

台風経路標準度指数の提案—台風経路の定量的分類と 異常経路の客観的抽出に関する研究—

松本優子*・中山大地*・松山 洋*

要旨

本研究では、台風経路が典型的かどうかを客観的・定量的に示す指標、「TMU: The Measure of Usual Typhoon Tracks; 台風経路標準度指数」を提案し、異常経路の客観的抽出を行った。TMUは、過去30年間(1951~1980年)の台風経路の統計的特性を参照しながら、1981~2001年の台風に0~1の得点を与えるもので、その値の大小によって経路を評価する。TMUが1に近いほど典型的経路となる。

TMUの積算過程に注目してクラスター分析を行い、経路を分類したところ、最も結合距離の短いクラスターとして、異常経路をとる台風を抽出することができた。この異常経路をとる台風は、移動方向、位置、移動速度のいずれか1つ以上が典型的経路から極端に外れるものである。

異常経路をとる台風は一般流の弱い8月に多いといわれることから、8月の台風経路について詳細に調べた。異常経路をとる台風は、気象庁によるエルニーニョ監視海域において海面水温偏差の絶対値が小さい年に多くなることがわかった。

1. はじめに

台風は北西太平洋とその近隣地域に災害をもたらす熱帯擾乱であり、進路の予測はこの地域に位置する国々にとって重要な課題である。台風は主に台風渦よりも大きなスケールの流れ(指向流)によって移動しているが、指向流の弱い夏季、特に8月は台風が高気圧の圏内に進入したり、温帯低気圧や他の台風に影響されたりして複雑な動きをすることがある(大西, 1992; 和達, 1993)。そして、このような台風経路を一般に「異常経路」と呼んでいる。

異常経路を扱う前提として、典型的経路と呼ばれるものが必要になるが、これまでなされてきた台風経路のタイプ分けは主観的なものが多く、何をもちいて典型的経路と異常経路を分けるのか、各タイプはどのように線引きされているのかが明確ではない(荒川, 1948; 館, 1964; 島田, 1992)。中には九州のどこを通過したかなど基準を設けて分類したもの(村岡, 1984)も見

られるが、基準の根拠はやはり主観的と思われる。

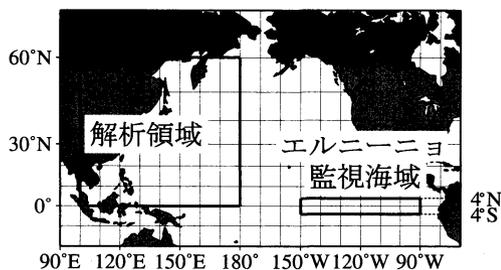
饒村・宮沢(1980)は、統計的手法を用いて従来の模式的経路図よりも現実に近い平均経路を示したが、ここでも最終的な平均経路の求め方は主観に頼っている。また、西森・吉野(1990)やChan(2000)、Wang and Chan(2002)は台風の発生や経路とエルニーニョ現象・ラニーニャ現象との関係を統計的に調べ、片岡(2003)は日本付近に限定して台風経路の東西方向の位置関係と北上の程度を調べているが、いずれも異常経路について言及するものではない。

そこで、本研究では複雑な台風経路を把握するための1ステップとして、経路の客観的分類を行った。具体的には、過去30年間(1951~1980年)の台風経路の統計的特性に対し、1981~2001年の台風の移動方向と位置、移動速度がどの程度典型的かを求め、そこから典型的な経路かどうかを定量的に評価する指標「TMU: The Measure of Usual Typhoon Tracks; 台風経路標準度指数」を提案した。TMUは0から1までの値をとる指標であり、統計上最もとりにくい経路を1、もっともとりにくい経路を0として、台風ごとに値が定まる。このTMUの算出方法については3章

* 東京都立大学大学院理学研究科地理学教室。

—2003年6月13日受領—

—2005年3月14日受理—



第1図 解析領域とエルニーニョ監視海域の位置。

で詳しく説明する。本研究では、この指標を用いて台風の経路を典型的な経路とそうでない経路に分類し、その結果に基づいて考察を行った。

TMUを評価するに当たっては、TMUの算出過程を時系列で示すTMU曲線を作成し、クラスター分析を行った。そして、デンドログラムから異常経路を抽出し、異常経路と典型的経路の比較を行った。

2. 使用データと対象領域

1953年以降、日本における「台風」の定義は「熱帯低気圧のうち、中心付近の最大風速が17.2 m/s以上のもの」とされている(気象庁予報部, 2000)。また、1951年からは台風域内の最大風速が明らかにされているため、1951年以降の台風データであれば同一定義を用いて台風期間を定めることが可能である(饒村・宮沢, 1980)。弱い熱帯低気圧や温帯低気圧の期間は、中心位置の精度が低く、緯度経度が1度の位までしか掲載されていない場合があるため、本研究では「台風」期間のみを解析対象とした。

データは「財団法人気象業務支援センター編 理科年表読本 CD-ROM 台風の事典」に収録されているものから、現在と同じ定義が適用できる1951~1997年について、日本時間3時・9時・15時・21時における台風中心の緯度・経度・階級を用いた。1998~2001年については、財団法人気象業務支援センター「台風経路データ」から切り出した同種のデータを用いた。また、分類された経路とエルニーニョとの関係を5章で考察するに当たっては、気象庁のエルニーニョ監視海域(第1図)における海面水温(SST)と基準値(1961~1990年までの30年平均)との差を用いた。本研究ではこの値をSST偏差と呼ぶことにする。

解析は、気象庁が台風の解析を行っている領域すべて(赤道~北緯60度, 東経100度~180度)を対象として行った(第1図)。

3. 解析方法

3.1 TMUの概要

本研究では、ある台風の発生から消滅までの過程で、6時間ごとに求まる値として、進行方位率、存在率、進行速度率を独自に定義した(後述)。まず、参照値として1951~1980年の30年集計値を求め、進行方位率、存在率、進行速度率をメッシュごとに算出した。次に、各指標の30年集計値を参照しながら、1981~2001年の台風について、それぞれ発生から消滅まで、6時間ごと、メッシュごとに進行方位率、存在率、進行速度率を求めた。これらの積を時系列的に積算し、ある台風に対してひとつの値(TMU)が決まるようにした。この値の大小及びその積算過程に注目し、台風経路が典型的かどうかを評価した。

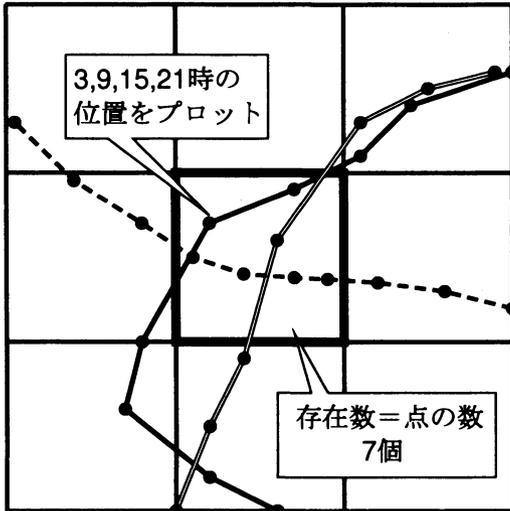
なお、本研究では6時間ごとの台風中心の位置およびそれに従属する情報を扱っており、台風数と区別するために前者を単に「データ」と表記することがある。参照値を求めるのに用いた1951~1980年の台風数は、7月が132個(6時間ごとのデータ数2,226個)、8月が181個(同3,161個)、9月が174個(同3,165個)であり、分類に用いた1981~2001年の8月の台風数は143個(同2,843個)となっている。8月にかかる台風の中には、7月中に発生したり、9月まで残ったりして月をまたぐものが含まれ、複数の月に渡る場合はそのデータに応じて参照値も変化させた。

以下で述べる3.2~3.5節の計算は、全て緯度経度2.5度メッシュで月別に行った。これは、メッシュサイズの決定に当たり、1度から5度までスケールを変えて同様の計算を試みたところ、格子間隔が小さいとメッシュあたりの台風数が少なくなり、格子間隔が大きくと平均化されすぎて台風経路の差異を表現できないことがわかったからである。今後、NCEP/NCAR再解析データ(Kalnay *et al.*, 1996)を用いた解析を予定していることもあり、ここでは試行錯誤の末、格子間隔を2.5度とした。移動方向、移動速度の算出には前方差分を用いた。すなわち、6時間後の値から現在の値を引き、このあと6時間でどう動くかという情報を与えた。

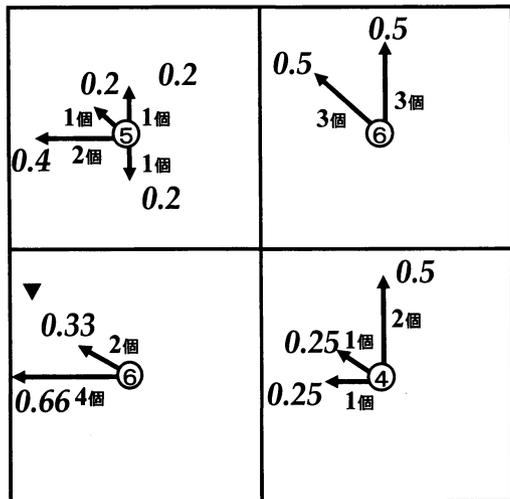
また、典型的経路と異常経路の分類に関しては、TMUの積算過程を表す曲線(TMU曲線)を利用してクラスター分析を行った(3.8節参照)。

3.2 存在数の定義

存在数という用語は、そのメッシュを通過した台風の個数として用いられることもあるが、本研究では地



第2図 台風存在数の概念図。点は日本時間3時・9時・15時・21時の台風的位置、線は各台風の経路を示す。



第3図 進行方位率の概念図。メッシュ中心の丸で囲んだ数字は各メッシュの台風存在数、斜体の数字は進行方位率を示す。
▼印は3.6節で示す計算例に用いた台風中心の位置である。なお、この図で示した値は説明のために作成したものであり、現実の台風の指標値とは対応していない。

点と時点によって変化する台風の特性を評価するため、饒村・宮沢(1980)にならい、あるメッシュのデータ数を集計して存在数とした(第2図、第4図a)。すなわち、同一メッシュ内にひとつの台風が長期間存在

した場合、含まれるデータの数だけ当該メッシュの存在数に加算した。

緯度経度2.5度メッシュの面積は緯度によって変化する。以下の解析では面積補正した存在数を用いている。ただし、この補正が本研究の結果に与える影響は極めて小さい。

3.3 進行方位率の定義

ここでは、統計的に移動する確率が高い方位をメッシュごとに求めた(第3図、第4図b)。まず、緯線に平行な方向を東西として16方位で計算を試みたところ、サンプル数の不足から、例えば1951~1980年の30年間に北と北西に進んだ台風は存在したが、北北西に進んだ台風は存在せず、「過去に該当なし」と判断されるようなメッシュが多く存在した。そこで、方位についてはサンプル数を確保するため8方位を用いることにした。

次に、台風の移動方向を8方位で求め、メッシュごと、方位ごとにデータ数を集計して「進行方位別存在数(n_{ija})」とした。さらに、存在数($\sum_{a=1}^8(n_{ija})$)に対する進行方位別存在数の割合として「進行方位率(t_{ija})」を以下のように定義した。

$$t_{ija} = \frac{n_{ija}}{\sum_{a=1}^8(n_{ija})} \quad (0 \leq t_{ija} \leq 1) \quad (1)$$

[i :緯度, j :経度, a :方位]

進行方位率は0~1の値をとり、値が大きいほど、そのメッシュにおいて、台風の進む確率が高い方位を意味する指標である。

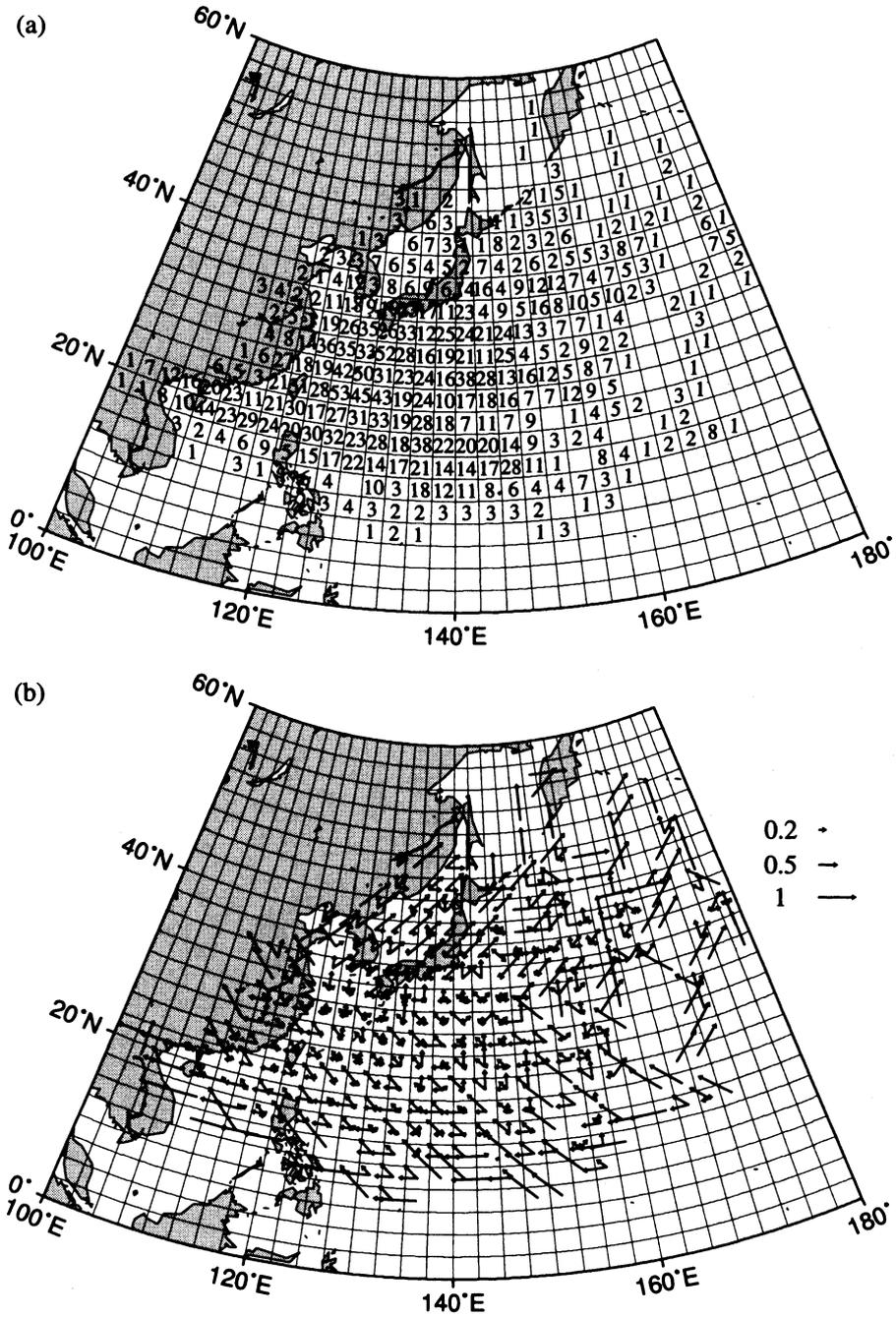
3.4 存在率の定義

典型的経路をとったかどうかの評価は、進行方位率のみを用いてもある程度可能である。しかし、メッシュごとに台風の存在数が異なるため、存在数の大小に応じて進行方位率の持つ重みが変わってくる。そこで、進行方位率の持つ重みを領域全体で等しくするため「存在率(m_{ij})」という指標(第5図)を導入した。

存在率は、各月で30年集計値として存在数の最大値($\max \sum_{a=1}^8(n_{ija})$)を持つメッシュを調べ、最大値に対する各メッシュの存在数($\sum_{a=1}^8(n_{ija})$)の割合として次のように定義した。

$$m_{ij} = \frac{\sum_{a=1}^8(n_{ija})}{\max \sum_{a=1}^8(n_{ija})} \quad (0 \leq m_{ij} \leq 1) \quad (2)$$

存在率は0~1の値をとり、値が大きいほど台風の通



第4図 (a) 存在数と (b) 進行方位率の分布図 (1951~1980年, 8月の例). (a) の存在数は面積補正済みである.

過する確率が高いメッシュであることを表す. これは, 進行方位率を規格化するための指標であり, 存在率が大きいほど進行方位率に重みを持たせることになる.

3.5 進行速度率の定義

一般に経路を扱う場合, 経路の形状のみが対象となるが, 本研究では台風経路の形だけでなく, 移動速度

0.42 10個	0.42 10個	0.54 13個	0.21 5個
0.58 14個	1.00 24個	0.54 13個	0.25 ▼ 6個
0.96 23個	0.79 19個	0.46 11個	0.46 11個
0.88 21個	0.71 17個	0.33 8個	0.42 10個

第5図 存在率の概念図。ここで示した存在数は面積補正済みであり、太線で囲んだメッシュが30年間の最大存在数のメッシュに相当する。存在率(小数)は、各メッシュにおける30年間の存在数を最大存在数(この場合24個)で割ったものである。また、▼印は3.6節で示す計算例に用いた台風中心の位置である。なお、この図で示した値は説明のために作成したものであり、現実の台風の指標値とは対応していない。

を取り入れた台風の挙動について、異常かどうかの判定を行った。ここで定義する進行速度率(u_c)は、当該メッシュにおいて統計的に取りやすい速度かどうかを判定する指標である。

まず、それぞれの台風データについて、6時間の平均速度を求めた(第6図a)。次に、平均速度を求めるのに用いた各台風の数と当該メッシュの平均速度との差を求め、速度偏差とした(第6図b)。速度偏差は方位別に求めることが合理的であるが、十分なサンプル数を確保できないメッシュが多かったため、本研究では方位による平均速度の差を考慮していない。

進行速度率は、台風の移動速度が平均速度から離れるほど小さくなる指標である。「平均から離れるほど小さい」の基準として、メッシュごとに求めた速度偏差を領域全体で集計し、1 km/h 単位で頻度分布図を作成した(第6図c)。そして、集計結果を最大頻度が1となるように規格化し、これを相対頻度として進行速度率(u_c)を定義した。第6図cで0~1 km/hの度数が突出するのは、平均値に等しい場合を含むためである。なお、本来は第6図のような頻度分布図をメッシュごとに作成するのが望ましいが、メッシュによっては

十分なサンプル数が確保できないものもあるので、このような措置を取ることにした。

$$u_c = \frac{S_c}{\max(S_c)} \quad (0 \leq u_c \leq 1) \quad (3)$$

[S_c : 所属する速度階級の頻度, $\max(S_c)$: 最大頻度]

進行速度率は0~1の値をとり、値が大きいほど台風が典型的な速度で移動したことを示す指標である。

3.6 TMUの定義

ここで、以上に述べた3つの指標を用いて、台風を客観的・数量的に評価する指標「台風経路標準度指数(TMU; The Measure of Usual Typhoon Tracks)」を提案する。

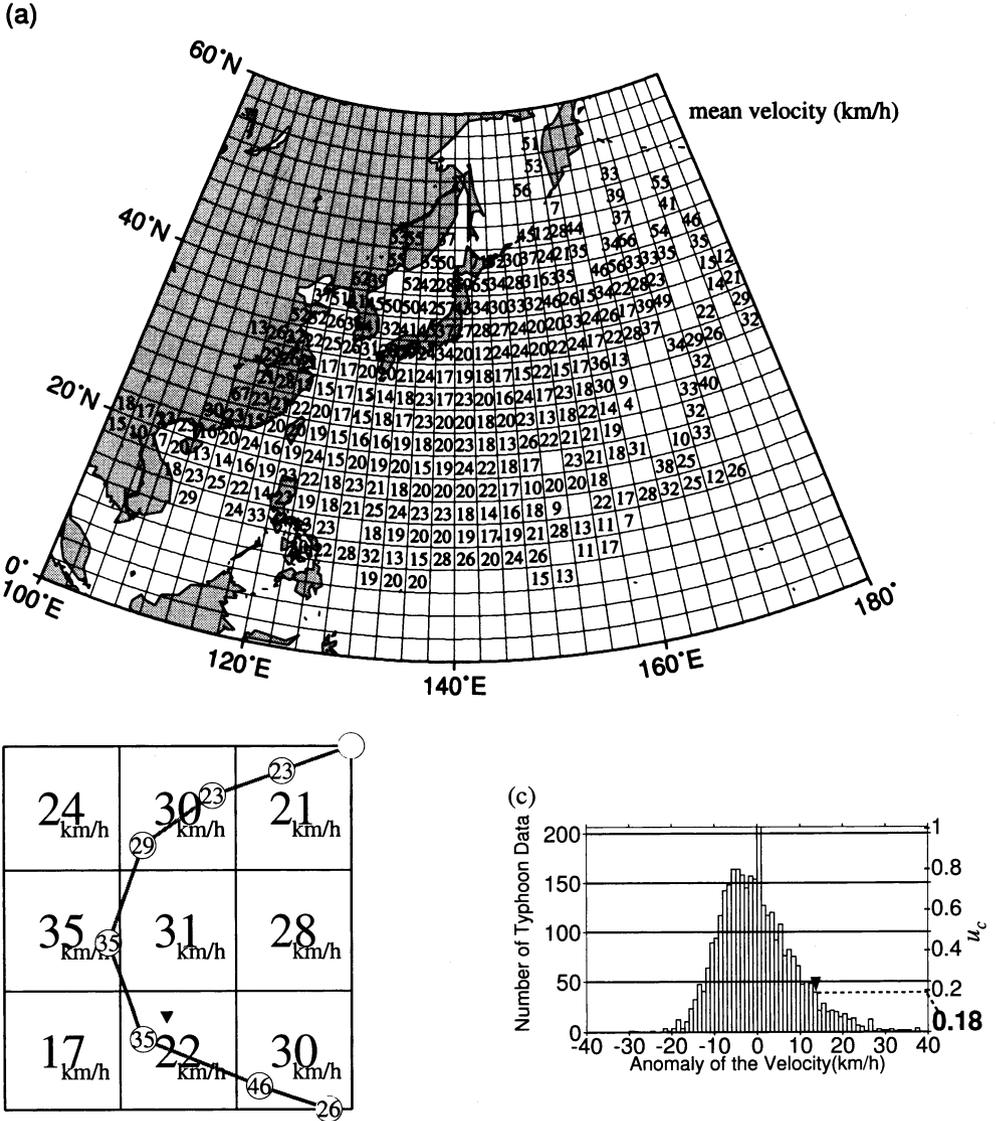
3.3~3.5節にかけて示した指標は、いずれも1951~1980年の30年間のデータを用いて算出したものである。TMUの計算では、1981年以降の台風について3つの指標値を求め、これらの積を得点として扱う。そして、1951~1980年の3つの指標と照らし合わせ、6時間ごとに台風の中心位置が獲得した得点を求める。

説明のために架空の経路を設定し、第3図、第5図、第6図の▼印の位置に台風がある時の計算例を以下に述べる。第3図の▼印の台風が北西に移動した場合、進行方位率は0.33、第5図より存在率は0.25、そして第6図bより、実際の速度と平均速度の差が+13 km/h、第6図cより、速度偏差+13 km/hの相対頻度すなわち進行速度率は0.18となる。こうして得られた0.33と0.25と0.18の積0.015が▼印の獲得した得点である。この作業を台風の発生から消滅まで繰り返し、得点を積算していく。ただし、値を単純に積算すると、寿命の長い台風ほど値が大きくなってしまふので、TMUは積算の過程で足し上げたデータの数、すなわち累積ステップ数(p)で割って次のように定義した。

$$TMU = \frac{\sum_{q=1}^p (t_{ijdq} \times m_{ijq} \times u_{cq})}{p} \quad (0 \leq TMU \leq 1) \quad (4)$$

[t_{ijdq} : 進行方位率, m_{ijq} : 存在率, u_{cq} : 進行速度率, p : 累積ステップ数, q : 発生からの経過時間(ステップ, 1ステップ=6時間)]

進行方位率、存在率、進行速度率は、いずれも値が小さいほど、統計的に取りやすい動きから外れることを示す指標である。したがって、TMUの値が大きいほど典型的経路をとる台風、小さいほど異常経路をとる台風といえることができる。



第6図 進行速度率の概念図 (a) 平均移動速度の分布図 (1951年～1980年, 8月の例), (b) 速度偏差の求め方, (c) 速度偏差の頻度分布図.
 (b), (c) で示した値は説明のために作成したものであり, 現実の台風の指標値とは対応していない. (b) のメッシュ中央の数字は当該メッシュの平均速度, 灰色の線は1981年～2001年のある台風の経路を示しており, 丸で囲んだ数字は実際の速度を表す. 実際の速度から平均速度を引いたものが速度偏差となる. (c) では速度偏差を領域全体で30年値として集計し1 km/h 単位で頻度を求めた. 縦軸の左側は台風のデータ数, 右側は進行速度率を示す. (b) と (c) の▼印は3.6節で示す計算例に用いた台風中心の位置および対応する進行速度率を示している.

3.7 TMU 曲線について

TMU は積算値として定義したので, 最終的に得られる値から移動の過程を知ることはできない. TMU の積算過程をみるために, 各台風について相対的な移動距離 (R. DISTANCE: 台風の発生時を 0, 消滅時

を 1 となるように, 移動距離を規格化したもの) と TMU の散布図を作成した. この散布図の点を結んで得られる線を, 本研究ではその台風の TMU 曲線と呼ぶことにする. TMU 曲線は, 積算過程を表現したもので, 典型的経路をとる台風ほど傾きが大きく, 異常経

路をとる台風ほど傾きが小さくなる。

第7図は、典型的経路と思われる1992年の台風10号(以下西暦の下2桁と号数の組み合わせで個々の台風を表す)(a)と、異常経路と思われる台風8515号(b)について、TMU曲線とそれに対応する経路図(d)を示したものである。

典型的経路として挙げた台風9210号は、荒川(1948)や島田(1992)による正常経路の記述に沿うものであり、日本付近を北東に進む経路となっている。また、TMU曲線の傾きも大きい。一方、異常経路として挙げた台風8515号は、荒川(1948)の蛇行型に相当するもので、進路を何度も変え、TMU曲線の傾きはほぼ0である。

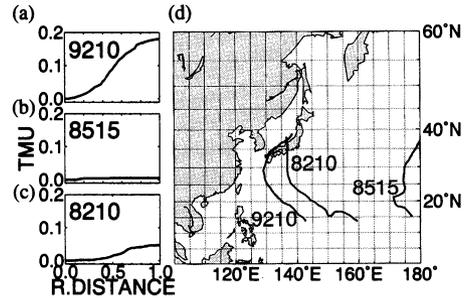
このように、典型的経路と異常経路ではTMU曲線が明瞭に異なる。しかしながら、実際には発生から消滅までの過程で部分的に異常経路をとったり、中間的な動きをするものも多く、全ての経路を典型的経路と異常経路に二分することは難しい。中間的な経路をとった例として、台風8210号のTMU曲線(c)と経路図(d)を合わせて第7図に示した。台風8210号は、経路の前半は速度も小さく、若干蛇行しながら北西進するが、経路の中盤から速度も増加し、北緯30度付近で北向きへ進路を変える。TMU曲線もこれに対応して前半は傾きが小さく、中盤で傾きが大きくなっている。

3.8 クラスタ分析による経路の分類

これまで明確にされていなかった異常経路と典型的経路の境界設定、あるいは経路タイプの線引きを客観的に行うため、TMU曲線に対してクラスタ分析を行った。クラスタ分析の対象は1981年から2001年までの台風とし、月ごとに分析を行った。TMU曲線のクラスタ分析は第一に異常経路のグループを取り出すことを目的とした。そして第二に、台風経路全体のタイプ分けと把握を目的とした。

クラスタ分析にあたっては、TMU曲線間の距離をRMSE(Root Mean Square Error)で求め、台風経路の非類似度として定義した。TMU曲線上の各点は時間に対して等間隔だが、含まれるデータ数は不揃いである。このままではTMU曲線のRMSEを求めるのに不都合なため、TMU曲線を相対的な移動距離に対して等間隔な51変数に線形内挿した。そして、あるTMU曲線と別のTMU曲線との距離を51変数のRMSEとして求め、非類似度行列に対してクラスタ分析を行った。

クラスタ間の距離の定義には群平均法を用いた。



第7図 TMU曲線に現れる(a)典型的経路、(b)異常経路、(c)複合経路、(d)は実際の台風経路を表す。また、(a)～(c)のR.DISTANCEは台風の発生時を0、消滅時を1となるように、移動距離を規格化したものである。

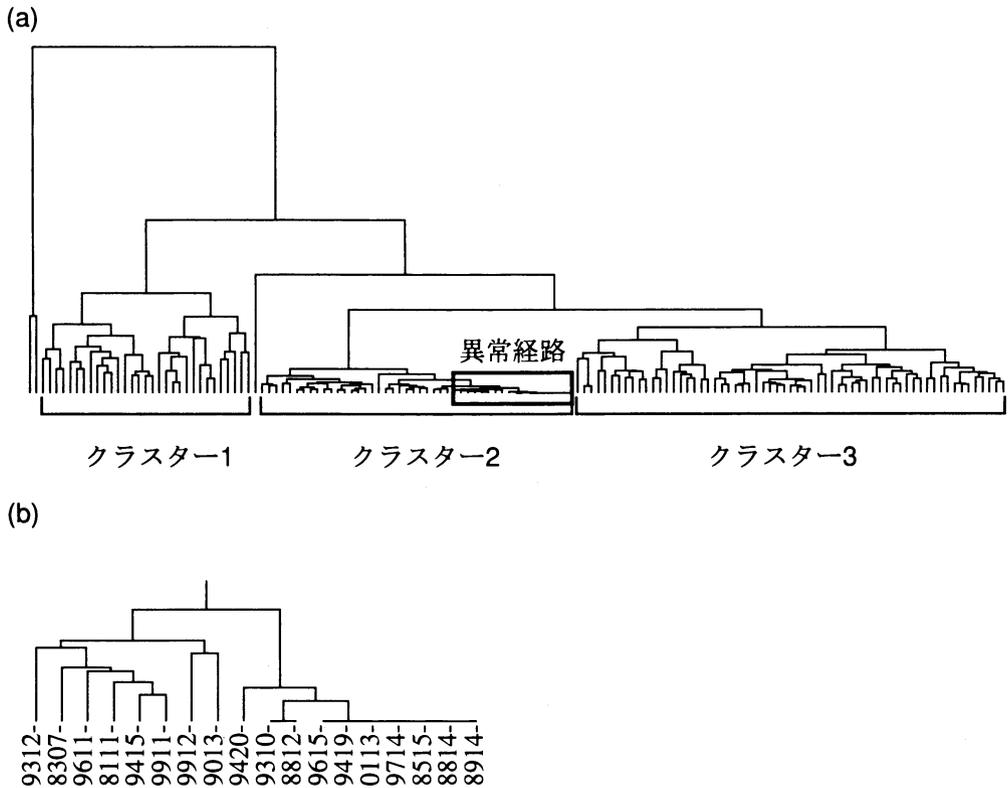
奥野(1977)によると、群平均法は、ひとつのグループを構成する小グループ内の個数とそのグループ内においてどのくらいの比重を持つかにより、2グループ間の距離を定義する方法である。この方法は、オブジェクトが実際にははっきりとした集団を形成している場合にも、チェーン状のクラスターの場合にも有効な方法とされている(StatSoft, Inc, 1999)。

4. 結果

第8図aは1981～2001年の8月にかかる台風についてTMU曲線のクラスタ分析を行った結果である。1981～2001年の8月の台風総数は143個であった。異常経路は8月に多いとされていることから(和達, 1993), 以下では8月にかかる台風のデンドログラム(例えば奥野ほか, 1971)について詳細に検討していく。このデンドログラムから得られたクラスターをもとに経路図を作成したところ、クラスターごとに似たような位置・移動過程のものを抽出できていたことがわかった(第9図)。

本研究では、第8図の結合の順序に着目し、TMU曲線のデンドログラムを上位の結合から順に区分して、クラスター1・クラスター2・クラスター3とした。日本の南東沖で非常に短い距離を西進する台風が2例あり、デンドログラムの左端にこれらが表れているが、本研究の考察に当たってはこれらを除外した。

クラスター1はTMU曲線の傾きが大きく、典型的経路をとるクラスターである。第9図aに第8図のクラスター1からランダムに抽出した5個のTMU曲線を示す(第9図b, cも同様)。典型的経路には北緯



第8図 TMU曲線のデンドログラム(1981年~2001年8月の例)(a)経路全体のデンドログラム、(b)異常経路の拡大図。8月の経路全体を、結合順序に着目して、3つのクラスターに分類した。(a)の実線で囲んだ小クラスターが(b)の異常経路に相当する。4桁の数字は発生年の下2桁と台風番号を組み合わせたものである。

30度付近で転向して北東へ向かうものと、転向せずにまっすぐ大陸へ向かう2種類の経路が含まれる。転向する台風は、転向後に日本海上を進む場合が多い。

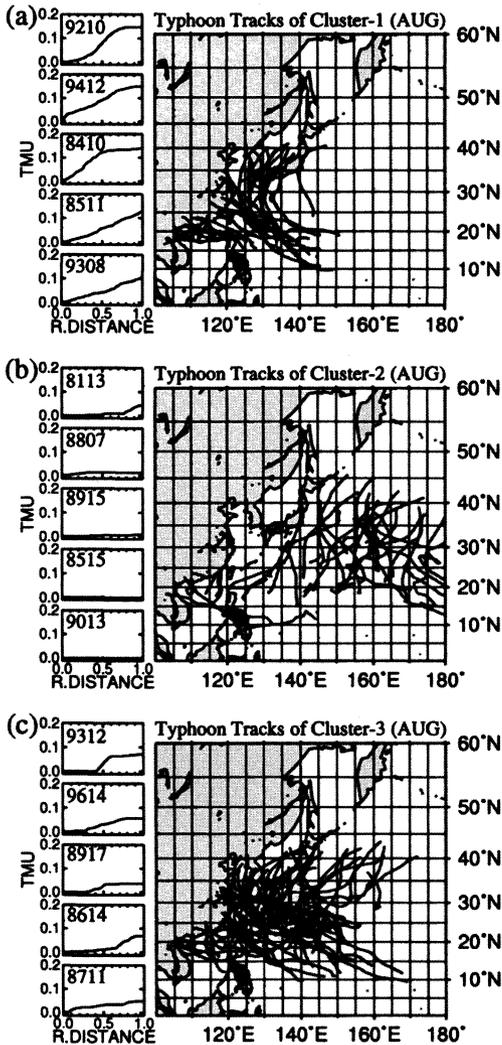
クラスター2はTMU曲線の傾きが小さく、準異常経路ともいうべき経路のクラスターである(第9図b)。デンドログラムを見ると、この中には結合距離が特に短い小クラスターが含まれ(第8図b)、これがいわゆる「異常経路」のクラスターとなる。異常経路に分類された経路は、8月の経路全体の10%程度であった。異常経路どうしの結合距離が短くなる理由としては、傾きの変化が大きく結合距離が長い典型的経路に対し、異常経路のTMU曲線は傾きがほぼ0の直線となり、曲線間の距離が短くなることが挙げられる。

クラスター3はややTMU曲線の傾きが大きく、典型的経路と異常経路の中間的なクラスターといえる。経路としては位置がやや東にずれているものや、部分的に異常経路の過程を含むものが多く見られる。また、

クラスター3には本州に上陸するものが比較的多く含まれている(第9図c)。

5. 考察

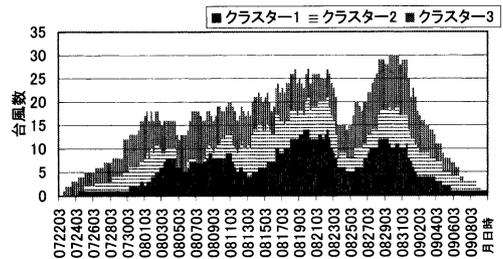
TMU曲線に対してクラスター分析を行い、実際の経路と比較した結果、4章で述べたように、8月のクラスター1とクラスター3では台風経路の違いが見られた。クラスター3は日本の南海上に北上して本州に上陸する台風が多いのに対し、クラスター1は日本のはるか西を通る台風が多い。この点に関し、台風は太平洋高気圧の位置(500 hPa面の5,880 mと5,820 m等高度線)沿いに移動するという報告がある(中村, 1980)。つまり、クラスター3に日本の南海上に北上する台風が多いのは、この時の太平洋高気圧が東偏しているためと考えられる。東偏の原因としては、「夏から秋にかけての季節の変わり目」と「高気圧の張り出しが弱かった年」の2通りが考えられる。そこで、これ



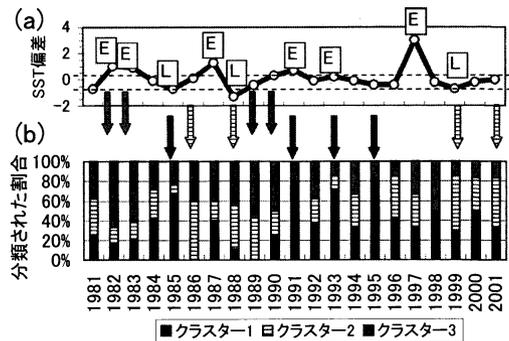
第9図 8月の各クラスターのTMU曲線の例と台風経路。TMU曲線は、それぞれ第8図の各クラスターから5個ずつランダムサンプリングした。凡例は第7図と同じである。(a) クラスター1、(b) クラスター2、(c) クラスター3。

らの仮説について検討を行った。

まず、8月の中でも最盛期と、夏から秋への季節の変わり目では太平洋高気圧の張り出しに差があることから、季節の違いが経路分類に反映されたのかどうか検討を行った。1981~2001年について台風存在期間の日時を集計し、日時別頻度分布図を作成したところ(第10図)、クラスター1が存在する期間はクラスター3が存在する期間に重なり、存在期間に有意な差は見られなかった。従って、クラスター1とクラスター3の台



第10図 各クラスターの日時別頻度分布。072203は日本時間7月22日3時を示す。他も同様である。



第11図 (a) エルニーニョ監視海域(第1図)における8月のSST偏差(°C)と(b)各クラスターに分類された割合(%). Eはエルニーニョ現象、Lはラニーニャ現象の期間であることを示す。また、SST偏差の大きさを示す基準として $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ を(a)に破線で示した。矢印は各クラスターに分類された割合が多い年を指す。

風経路の違いは「夏から秋にかけての季節の変わり目」という立場からは説明できない。

次に、気象庁のエルニーニョ監視海域(第1図)における8月のSST偏差と各クラスターの関係について調べた。第11図に、各クラスターに分類された割合とSST偏差の時系列変化およびエルニーニョ年・ラニーニャ年を示す。また、SST偏差の大きさを議論するにあたっては、エルニーニョ現象・ラニーニャ現象の定義に用いられている値を参考とし、 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ を基準とした。この基準値を第11図に破線で示してある。

各クラスターに分類される割合が大きい年を、上位のものから見ていくとクラスター1は1995年、1991年、1993年、1985年となる。クラスター1に分類される割合が大きい年は、SST偏差の絶対値が比較的小さい。これらには、エルニーニョ年もラニーニャ年も含まれているが、いずれの年もSST偏差は、ほぼ $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 以

内に収まっている。

一方、クラスター3は傾向が異なり、1982年、1983年、1989年、1990年の順で割合が大きかった。1982年、1983年は顕著なエルニーニョ年である。これらには、エルニーニョ年やラニーニャ年に相当しない年（エルニーニョ監視海域における1961～1990年の平均海面水温との差の5か月移動平均値が6か月以上続けて $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 以内だった年）も含まれるが、全体的に正偏差が大きくなる傾向がある。

クラスター2は1986年、1999年、2001年、1988年の順で分類された割合が大きかった。1988年、1999年にはラニーニャ現象が起こっている。

以上のことをまとめると、エルニーニョ監視海域のSST正偏差が大きい8月には、クラスター1及びクラスター2に分類される台風は少ない。一方、クラスター3の経路をとる台風はエルニーニョ現象が起こり、エルニーニョ監視海域のSSTが正偏差の年に多い。すなわち、太平洋高気圧の張り出しが弱い年にクラスター3の割合が高くなる。これに関連して、Chan (2000) や Wang and Chan (2002) には、エルニーニョ年に北西太平洋東部で台風や熱帯低気圧の発生が多く、南シナ海で少なくなることが示されている。このことは、エルニーニョ現象が発生した年に日本の南海上を北上するクラスター3の割合が大きくなっていることと関連があると思われる。

なお、SST偏差と、各クラスターに分類された割合との相関を調べたところ、クラスター1の相関係数は0.003、クラスター2は -0.206 、クラスター3は 0.218 であった。分類された割合が大きい年だけをみるとSSTと関係があるように思われるが、検定の結果、対象期間全体を通しての有意な相関は得られなかった。Ho *et al.* (2004) でもSSTと台風経路の関係ははっきりしないと述べられており、本手法による分類結果もSSTだけを反映したものとは考えにくい。SSTも台風経路に影響を与える要素のひとつであると解釈するのが適当であろう。

本研究で得られた経路のパターンと、饒村・宮沢 (1980) で示されている平均経路図を比較したところ、おおむね一致した結果が得られた。また、饒村・宮沢 (1980) では複数の経路を同等に扱っているが、本手法では海面水温の状況により経路が異なる可能性を示すことができた。

6. 結論

6.1 本研究で明らかになったこと

本研究では、複雑な台風経路を把握するための1ステップとして、1951～2001年における6時間毎の台風の中心位置のデータを用い、台風経路の客観的分類を行った。具体的には、台風経路を定量的に評価する指標としてTMU (The Measure of Usual Typhoon Tracks; 台風経路標準度指数) を提案した。TMUは進行方位率 (統計的に台風の進む確率が高い方位) と存在率 (統計的に台風の通過する確率が高い位置) と進行速度率 (統計的に台風が取る確率の高い速度) の積として台風経路を評価するものであり、台風経路が典型的かどうかを客観的・定量的に示す指標である。1951～1980年のデータを用いて進行方位率、存在率、進行速度率の30年集計値を求め、これを参照しながら、1981～2001年のデータについてTMUを計算、分類したところ、以下のことが明らかになった。

- TMUの積算過程であるTMU曲線の距離を非類似度として、群平均法によりクラスター分析を行った。8月のデンドログラムは大きく3つのクラスターに分かれ、それぞれのクラスターに含まれる台風経路は発生位置や移動過程に共通点を持つ経路どうし、よく分類された。具体的には、日本列島の西側を大きく迂回する台風 (クラスター1)、異常経路をとる台風を含むもの (クラスター2)、日本の南海上を北上するコースを含む台風 (クラスター3) となる。
- TMU曲線のデンドログラムでは、最も結合距離の短いケースを含む小クラスター (クラスター2の一部) が異常経路をとる台風に対応することを確認した。従って、TMUを用いることにより異常経路をとる台風を客観的に抽出することが可能といえる。
- 8月の台風経路に関しては、エルニーニョ現象と各クラスターが対応する可能性が示唆された。実際にクラスター1とクラスター2の割合が大きくなるのは、SST偏差の絶対値が小さい年であった。一方、クラスター3の割合が大きくなるのはエルニーニョ年である場合が多かった。

6.2 今後の課題

本研究では、統計解析によって異常経路をとる台風を抽出した。エルニーニョ現象との対応で分類結果の考察を行ったが、今後は異常経路をとる台風の事例を詳細に調べる必要があり、これらが存在したときの気圧場や海面水温場、風の場合などを解析していく予定である。また、指標の定義に関しても、本研究ではサン

ブル数の不足から、進行速度は進行方位に従属しないという仮定で計算を行ったが、進行方位を考慮した求め方を検討する必要があると考えている。

謝 辞

地球環境フロンティア研究センターの山岬正紀氏には、台風経路に関する最近の研究動向を教えてくださいました。福井地方気象台の饒村 曜氏には経路解析のバイブルとなった論文を送っていただき、その後も多くのアドバイスを頂きました。北海道大学の谷本陽一氏には草稿に関するコメントをいただきました。実務翻訳家の古川直樹氏には、指標の英語名 (The Measure of Usual Typhoon Tracks) に関するアドバイスを頂きました。成田航空地方気象台の青木 孝氏、農業環境技術研究所の西森基貴氏、熊本大学の富田智彦氏からは、研究内容について助言をいただきました。2名の査読者と担当編集委員のコメントは原稿を改良するのに役立ちました。そのほか本研究に協力してくださった多くの方々に感謝します。

参 考 文 献

荒川秀俊, 1948: 日本の気候, 平凡社全書, 平凡社, 22-31.
 Chan, J. C. L., 2000: Tropical cyclone activity over the Western North Pacific associated with El Niño and La Niña events, *J. Climate*, **13**, 2960-2972.
 Ho, C. H., J. J. Baik, J. H. Kim, D. Y. Gong and C. H. Sui, 2004: Interdecadal changes in summertime typhoon tracks, *J. Climate*, **17**, 1767-1776.
 Kalnay, E., M. Kanamitsu, R. Kistler, W. Collins, D.

Deaven, L. Gandin, M. Iredell, S. Saha, G. White, J. Woollen, Y. Zhu, M. Chelliah, W. Ebisuzaki, W. Higgins, J. Janowiak, K. C. Mo, C. Ropelewski, J. Wang, A. Leetmaa, R. Reynolds, R. Jenne and D. Joseph, 1996: The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 437-471.
 片岡久美, 2003: 北太平洋西部中緯度における台風にまで発達した擾乱の経路, *天気*, **50**, 705-714.
 気象庁予報部, 2000: 予報作業指針, 気象庁, 20-23.
 村岡明二郎, 1984: 九州南部地方を通過する台風経路の特徴, *技術通信***30** (5), 163-170.
 中村 繁, 1980: 山登り気象学, 日本気象協会, 201.
 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*, **63A**, 530-540.
 饒村 曜, 宮沢清治, 1980: 台風に関する諸統計—月別発生数・存在分布・平均経路—, *気象庁研究時報*, **32**, 49-75.
 奥野忠一, 久米 均, 芳賀敏郎, 吉澤 正, 1971: 多変量解析法, 日科技連出版社, 391-411.
 奥野隆史, 1977: 計量地理学の基礎, 大明堂, 309-320.
 大西晴夫, 1992: 台風の科学, 日本放送出版協会, 57-64.
 島田守家, 1992: 暴風・台風びっくり小事典 目には見えないスーパーパワー, 講談社, 52.
 StatSoft, Inc, 1999: STATISTICA ユーザーズマニュアル, スタットソフトジャパン株式会社, 3146.
 館 知之, 1964: 台風に関する2・3の統計的調査 (第4報): ループ経路について, *天気*, **11**, 387-393.
 和達清夫監修, 1993: 最新気象の事典, 東京堂出版, 486.
 Wang, B. and J. C. L. Chan, 2002: How strong ENSO events affect tropical storm activity over the Western North Pacific, *J. Climate*, **15**, 1643-1658.

The Measure of Usual Typhoon Tracks : Quantitative Classification of Typhoon Tracks and the Objective Extraction of Typhoons with Unusual Tracks

Yuko MATSUMOTO**, Daichi NAKAYAMA**
 and Hiroshi MATSUYAMA*

* (Corresponding author) Department of Geography, Faculty of Science, Tokyo Metropolitan University, 1-1, Minami-Ohsawa, Hachioji, Tokyo 192-0397, Japan

** Department of Geography, Faculty of Science, Tokyo Metropolitan University.

(Received 13 June 2003 ; Accepted 14 March 2005)