

地球温暖化後の台風予測の可能性

POSSIBILITY OF TYPHOON PREDICTION AFTER GLOBAL WARMING

筒井純一* 向川有理江**
Jun'ichi TSUTSUI, Yurie MUKOUGAWA

ABSTRACT; To predict the behavior of typhoon tracks and the frequency of typhoon formations after global warming from a climatological point of view, the relations between these typhoon properties and SSTs are investigated. Objective classification method of typhoon tracks is developed for the description of complicated tracks.

Composite charts of typhoon tracks during El Niño/La Niña events show that formation points are located more southerly during El Niño events. The existence of the most suitable SST range for typhoon formations is suggested by the correlation analysis on the basis of monthly mean data. It is showed by lagged-correlation analysis between annual frequency of formations and monthly SST anomaly that positive anomaly of high SST area is related to many intensive typhoon formations.

KEYWORDS; Typhoon, tropical storm, global warming, El Niño event.

1. はじめに

台風は地球上での最も激しい気象擾乱であり、その強風や豪雨によってさまざまな気象災害を引き起こす。台風のエネルギー源は熱帯地方の暖かい海からの蒸発によって大気に与えられる水蒸気であるため、温暖化によって全球規模で海面水温 (Sea Surface Temperature; SST) が上昇すれば、それに伴って台風も現在より巨大なものが発生する可能性がある。1959 年の伊勢湾台風以来、わが国では防災施設が完備され、以降の台風による人的被害は激減したが、将来の温暖化によって台風の強度やわが国への来襲頻度が増加するならば、現在の構造物の設計指針や防災施設などを今一度見直す必要が出てくる。

温暖化時の台風予測に関する研究としては Emanuel(1987) が注目される。彼は台風を一種の熱機関と見なして SST と台風の中心気圧とを関係づけるモデルを考案し、気候モデルによって推定された CO₂ 濃度倍増時の SST 分布を用いて、温暖化時の理論的な台風強度の地域分布を推定した。そして、温暖化すると SST の上昇に伴い台風もますます強大化するという結果を示している。しかしながら台風の発生・発達には SST 以外にも様々な気象要素が影響しており、それらをすべて加味した予測を行うには、十分な信頼性と解像度をもつ気候モデルによるシミュレーションが必要となる。杉・佐藤 (1993) は高解像度の全球気候モデルを用いて台風をシミュレートすることに成功しており、今後モデルの精度が向上し、計算機の発達による長期ランの実施が可能となれば、温暖化時の台風予測の有力な手段となると考えられる。

一方、将来の台風を予測するためには、過去の気象資料を解析して、台風に関する諸統計量の変動要因を明らかにすることも重要である。このような視点での研究は、数カ月あるいは 1~2 年先の台風予報という社会的な要請もあり、これまで多くの研究例がある。例えば Aoki(1985) は、近代的な気象観測が行われるようになってからの気象資料を収集し、台風の発生や日本への来襲についての様々な気候学的特性を明らかにしている。また、河田 (1991) は歴史資料を用いた解析を通じて、長期的な気温変化と台風特性との関係を推定することを試みている。本研究においては、特に台風の移動経路を客観的に取り扱う方法を開発して、さらに詳細な資料解析を行い、温暖化が起こった場合の台風の予測技術の向上を図ることとする。

* (財) 電力中央研究所水理部 Hydraulics Department, Central Research Institute of Electric Power Industry

** (株) 電力計算センター Denryoku Computing Center, Ltd.

表 1: 転向型・西進型の条件

転向型
x_i が最小の点が極小点
$\min(y_i) < p_y < \max(y_i)$
標準偏差は 2.0 より小さい
西進型
極大・極小点が存在しない
$r > 0$ のとき $\max(y_i) < p_y$
$r < 0$ のとき $\min(y_i) > p_y$

表 2: 1951～1988 年までの台風の月別分類結果

月	総数	転向数	西進数	発生点	最発達点	消滅点	転向点
1	19	4	5	(146.6, 8.7)	(141.4, 11.4)	(136.7, 14.7)	(134.0, 13.9)
2	10	3	2	(137.5, 10.0)	(135.8, 12.2)	(132.0, 13.9)	(127.7, 13.9)
3	18	4	4	(149.0, 8.1)	(146.9, 12.7)	(143.7, 16.6)	(147.1, 16.4)
4	27	13	4	(142.6, 9.4)	(136.2, 13.1)	(138.8, 22.3)	(131.2, 16.7)
5	37	21	2	(132.6, 12.4)	(130.4, 16.9)	(135.2, 26.5)	(128.0, 18.6)
6	64	25	17	(128.6, 15.3)	(124.9, 18.6)	(126.6, 27.2)	(123.8, 21.4)
7	142	28	60	(135.7, 17.8)	(129.9, 21.3)	(126.0, 28.8)	(130.8, 28.5)
8	196	55	52	(138.6, 19.6)	(133.7, 23.9)	(131.7, 31.1)	(132.2, 29.1)
9	175	80	34	(139.2, 18.4)	(133.5, 22.5)	(133.8, 30.2)	(138.0, 26.4)
10	147	56	34	(138.4, 14.9)	(131.9, 18.8)	(134.1, 26.9)	(137.0, 22.7)
11	89	34	20	(137.7, 11.4)	(128.6, 14.8)	(127.3, 20.4)	(131.0, 19.0)
12	48	16	10	(141.4, 10.7)	(132.0, 13.8)	(131.7, 17.1)	(128.8, 16.2)

2. 解析に用いた資料

台風の発生、強度、および移動に関する資料は、気象庁の太平洋台風センター(大西, 1991)でまとめられた「台風ベストトラックデータ」である。これは 1951 年から 1991 年までの各台風についての 6 時間ごとの位置と中心気圧からなり、最近の台風については最大風速や暴風域、強風域なども含まれる。

SST 資料は 1940 年 1 月から 1989 年 4 月までの $2 \times 2^\circ$ 間隔で与えられた全球の月平均値である。これは GFDL (米国流体力学研究所) や NOAA (米国海洋大気庁) で解析された資料をもとに、気象庁海洋課がまとめたものである。元データはいずれも船舶およびブイによる観測値であり、衛星データによる解析値は含まれていない。

3. 台風移動経路と SST との関係

3. 1 台風移動経路の客観的分類手法

台風の移動経路は、迷走して複雑な動きをするものもしばしば見られるが、一般的には発生してから西ないし西北西に進んだ後、そのまま中国大陆の方に向う西進型と北西から北寄りに向きを変える転向型とに大きく分けられる。特に日本へ来襲する台風については転向点を予測することが重要である。そこで、個々の台風の複雑な移動経路から季節あるいは年毎の特徴を抽出するために、以下に述べるような方法を用いて、転向型または西進型と見なせる台風を選び出す。

(経度, 緯度) で示される台風の位置を (x, y) で表すことにする。まず、個々の台風について 6 時間ごとの時系列として与えられる (x_i, y_i) を、放物線 $x = p + qy + ry^2$ で近似することを試みる。ここで台風としては 24 時間以上台風強度 (風速 17.2m/s 以上) であったものとし、さらに放物線から大きくはずれる原因となる高緯度の情報を取り除くため、40N より北側の点は解析対象から除外する。近似放物線の係数 p, q, r は x 方向の誤差の 2 乗和が最小となるように決定し、これから定まる近似放物線の頂点を (p_x, p_y) とする。また放物線の適合度の指標として、各点から近似放物線までの距離の rms 値を標準偏差として用いる。

このようにして得られた頂点および標準偏差、それに経路中の x に関する極大・極小点の有無に関して、表 1 に示す条件を設定して、転向型および西進型の台風を抜き出す。これらの条件に合致しないものは蛇行したりループを描いたり一般に複雑な経路をたどるが、ここでは転向型と西進型のみに限定して議論を進める。

3. 2 月別平均移動経路の特徴

1951 年から 1988 年までの約 1000 個の台風について、転向型と西進型に分類した結果を表 2 に示す。表中の発生点、最発達点、消滅点、それに転向点は、それぞれ台風強度に達した点、最低中心気圧を示した点、台風強度以下になった点、それに最も西にきた点であり、数値は転向点以外は全台風の平均の (東経, 北緯) である。また、台風数の多い 6 月から 11 月までについて、全台風、転向型および西進型台風の平均移動経路をその月の平均 SST とともに図 1 に示す。図中、それぞれの平均の発生点、最発達点、および消滅点を○, ☆, および●で示す。これらの図表から次のような特徴が現れる。

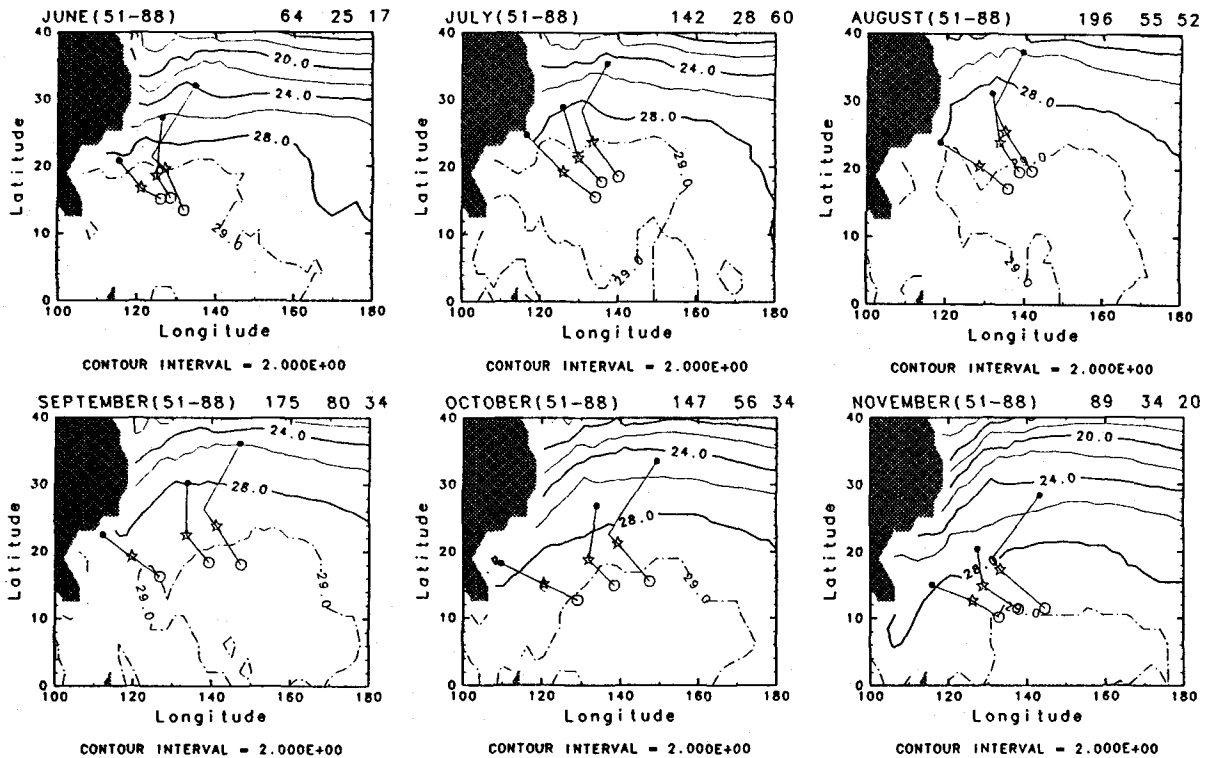


図 1: 転向型および西進型の月別平均移動経路

- 転向する台風が多いのは8月から10月にかけてであるが、総数に占める割合が高いのは4, 5, 9月である。7月には西進型の割合が極めて高く、全体の42%を占める。
- 平均転向点は2月頃に最も南、8月に最も北に位置するといった季節変化をする。経度方向には3月に最も東、6月に最も西に位置する。
- 発生点は SST が28度以上の領域にある。転向点は概ね28度の等温線の近くにある。
- 最も発達した点は転向点のやや南にあることが多い。
- 西進する台風については転向型の南西に位置することが多い。

また、日本へ影響をおよぼす台風の特徴を調べるために、Aoki(1985)の方法によって南西諸島を含む日本に接近・上陸した台風のみを選び出し、同様な調査を行った。その結果、接近・上陸台風が最も多かったのは8月で総数の約6割にものぼり、日本に影響する台風には転向型が多く含まれることなどが確認された。これらの特徴は今まで知られていた台風の気候学的特徴をよく反映したものであり、転向型・西進型のどちらにも含まれない台風もかなり多いものの、ここで行った客観的分類法に基づく以降の議論の妥当性が評価できる。

3.3 エルニーニョが台風経路におよぼす影響

数年程度の周期をもつ大気・海洋の変動としてエルニーニョ現象が挙げられる。これまで台風経路との関係については、Aoki(1985)等で、エルニーニョ年には発生位置や経路は通常より東に移り、九州や南西諸島に接近する台風も少ないことなどが知られている。ここでは転向型と西進型に分けて、エルニーニョ現象に対応する移動経路の年変化を調査してみる。

気象庁予報部(1988, 1989)に従い、エルニーニョ年を1951, 53, 57, 63, 65, 69, 72, 76, 82, 87年とし、その反対のラニーニャ年を1954, 64, 67, 70, 73, 75, 84, 88年とする。エルニーニョ年とラニーニャ年のそれぞれについて、すべての台風、夏期(7-9月)の台風、それに日本へ接近・上陸した台風に関する平均経路を図2に示す。ラニーニャ年では転向型・西進型を問わず発生点は北寄りである。経路については西進型ではエルニーニョ/ラニーニャで違いは見られないが、転向型ではラニーニャ年で東寄りとなり、転向点も北側に移るとい

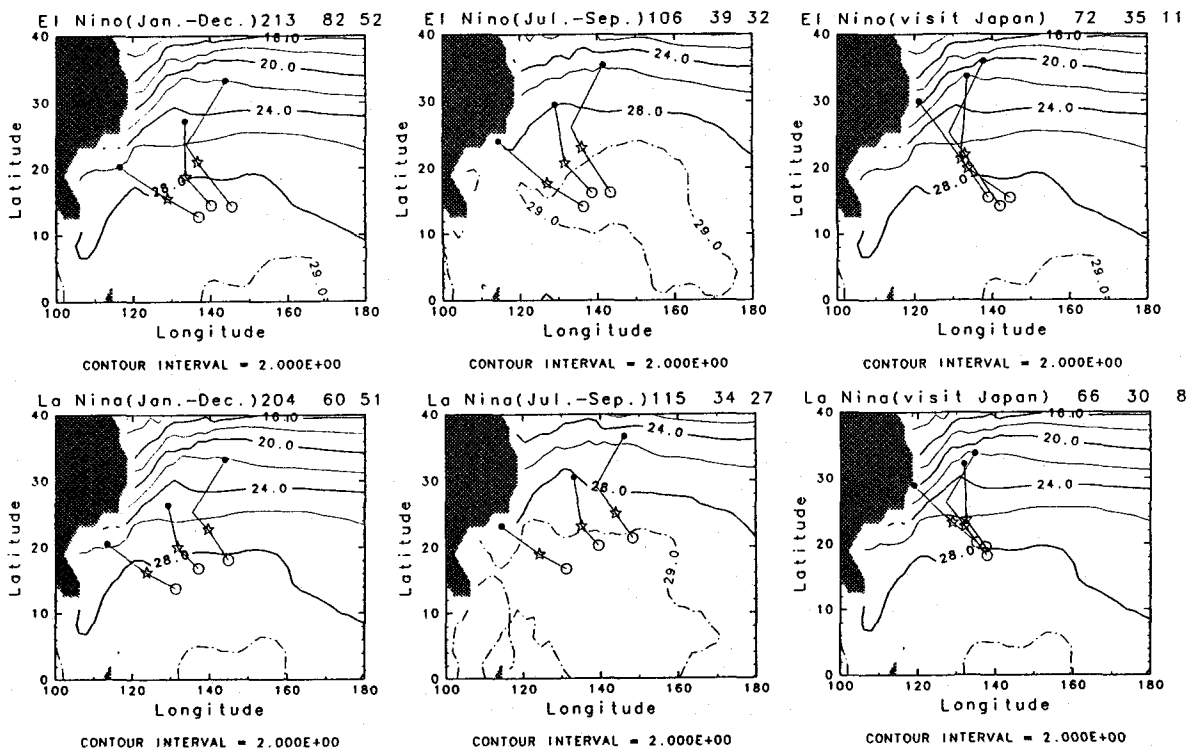


図 2: エルニーニョ年・ラニーニャ年の平均移動経路 (上段がエルニーニョ年, 下段がラニーニャ年で, 左から順にすべての台風, 夏期の台風, 日本へ接近・上陸した台風)

う特徴が見られる。また、これらのことは通年よりも台風シーズンにおいて顕著に現れる。

4. 台風発生数と SST との関係

SST 変化が台風におよぼす影響として、Wendland(1977) は SST がある値以上の領域の面積が台風発生数に関係していることを示している。Aoki(1985) は 2 年前の秋の SST と台風数との相関が高く、東太平洋 SST とは正相関、北太平洋 SST とは負相関があることを示し、エルニーニョとの関連性を指摘している。さらに Wu and Lau(1991) による気候モデル結果の解析からもエルニーニョと台風との関係が議論されており、エルニーニョ年には通常より台風の発生は少なく、ラニーニャ年ではその逆であることなどを示している。ここでは高 SST 面積と台風数との関係をさらに詳細に調査するために、面積を計算する海域の範囲や SST しきい値を変化させて、台風発生数との相関解析を行った。

まず、SST の季節変化が台風発生数におよぼす影響を確認するために、月台風数と種々のしきい値に対する高 SST 面積との相関係数を計算した (表 3)。ここでの面積の計算対象領域は北太平洋西部 (100E~180E, 0N~40N) である。一般にしきい値の上限が 30°C または上限がない場合には相関は高く、しきい値上限が 28°C 以下となると負の相関となり、高 SST 領域が広い時に台風も多く発生することを表している。ところが、29°C 以上の面積との相関がそれほど高くないことや、高 SST 領域に 30°C 以上の面積を加えた場合には相関が小さくなる傾向を示すことから、SST が高ければ高いほど台風の発生が多くなるとは限らないようである。したがって現在の気候システムでは、台風の発生に最適な SST 域があることが示唆される。

次に、特定の月の SST が台風数におよぼす影響を検討するために、北太平洋西部と北太平洋全域 (100E~80W, 0N~40N) のそれぞれの海域において、SST があるしきい値を越える領域の面積に関する 38 年平均からの偏差を月毎に求め、年発生数との相関解析を行った。図 3 および図 4 にそれぞれ年発生数および顕著台風 (中心気圧 980hPa 以下) の年発生数と各月の高 SST 面積偏差とのラグ相関を示す。ここで 0, -1, -2 のラグ相関は、それぞれ同年, 前年, 前々年の SST 面積との相関であることを表し、図には相関係数の値が 5% の

表 3: 月台風発生数と高 SST 面積との関係

Y\X	22	23	24	25	26	27	28	29	30
23	-0.459								
24	-0.503	-0.351							
25	-0.533	-0.470	-0.436						
26	-0.560	-0.519	-0.506	-0.465					
27	-0.558	-0.558	-0.544	-0.527	-0.520				
28	-0.556	-0.528	-0.512	-0.492	-0.465	-0.339			
29	0.227	0.285	0.327	0.381	0.456	0.576	0.661		
30	0.806	0.814	0.813	0.811	0.801	0.783	0.754	0.599	
-	0.796	0.803	0.802	0.799	0.788	0.769	0.740	0.573	0.112

X °C 以上 Y °C 以下の SST 面積と
月台風数との相関係数

5%有意水準 0.09

1%有意水準 0.12

水準で有意と認められるもののみを示した。年発生数との相関について、北太平洋全域および西部に共通の特徴として、7月の23～25°C以上面積が通常より大きいとその年の台風数は多く、6月の30°C以上面積についてはその逆であることが挙げられる。これは台風シーズンの直前にSSTが25～30°Cの領域が広いとその年の台風数が多くなることを表しており、最適SST域に対応したものと考えられる。また、2年前の10月の29°C以上面積とも高い正の相関が現れており、Aoki(1985)の結果とも一致している。北太平洋西部のみの特徴としては、1年前の春の高SST面積と負の相関があることが挙げられる。顕著台風の発生数については、北太平洋西部のSSTとは目立った相関は現れないが、北太平洋全域のSSTとは同年、前年とも正の相関がある。したがって、広い海域にわたってSSTが高い領域が大きい時には強い台風が多く発生するといえる。

さらに発生点とSSTとの関係を見るために、図5に発生点の経度および緯度の年平均と、北太平洋全域に対する各月の高SST面積偏差とのラグ相関を計算した結果を示す。一般的な傾向として、高SST域が広がると発生点が南東に移動することがわかる。

5. おわりに

本研究で得られた主要な結論は次の通りである。

1. 複雑な台風経路を客観的に記述する手法を提案し、その妥当性を評価した。
2. ラニーニャ年には台風発生点は北偏し、転向型台風の経路は東よりとなることが認められた。
3. 台風の発生には最適なSST域が存在する可能性が指摘された。
4. 最適SST域と考えられる海域が夏に通常より広いとその年の発生数は多いことが示された。
5. 高SST域が北太平洋全域にわたって広がると、発生点は南東に移動し、また、強い台風が多く発生することが示された。

以上のことは高々40年程度の観測資料に基づいた結果であり、地球温暖化というもっと長期的な、しかも人為的要因による気候変動が生じた場合にも成立するかどうかは現時点においては明確でない。今後の観測資料の充実、およびそれらの解析結果の理論的裏付けを担う数値モデルによるシミュレーション技術の向上によって、温暖化後の台風気候値は徐々に明らかにされるであろう。

謝辞: 台風資料は太平洋台風センターの大西氏より、またSST資料は気象庁海洋課より提供して頂いた。また京都大学防災研究所の光田教授からは研究全般にわたって貴重なご意見を頂戴した。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 大西晴夫, 1991: 熱帯低気圧に関する国際協力の現状と台風特別実験について. 天気, 38, 739-746.
- 河田恵昭, 1991: 台風特性に及ぼす長期的な気温変化の影響. 海岸工学論文集, 931-935.
- 気象庁予報部, 1988: 熱帯の対流活動と日本の天候. 昭和63年度長期予報研修テキスト.
- 気象庁予報部, 1989: 熱帯の対流活動と日本の天候II. 平成元年度長期予報研修テキスト.
- 杉正人, 佐藤信夫, 1993: 気象庁全球モデルを高分解能大気大循環モデルとして用いてシミュレートされた台風. 1993年春期大会講演予稿集, 日本気象学会, 印刷中.

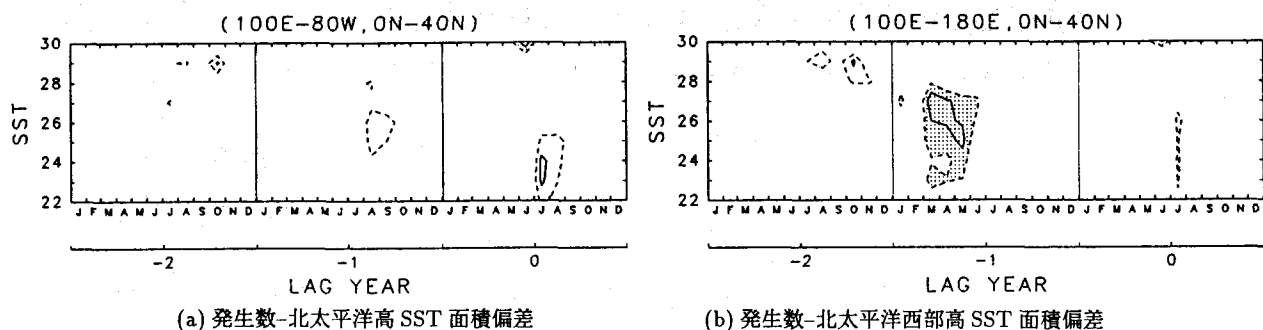


図 3: 年発生数と各月の高 SST 面積偏差とのラグ相関 (破線: 5%有意水準 (± 0.32), 実線: 1%有意水準 (± 0.41), ハッチをかけたところは負の相関であることを表す)

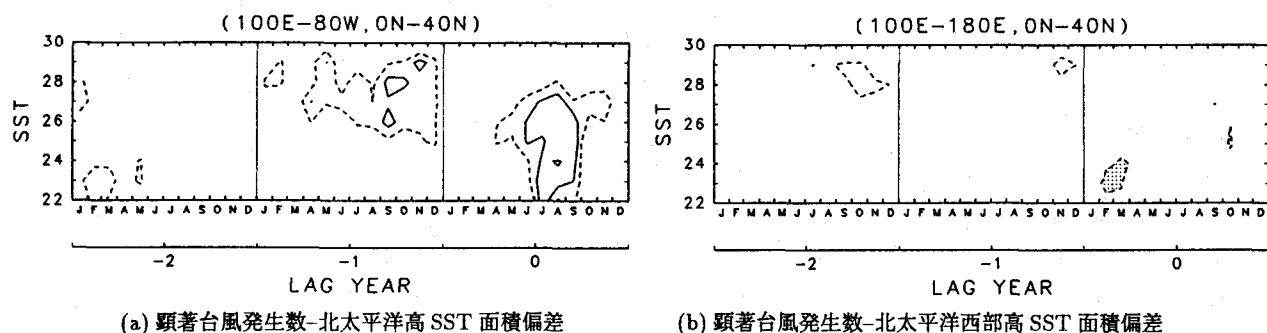


図 4: 顕著台風の年発生数と各月の高 SST 面積偏差とのラグ相関 (破線: 5%有意水準 (± 0.32), 実線: 1%有意水準 (± 0.41), ハッチをかけたところは負の相関であることを表す)

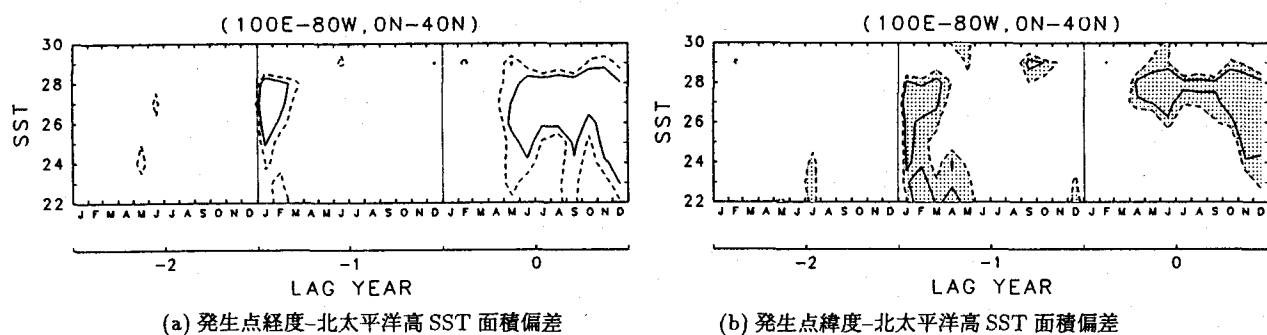


図 5: 年平均の発生緯度/経度と各月の高 SST 面積偏差とのラグ相関 (破線: 5%有意水準 (± 0.32), 実線: 1%有意水準 (± 0.41), ハッチをかけたところは負の相関であることを表す)

Aoki, T., 1985: Climatological study of typhoon formation and typhoon visit to Japan. *Papers in Meteorology and Geophysics*, **36**, 61-118.

Emanuel, K. A., 1987: The dependence of hurricane intensity on climate. *Nature*, **326**, 483-485.

Wendland, W. M., 1977: Tropical storm frequencies related to sea surface temperatures. *Journal of Applied Meteorology*, **16**, 477-481.

Wu, G. and N.-C. Lau, 1992: A GCM simulation of the relationship between tropical-storm formation and ENSO. *Monthly Weather Review*, **120**, 958-977.