

台風期における西日本の波浪に関する研究

坂 井 紀 之*・岡 田 弘 三**

本研究では、統計的手法によってエルニーニョ現象と台風活動の関係を調べるとともに、日本全国に分布する気象庁の沿岸波浪計について、台風期における有義波高および有義波周期に関して統計解析を行い、エルニーニョ年とラニーニャ年の波浪特性の違いを調査した。その結果、エルニーニョ年はラニーニャ年に比較して台風発生数はやや少ないが、比較的強い勢力の台風が特に西日本の南海上に長期間存在することが確認された。また、両年の台風活動の違いによって、西日本の太平洋沿岸ではラニーニャ年に比較してエルニーニョ年の波高が高く、周期の長い波の頻度が高いことが明らかにされた。

1. はじめに

近年、地球温暖化やエルニーニョ現象、北極振動等、地球規模の気候変動が明らかにされてきている。気候変動に伴い、台風や低気圧等の気象擾乱の活動も少なからず変化すると考えられる。また、気象擾乱の活動が年々変化することにより、海域の風の場合や波浪場もそれに応じて変化すると考えられる。波浪の経年変化の特徴が気候変動等の外因的な要素に深く関係がある場合には、それを明らかにすることによって、海洋土木事業の計画・遂行、港湾・海岸施設の運用、波浪エネルギーの利用等に関して効率化を図ることが可能となる。本研究は、気候変動の一つとされるエルニーニョ現象と日本の南海上における台風活動の関連性を明らかにし、台風活動が日本の太平洋沿岸の波浪特性に与える影響について考察することを目的としている。

2. エルニーニョ現象と台風活動

(1) 既往の研究

エルニーニョ現象は、南米のペルー沖から中部太平洋赤道域にかけて、2～7年おきに海面水温が平年に比べて1～2℃、時には2～5℃も高くなり、半年から1年半程度継続する現象である(気象庁, 2002)。

エルニーニョ現象と台風発生数の関係については古くから研究されている。Aoki (1985) は、エルニーニョ年には台風発生数が25個/年となり、非エルニーニョ年の28個/年に比較して少ないことを指摘した。また、Chan (1985) はエルニーニョの前年と当年の台風発生数を比較し、1985年までのエルニーニョ年のうち、1976年を除くすべての年の台風発生数が前年よりも減少していることを示した。しかし、Lander (1994) は、台風発生数と太平洋東部熱帯域の海面水温の間に有意な相関関係はないことを示している。

エルニーニョ年の台風活動の大きな特徴の一つは台風の発生位置の変化であると言われている。エルニーニョ

現象が発生すると、例年、インドネシア付近に存在する暖かい水域が太平洋中央部に移動し、これに伴って対流活動の中心も東へ移動する。Lander (1994) は、エルニーニョ年には対流活動域の移動に伴って、台風の主な発生位置が東に変位することを示した。また、Chan (1985) は、エルニーニョ年には東経160°以西、北緯20°以南の台風発生数は減少し、ラニーニャ年には増加することを示した。

エルニーニョ現象と台風の発生数や発生位置に関する研究は多いが、台風の強度や経路との関係を論じた研究は数少ない。その中の一つが西森ら(1990)である。彼らは、エルニーニョ年には強い台風の発生する割合が多いことを示し、エルニーニョ年の春・秋には日本本土へと北上する台風が多く、夏には大陸へ西進する台風が多いことを明らかにした。これに関しては、エルニーニョ年の特に春と秋には日本付近への太平洋高気圧の張り出しが弱いことが原因として考えられている。

近年は、数値モデルによって台風の再現が可能となり、統計的な解析よりもむしろ、モデル実験が実施されてきている。例えば Matsuura ら(1999) は、大気海洋結合モデルにより、エルニーニョ年の夏季には北太平洋西部赤道域の500 hPa 高度において低気圧性の風の偏差となるため台風は西進しやすいくことを示している。今後はエルニーニョ現象時の台風の特徴に関して物理メカニズムが明らかにされると期待されている。

以上のように、エルニーニョ現象に伴って、北太平洋西部の対流活動の中心位置が変化すること等により、台風の発生位置が南東偏し、台風の強さや移動経路が変化することが大きな特徴と言える。また、エルニーニョ年の台風発生数は減少する傾向にはあるが、減少の程度は小さいと考えられている。

(2) 解析手法およびデータ

既往の研究は、1990年代前半までに行われたものが多い。一方、その後1997年、2002年にエルニーニョ現象が発生した。特に1997年の現象は観測史上最大規模と言われている。また、台風の強度や存在位置に関しては研究例が少ない。そこで、本研究では新たなデータを加えて

* 学術修 (財)日本気象協会 新潟支店
** 正会員 理 博 (財)日本気象協会 首都圏支社

解析することによって、エルニーニョ現象と台風活動の関連性をより明確にする。

熱帯低気圧の活動と気候変動の関連については、北大西洋において発生するハリケーンに関する研究が多い。その中の1つである Landsea ら (1999) は、エルニーニョ現象の指標として Nino 3.4 海域 (太平洋東部赤道域の南緯 5°～北緯 5°および西経 170°～西経 120°に囲まれた海域) の海面水温偏差に着目し、高温年・低温年それぞれの上位 25% に相当する年のハリケーンの活動の差異を統計的手法によって評価した。本研究では、彼らの手法を太平洋西部の台風に適用した。

気象庁はエルニーニョ監視海域を Nino 3 海域 (太平洋東部赤道域の南緯 4°～北緯 4°および西経 150°～西経 90°に囲まれた海域) としているため、本章では 1951 年～2002 年の 52 年間ににおける台風期 (7～11 月) の Nino 3 海域の海面水温 (以後、Nino 3-SST) が正偏差となる上位 13 年 (上位 25%) をエルニーニョ年 (以後、EL 年)、負偏差となる年の上位 13 年をラニーニャ年 (以後、RA 年) と定義した。なお、Nino 3-SST については CPC (Climate Prediction Center) のデータを使用した。また、台風データについては気象庁のベストトラックを使用した。Nino 3-SST と同様に台風に関しても対象期間を台風期 (7～11 月) としており、以降の文中の「年平均值」「年間」あるいは「1 年あたり」等の表記は、実際にはこの期間を指している。

(3) 解析結果

表-1 に、EL 年と RA 年の台風活動を示す。気象庁では中心付近の最大風速が 17.2 m/s 以上の熱帯低気圧を台風と定義している。表中の台風活動の指標は、以下の通りに定義されている。

台風発生数：気象庁の定義による 1 年あたりの台風の発生数。

台風発生数 [970 hPa 以下、920 hPa 以下]：大西洋の Hurricanes と Intense Hurricanes > Level 3 の強度に相当する、それぞれ中心気圧が 970 hPa 以下、920 hPa 以下に発達した台風の発生数。

台風日数：各年の台風について 6 時間毎のデータから存在した回数をカウントし、積算回数を 1 年あたりの日数に変換した値。同時に 2 つの台風が存在している場合は 2 回とカウントした。

台風日数 [970 hPa 以下]：970 hPa 以下の勢力を維持している期間についてカウントした台風日数。

平均強度：各台風の中心気圧の最低値の年平均值。

最大強度：年間を通じた中心気圧の最低値。

発生位置：各台風の発生した緯度経度の年平均值。

表-1 には、EL 年、RA 年それぞれの年平均值を示すとともに、t 検定により両年の差の有意性を評価し示し

表-1 EL 年と RA 年の台風活動

台風活動の指導	平均	高温年/低温年の比較			相関係数
		EL 年	RA 年	差の有意性	
台風発生数	21.0	18.3	22.3	**	-0.30
台風発生数 (970 hPa 以下)	11.1	11.2	9.8		0.18
台風発生数 (920 hPa 以下)	2.7	3.2	2.8		0.29
台風日数	114.0	126.9	99.9		0.25
台風日数 (970 hPa 以下)	44.3	60.6	31.1	**	0.43
平均強度 (hPa)	960.4	954.2	964.4	***	-0.52
最大強度 (hPa)	900.4	900.8	898.8		-0.04
発生位置 (北緯)	17.3	15.9	18.6	***	-0.63
発生位置 (東経)	137.5	141.0	136.0	***	0.47

有意水準：*** 99% ** 95% * 90%

た。また、全統計期間のデータを用いた Nino 3-SST と台風活動の各指標の相関係数も併記した。

台風発生数は、RA 年に比較して EL 年はやや少ない傾向にあり、その差は 95% 水準で有意である。しかし、大西洋のハリケーンの勢力に相当する強い台風の発生数に関しては両年の差は有意とは言えない。台風日数については両年の差は有意ではないが、中心気圧 970 hPa 以下の強い台風に限ると、台風日数の差は 95% 水準で有意であり、RA 年に比較して EL 年は勢力の強い台風が長期間存在していると言える。また、最大強度については両年の差は有意ではないが、平均強度の差は 99% 水準で有意であり、RA 年に比較して EL 年は強い台風の割合が多いと考えられる。この結果は西森ら (1990) に一致している。台風の発生位置に関しても両年の差は 99% 水準で有意であり、EL 年は RA 年に比較して台風の平均的な発生位置は南東に変位すると考えられる。この結果は、Lander (1994) および Chan (1985) に一致している。

次に、中心気圧が 970 hPa 以下に発達した台風の存在位置についての解析を行った。図-1 は EL 年および RA 年における緯度経度 10°格子毎の 970 hPa の勢力を維持した台風日数である。図中には EL 年、RA 年それぞれの年平均值とともに、t 検定により両年の差の有意性を評価し示した。沖縄近海、日本の南海上、フィリピンの東方海上では両年の台風日数の差は有意であり、これらの海域においては、EL 年には RA 年に比較して勢力の強

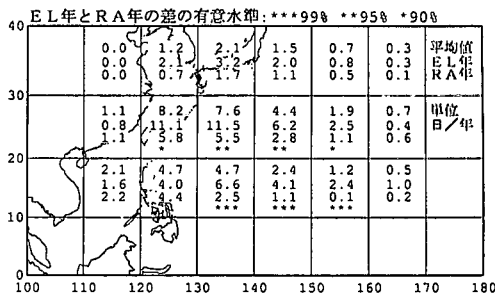


図-1 台風日数の平面分布

い台風が長期間存在すると言える。特に西日本の南海上の北緯20°~30°および東経130°~140°の海域には、EL年：11.5日に対し、RA年：5.5日であり、その差は顕著である。

近年のデータを加えて解析した上記の結果から、EL年はRA年に比較して台風発生数はやや少ないが、比較的強い勢力の台風が特に西日本の南海上に長期間存在することが確認された。

3. 台風期における日本の波浪特性

(1) 解析手法およびデータ

前章で述べたように、EL年とRA年の台風活動が異なるため、その差が特に西日本の太平洋沿岸の波浪特性にも表れていると考えられる。そこで、本章ではEL年とRA年の台風期における日本の沿岸の有義波高と有義波周期の特性について解析を行い、両年の差を明らかにした。

解析には気象庁の沿岸波浪計のデータを用いた。図-2に沿岸波浪計の設置位置を示す。また、表-2に各波浪計の観測開始日を示す。

解析対象期間は各波浪計の観測開始日から2001年までの7~11月である。沿岸波浪計は、観測開始当初3時間毎に1日8回観測を実施していたが、1980年代半ば~1990年始めにかけて毎時観測に切り替わった。本研究ではできるだけ長期間の均質なデータを使用したいため、全観測期間について3時間毎のデータを用いて解析を行った。また、沿岸波浪計の観測は早いものでも1976年からであるため、本章では1976年~2001年における台風期(7~11月)のNino 3-SSTが正偏差となる上位

表-2 気象庁沿岸波浪計の観測開始日

松 前	1979. 1. 1	尻羽岬	1985. 4. 1
温 海	1981. 3. 1	江ノ島	1978. 4. 1
経ヶ岬	1976. 5. 1	石廊崎	1976. 4. 1
鹿 島	1984. 4. 1	佐喜浜	1977. 7. 1
福江島	1980. 4. 1	佐多岬	1982. 3. 1
		喜屋武岬	1983. 2. 1

6年をEL年、負偏差となる年の上位6年をRA年と再定義した。

(2) 解析結果

a) 有義波高

表-3にEL年、RA年およびそれら以外の年における有義波高の統計値を示す。

表-3 EL年、RA年における有義波高統計値

地域・波浪計名		平均有義波高(m)			最大有義波高 平均値(m)		
		EL	RA	OT	EL	RA	OT
日本 海側・ 東シ ナ海	松前	0.79	0.84	0.81	5.24	5.53	4.80
	温海	0.87	0.88	0.87	6.15	5.41	5.36
	経ヶ岬	0.92	0.93	0.92	5.29	5.05	4.98
	鹿島	0.86	0.87	0.82	4.44	4.68	4.60
	福江島	0.90	0.87	0.90	5.00	4.11	4.64
太平 洋側	尻羽岬	1.30	1.26	1.27	5.37	5.17	5.42
	江ノ島	1.27	1.18	1.24	4.99	5.29	5.47
	石廊崎	1.22	1.10	1.13	6.29	5.51	5.46
	佐喜浜	1.09	0.97	1.04	6.29	4.25	5.46
	佐多岬	0.88	0.80	0.89	5.86	4.99	6.08
	喜屋武岬	1.44	1.14	1.33	8.63	7.03	6.10

OTはEL年、RA年以外の年を示す。

日本海側や東シナ海、北日本の太平洋側の波浪計では、年による平均有義波高の差は数cm程度であるが、石廊崎以西の太平洋側の波浪計では、RA年に比較してEL年の平均有義波高は8~30cm高い。同様に、最大有義波高の平均値も78~160cm高い。

また、図-3は佐喜浜における有義波高の累積頻度を示している。EL年はRA年およびその他の年に比較して高波高の頻度が高いと言える。この傾向は石廊崎、佐多岬、喜屋武岬についても同様である。

図-4は、佐喜浜における有義波高2m以上の頻度の経年変化を示す。上述したように、平均的に見ればRA年に比較してEL年の有義波高は高い傾向にあるが、個々の年に着目すると、例えば、1984年はRA年にもかかわらず高波高頻度が高く、1986年はEL年にも関わらず比較的穏やかであり、この傾向は当てはまらないこともある。

b) 有義波周期

表-4にEL年、RA年およびそれら以外の年における

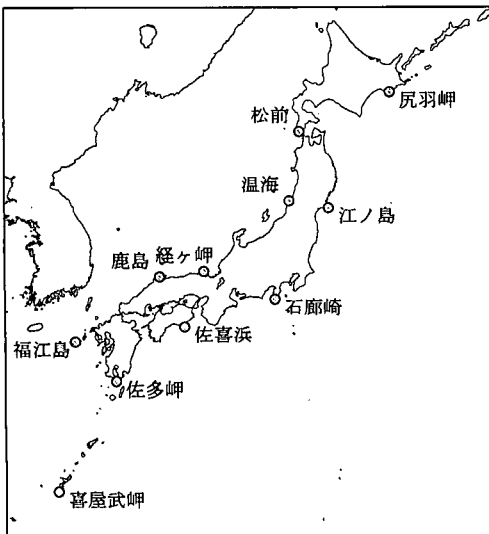


図-2 気象庁沿岸波浪計の位置

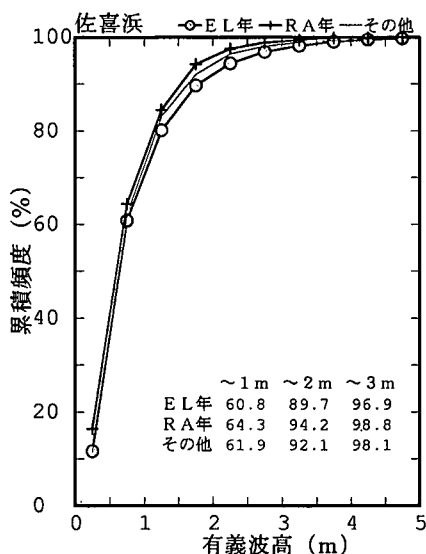


図-3 佐喜浜における有義波高の累積頻度

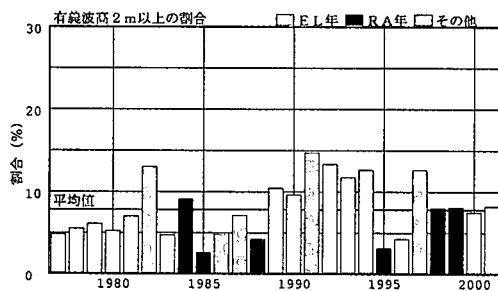


図-4 佐喜浜における有義波高2m以上の頻度の変化

有義波周期10s, 12s以上の波の頻度を示す。日本海側や東シナ海の波浪計では、年による差はほとんどないが、太平洋側の波浪計においてはRA年に比較してEL年に周期の長い波の頻度が顕著に多い。特に石廊崎から西の太平洋沿岸においては、EL年における周期10s以上の波の頻度は、RA年の3~4倍にも上る。また、RA年ばかりでなく、他の年と比較してもEL年の周期の長い波の頻度は大きい傾向にある。

図-5は、佐喜浜における有義波周期10s以上の頻度の経年変化を示す。個々の年に着目した場合でもEL年は平年より周期の長い波の割合が多く、RA年は少ない。佐多岬、喜屋武岬も同様な結果であり、石廊崎においても1976年以外は同様な結果となっている。周期の長い波の頻度に関しては、高波高頻度の場合とは異なり、個々の年についても両年の差異は明確である。

4. 考 察

図-6に模式的に示すように、EL年には対流活動が南東偏した結果、太平洋の中央部海域で台風が多く発生す

表-4 EL年, RA年における有義波周期の頻度

地域・波浪計名	有義波周期10s以上の割合(%)			有義波周期12s以上の割合(%)		
	EL	RA	OT	EL	RA	OT
日本海側・東シナ海	松前	1.6	0.9	1.1	0.8	0.4
	温海	2.2	1.6	1.7	1.1	0.7
	経ヶ岬	2.3	1.5	1.8	0.7	0.3
	鹿島	1.4	0.8	1.1	0.4	0.3
	福江島	1.6	1.0	1.2	0.3	0.4
太平洋側	尻羽岬	10.4	4.7	11.3	2.2	1.1
	江ノ島	18.2	11.8	16.7	2.5	0.7
	石廊崎	12.9	3.6	9.9	3.6	0.8
	佐喜浜	15.7	5.3	10.5	4.4	0.7
	佐多岬	15.7	4.6	11.2	4.0	0.5
	喜屋武岬	16.8	4.4	11.5	4.6	0.5

OTはEL年, RA年以外の年を示す。

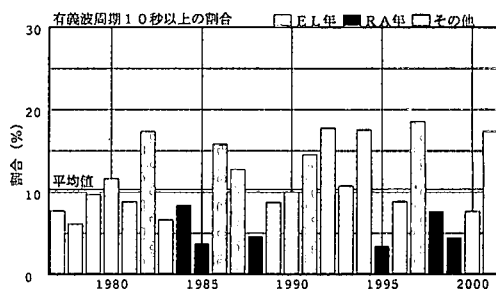


図-5 佐喜浜における有義波周期10s以上の頻度の変化

る。Fujii (1998)によると、台風の発達は海面水温と深い関係があり、海面水温が28.6~30.0℃の海域で最も発達する割合が高い。発生した台風は低緯度を西へと移動する過程に、この条件を満たす広大な高温海域を長時間かけて通過する。したがって、台風は海面から潜熱の供給を受けるため発達しやすく、強い勢力を維持したまま南洋上に存在すると考えられる。一方、RA年の場合は、発生・発達域がフィリピンや台湾沖に限られ、台風は比較的低温の海域に北上するかまたは大陸方面に移動するため、勢力を維持したまま南洋上に存在する期間は短いと考えられる。実際、北緯20°以南の海域に限っては、東経140°以東で発生した台風の約28%は中心気圧が920 hPa強度に達するが、それ以西において発生し920 hPaに達する台風はわずか5%程度である。

以上の考察から、EL年に日本の南海上に比較的影響の強い台風が長期間存在する理由は、エルニーニョ現象による大気循環場の変化に伴って、台風の発生位置が南東偏することに関与していると考えられる。

西日本の南海上におけるEL年とRA年の台風活動の差異によって、西日本の太平洋沿岸では両年の平均的な波浪特性が異なることが示されたが、個々の年に着目した場合、必ずしもEL年(RA年)に波高が高い(低い)とは限らない。一方、周期の場合には、個々の年に着目してみてもEL年(RA年)に周期の長い波の頻度が高い

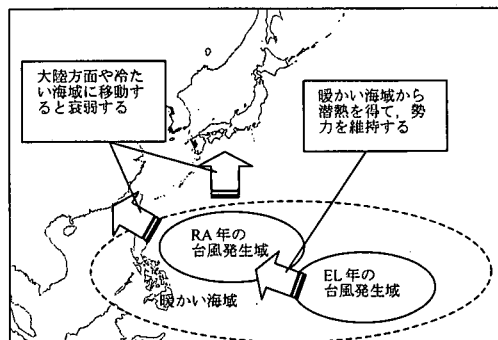


図-6 EL年とRA年の台風活動の差異を示す模式図

表-5 確率波高 (30 年期間値)

単位 m	全統計期間		EL 年 3 年間を除く期間	
波浪計	波高	$\pm \Delta H$	波高	$\pm \Delta H$
石廊崎	9.78	0.76	8.99	1.19
佐喜浜	8.67	1.14	7.74	1.27
佐多岬	9.15	1.31	9.32	1.26
喜屋武岬	10.20	1.65	9.77	1.30

$\pm \Delta H$ は 95% 信頼区間の片幅

も、本研究の結果は有効に活用できると考えられる。

(低い)。波高に関しては台風の接近等の偶発的な要素が大きく関与する。一方、日本から遠く離れた洋上に台風が存在する場合にも太平洋沿岸に周期の長い波は到達するため、各年の南洋上の台風活動が波の周期特性に反映されていると考えられる。

西日本の太平洋沿岸において EL 年と RA 年の波浪の特徴が異なる傾向にあることは、港湾構造物の耐波設計等の実務分野に有効に活用できると考えられる。例えば、全統計期間のデータとそこから顕著な EL 年 3 年間 (1982, 1987, 1997) を除いたデータそれぞれを用いて最大波の確率波高 (30 年期間値) を試算した。なお、解析には Petruaskas-Aagaard 法を用いた。結果を表-5 に示す。

佐多岬を除く波浪計では、EL 年を 3 年間除いた場合には、全統計期間のデータを用いた場合に比較して 30 年期間値が 43~93 cm 低く試算される結果となった。この結果は、設計波を的確に算定するためには、データの期間に注意を要することを示唆している。

気象庁では、エルニーニョ現象の動向を常時監視するとともに、6 ヶ月先までの現象の予測を行い、その結果を「エルニーニョ監視速報」として発表している (気象庁, 2002)。エルニーニョ現象がある程度予測可能な現状では、台風期における西日本の太平洋沿岸における波浪特性の統計的な予測が可能であると考えられる。したがって、西日本の太平洋沿岸域における港湾工事の施工管理、特定年の稼働率の予測、海浜変形予測のための波浪条件の設定、波浪エネルギーの推定等の分野において

謝辞：本研究を行うに際しては、平成 12 年度に設置された「歴史的な船舶観測データの整備」委員会 (委員長：京都大学 山元竜三郎名誉教授) の委員の方々、同委員会の解析作業部会 (部会長：東北大学 花輪公雄教授) の部会員の方々から、貴重な助言を頂いた。ここに感謝する次第である。なお、本研究は日本財団の助成事業の一環として行った。

参 考 文 献

- 気象庁 (2002): 気象業務はいま 2002. -IT 時代の気象情報サービス-, 財務省印刷局, 130 p.
- 西森基貴・吉野正敏 (1990): ENSO 現象と台風の発生・発達・経路との関係, 地理学評論, 63 巻, 8 号, pp. 530-540.
- Aoki, T. (1985): A climatological study of typhoon formation and typhoon visit to Japan., Pap. Meteor. Geophys., 36, pp. 61-118.
- Chan, J. C. L. (1985): Tropical cyclone activity in the north-west Pacific in relation to the El Nino/Southern Oscillation phenomenon, Mon. Wea. Rev., Vol. 113, pp. 599-606.
- Fujii, T. (1998): The Most Preferable Sea Surface Temperature for Tropical Storm Formation and Intensification over the Northwest Pacific, 海と空, 74 巻, 3 号, pp. 101-111.
- Lander, M. A. (1994): An exploratory analysis of the relationship between tropical storm formation in the western North Pacific and ENSO, Mon. Wea. Rev., Vol. 122, pp. 636-651.
- Landsea, C. W., R. A. Pielke, A. M. Mestas-Nunez, J. A. Knaff (1999): Atlantic Basin Hurricanes: Indices of Climatic Changes, Climatic change, Vol. 42, pp. 89-129.
- Matsuura, T., M. Yumoto, S. Iizuka, R. Kawamura (1999): Typhoon and ENSO simulation using a high-resolution coupled GCM, Geophys. Res. Lett., Vol. 26, pp. 1755-1758.