tomita and T. Yasunari. On the two types of ENSO. *J. Meteor. Soc. Japan*, Vol. 71, No. 2, pp. 273-284, 1993.