低気圧の気候学的研究における空間スケールの問題点-オホーツク海周辺域の低気圧活動を例として-

低気圧の気候学的研究における空間スケールの問題点

―オホーツク海周辺域の低気圧活動を例として―

梅　本　　　亨

1.　はじめに

大気は人類の最も基本的な物理環境の一つである。地理学ではこれを気候と呼んでいる。したがって，気候学は大気の科学である気象学と不可分の関係にあり，その理論と技術を吸収しながら発展してきた。

気候は様々な要素をもつが，なかでも低気圧は激しい天気の変化をもたらすため，ふるくから注目されてきた。本稿ではその研究史を簡単にふり返りつつ，研究の発展から必然的に生じた問題点を指摘し，オホーツク海周辺に出現する低気圧を例として，それに対する若干の解析を試みたい。

2.　低気圧の気候学的研究が行なわれる理由

気候の研究には，かつて二つの立場があった。平均値気候学（または静気候学）と，総観気候学（または動気候学）である。前者は，ある地点の気候を気温および降水量の長期間平均値で代表させ，その分布を検討することによって，気候そのものや気候にまつわる諸現象を理解しようとする立場である。一方後者は，気候は一組の平均値で表現できるものではなく，ある地点または地域において観察される毎日の「天気」と，その時系列的な組合せである「天候」とを要素とする大気状態の集合である，と考える立場である。

平均値気候学のデータは，極論すれば温度計と雨量計だけで得られる。しかし，総観気候学の基本データは良質かつ均質な天気図であり，しかも長い期間にわたって定期的に作られたものが要求されるため，相互に比較しうる成果が上がり始めたのは天気図がある程度の蓄積をみた1950年代からである。その後，第一線の研究では平均値気候学的手法は過去のものとしてほとんど顧みられなくなった。しかし，総観気候学の成果が精密化・複雑化するにつれ，単純さが再評価されるようになりつつある。

そもそも天気図は，地理学における地形図が地域の「総合景観図」的なモデルであるのと同じく，気象学において，ある時点の大気状態を表現するモデルとして発展してきたものである。したがって，近代的気象学の初期の歴史はそのまま天気図の歴史でもある。それでは天気図は何を目的にして作られたのだろうか。それは悪天候をもたらすストーム(storm)の実体の追求であった。ストームとは今日の低気圧のことである。この点に関しては科学史的に興味深いが，優れた解説がすでに出版されているので，ここでは詳しくは触れない（Kutzbach, 1979，斉藤，1982)。

世界初の天気図は19世紀初頭に，ドイツの気象学者ブランデス(H.W. Brandes）によって作られている。正確な年代はわからないが，岡田(1956）は1820年であるとしている。この天気図は現存せず，後に複製されたものが斉藤（1982）などによって紹介されている。また，アメリカの低気圧気候学の第一人者であったクライン（Klein, 1957）は，世界初の天気図作成者としてやはりブランデスをあげ，彼が1826年にライプツィッヒ大学に提出した気圧変化に関する学位論文を参考文献に加えていることを付記しておきたい。

当時の天気図は気圧データの収集を手紙にたよっていたため，天気予報（具体的にはストーム予報）の発想はあったものの，実用にはならな

かった。しかし，1844 年にモールスがワシントンーボルチモア間の電信に成功するやいなや実用の域に達し，19 世紀後半にはヨーロッパ，アメリカ，日本で天気図が定期的に作られるようになる。さらにマルコーニが 1899 年に無線通信に成功するにいたり，速報性のある広域天気図の作成が可能になった。

今日，天気図（地上天気図）に記入されている等圧線は上述のブランデスが考案したものだが，気圧は標高によって異なるため，最初は地点ごとの長期間平均からの偏差，ついで海面更正した水銀柱の高さとなり，単位も水銀柱の高さからミリバール（mb）を経てヘクトパスカル（hPa）へと改められてきた。

このようにして徐々に天気図の表記が統一され，均質なものができあがってくると，天気図から特定の大気現象を捜し出して詳しい解析を行なったり，任意の地域に対して特定の天候状態（例えば大雪）の天気図だけをたくさん集めて平均天気図を作ることによってその原因を追求するといった方法が確立された。これが総観気象学で，研究対象をある地域に限定する場合や，低気圧などの具体的現象の地理的分布を扱う場合は総観気候学と呼ばれ，自然地理学の一分野となる。ちなみに「総観」とは英語の“synoptic”の訳であって，synoptic chart（天気図）に由来する。

気候を天気・天候の総合とする立場からは，低気圧の出現頻度の地理的分布研究の重要性は改めて説明するまでもないであろう。1950 年代の総観気候学の開花によって，低気圧の分布研究はある程度の完成をみた。その集大成は，クライン（1957）によって行なわれた北半球の低気圧分布研究である。これは発行部数の少ないアメリカの政府刊行物に特集号として収められており，その被引用度は今なお高い（日本では気象庁図書室に一部存在する）。ところが 1970 年代頃から再び分布研究が活発になってくる。その理由を列挙してみよう；

①クラインの研究以来20年たったので低気圧の頻度や経路が変化しているかも知れないから調べてみようというもの。
②工学的要求から再調査を迫られた。例えば，北アメリカ東岸の海岸侵食が激化したのは波浪を起こす低気圧活動に変化があったからではないか，または海底油田採掘のプラットフォームが予想以上に強風にあおられるので低気圧活動を過小評価していたのではないかなどというもの。
③気象衛星データの導入によって海洋上の天気図の精度が飛躍的に上がったので再調査してみようというもの。
④低気圧の観測的研究と理論的研究が進み，新しい低気圧モデルが成立しつつある。つまり低気圧の概念自体に変化が生じているので，それにみあった形の低気圧の気候学が必要であるというもの。

これらの中では④の理由・動機が最も深刻である。よって気候学の立場から②や③の要求に答えるためには，低気圧とは何かという問題を改めて考える必要がある。

3. いろいろな種類の低気圧

低気圧とは何か。一般には「周囲よりも気圧の低い領域」とされているが，これでは「低圧部」の単なる言い換えに過ぎない。気候学では（もちろん気象学でも），低気圧の本質は，流れる大気すなわち風の中に発生する巨大な渦というイメージの方がはるかに強く，この意味から定常的な流れを乱す「擾乱」という用語も好んで使われている。よって低気圧に相当する外国の術語は渦の回転に注目したcyclone（英），Zyklone（独），気旋（中）と言う表現になる。もちろん「低圧部」を重視したlow（英），Tiefdruckgebiete（独），低圧（中）も一般にはよく使われている。また，大気中を流れてくる渦を，視点をある場所に固定して観測すると「波動」と認識される。気象学の特に大気力学の分野では，低気圧は大気中の波動として扱われることが多い。

さて，本稿ではここまで敢えてことわらなかったが，今日，低気圧と言えば暗黙の了解として「温帯低気圧」を指すのが普通である。しかし強大な低気圧として，われわれ日本人はすぐに台風を思い浮かべる。温帯低気圧という用語が台風，ハリケーンなどの熱帯低気圧との明確な区別を意識した表現であることは言うまでもない。一般的にも学術的にも単に低気圧と言えば前者を意味するのは，近代的な低気圧モデルがノルウェーのベルゲンにおいて後に「ベルゲン学派」と呼ばれるグループによって確立されたからに他ならない。

このグループには中心人物としてV.ビヤクネス（V. Bjerknes）がおり，前線モデルのベルシェロン(T. Bergeron)，波動理論のロスビー(C.-G. Rossby)，最終的に低気圧モデルを発表したV.ビヤクネスの息子のJ.ビヤクネス（J. Bjerknes）などの近代気象学のパイオニアがそろっていた(Friedman, 1989)。彼らの影響がいかに強かったかは，気圧の単位にミリバールを使用することを提唱したのがV.ビヤクネスであること(岡田，1956)や，現在の地上天気図の低気圧の表現が基本的にJ.ビヤクネスのものと何等変わらないことをみれば明らかである。これは，彼らの低気圧モデルがいかに優れたものであったかを示している。

しかし，このモデルが低気圧研究を支配したことの弊害も時代とともに大きくなっていった。気象観測の充実とともに，彼らのモデルに合わない低気圧が次々に発見されるようになったのである。いくつか例を挙げてみよう。まず，前線を伴わない低気圧（熱帯低気圧ではない）の存在がある。これには山脈の風下に力学的に発生する「風下低気圧」や，上空に明確な渦をもつ寒冷な低気圧などがある。また前線を伴うものでも，「台風の温帯低気圧化」現象や梅雨前線上の低気圧などはモデルに合わないし，南半球では温帯低気圧そのものに天気図に記入できるほど明確な温暖前線が無いことも多い。更に温帯低気圧発生の場である寒帯前線よりも高緯度側の寒冷域で，現在は寒帯低気圧あるいはポーラーロウ

第1表 天気図に記載される低気圧の分類

低気圧の種類	前線の有無	特　　徴
・温帯低気圧	有	・温帯の前線上に発生
・熱帯低気圧	無	・熱帯海洋で発生
・風下低気圧 (lee trough)	一般に無	・偏西風がぶつかる山脈の風下に発生し，移動しつつ温帯低気圧化することがある
・寒冷渦 (cold vortex)	一般に無	・偏西風の蛇行の気圧の谷が切離してできた上空の渦の底の部分
・寒帯低気圧 (polar low)	一般に無	・寒冷前線の高緯度側の寒気中の海上に発生し，急激に発達することもある
・熱的低気圧 (thermal low)	無	・日射で加熱した山地などの上で空気が膨張して気圧が下がる（夜間に消滅）
・熱帯低気圧が温帯低気圧化したもの	有	・温帯に突入した熱帯低気圧のうち，海上で消滅せずに外側から前線を形成して発達するものがある
・停滞前線上の中間規模擾乱	有	・梅雨前線上を東進する小低気圧など
・その他	無	・以上のいずれでもない低圧部

(polar low) と呼ばれている小型の低気圧が発生して急激に強大な温帯低気圧に発達する現象も見いだされた。

これらの質的に異なる低気圧は明確な区別の無いままに天気図に記載されているのが現状である。第1表に低気圧の分類を示すが，これに従って，それぞれの低気圧を概観してみたい。

・温帯低気圧：気象学的にみて温帯というのは，夏季は熱帯的で冬季は寒帯的な領域を指し，高緯度の寒気団と低緯度の暖気団の境界を成す“寒帯前線”の卓越領域と見なすことができる。この寒帯前線に上空の偏西風波動の谷に伴って発生するのが温帯低気圧である。この空間スケールは非常に大きなもので，東西方向の波長は3000 km を上回ることが理論的に知られている。したがって，典型的な温帯低気圧は日本列島近傍では東西方向にはたかだか2個しか存在できない。日本の春や秋には，約1週間を一区切りとして温帯低気圧と移動性高気圧が交互に通過する

が，これが日本付近での典型例である。なお天気図上の記号は"L"である。

・熱帯低気圧：温暖な熱帯海洋上の風の弱い領域に出現する巨大な積乱雲の集団から発生する。温帯低気圧とは全く異なるメカニズムで発生し，形態，天気も異質なので，天気図上でも明確に区別されている。記号はその強度によって最も弱い"TD（Tropical Depression)"から"TP（Typhoon)"までいくつかに区別されており，固有の番号や名称も付けられる。

・風下低気圧：特徴は表のとおりで一般にあまり移動しないが，発達して温帯低気圧となることもある。記号は"L"である。

・寒冷渦：対流圏の中・上層部で明瞭な寒気の渦で，地上天気図では不明瞭なことが多い。しかし，しばしば地上天気図にも低圧部を形成し，"L"記号がつけられる。

・寒帯低気圧：気象レーダーや気象衛星画像などのリモートセンシング技術の発達に伴って実体が明らかになりつつある低気圧である。強力な寒気におおわれた海洋上に発生し，すばやく東進・南下して寒帯前線に追いつくと，突如として発達した温帯低気圧に似た構造となることがある。北日本周辺海域は北半球における寒帯低気圧の南限であるらしい。解析された場合の記号は"L"。

・熱的低気圧：夏季に日射で加熱した山地などに形成されるもので，天気図には"L"記号が記載されるが移動せず，夜間は消滅する。正式の天気図は，国際規約によってグリニッジ時の0時と12時に作成することになっているので，熱的低気圧の記載には地方時の違いによる系統的な差がでる。

・熱帯低気圧の温帯低気圧化：台風などの熱帯低気圧が温帯に侵入すると，普通はエネルギー源を失って衰弱・消滅する。しかし，なかには中心の西側の北風領域に寒冷前線を，また東側の南風領域には温暖前線を，

外側から徐々に中心に向かって発生させつつ，強い温帯低気圧に変化するものがある。この場合，解析者（日本では気象庁予報官）の判断によって記号は”L”となる。

・停滞前線上の中間規模擾乱：梅雨前線上を頻繁に通過する小低気圧が典型例である。温帯低気圧に比べるとはるかに小さいのが特徴で，寿命も1日程度のことが多い。記号は”L”が用いられる。

・その他：上記のいずれとも判断しかねる低圧部が解析されると（慣例により？）低気圧として”L”記号が記載されることがある。

このように，低気圧の気候学的研究の基礎データとされてきた地上天気図には，様々な内容の低気圧が同じ記号で記載されている。容易に区別できる熱帯低気圧は別として，それ以外の低気圧を扱う場合には何らかの対策が必要である。この対策に関しては本稿第5章で概観するように，個々の研究者によって独自の低気圧選定基準が設定されており，相互に比較する場合に煩雑な基準の対照が必要になる。なるべく単純な選定基準が望まれる。そこで，本稿では低気圧の空間スケールに注目することにした。

4. 低気圧の空間スケール

気候学における空間スケールは二重構造を成している。一つは気候を定義する地域の空間スケールで，もう一つは扱う大気現象の空間スケールである。吉野 (1986) は，この点に関して詳しい議論を展開した後に，大気現象を例示した上で気候のスケール区分を行なっている。この区分に従えば，本稿の扱う低気圧は全て「大気候」を形成する要素となる。

一方，気象学では大気現象の時間・空間スケールが，物理的な取扱いの必要性から慎重に議論されており，オーランスキー (Orlanski, 1975) のスケール区分が合理的かつ簡便なものとして広く採用されている。第2表はこれを簡略化して空間スケールだけを示したものである。これま

第2表　オーランスキーによる空間スケール区分

マクロスケール	メソスケール	ミクロスケール
Macro-α：>10,000 km Macro-β：10,000-2,000 km	Meso-α：2,000-200 km Meso-β：200-20 km Meso-γ：20-2 km	Micro-α：2 km-200 m Micro-β：200-20 m Micro-γ：20 m>

でに低気圧として扱われてきたもの，および本稿で扱う低気圧の空間スケールは，Meso-β 以上である。“低圧部”には違いない竜巻・トルネードは Micro-α に相当し，間に Meso-γ というギャップがあって都合が良い。

しかし，Meso-β は最大でも 200 km という「小さな」低気圧にしか対応しない。これは天気図に記載されるぎりぎりの大きさである。それでは気象学的にみて低気圧と認識される「渦」の最小サイズはどの程度であろうか。これは「ロスビーの変形半径」と呼ばれる長さの次元をもつ式で表わされ，分母に地球自転に伴う転向力の緯度変化(コリオリ因子)が入っているので，高緯度ほど小さく，赤道では無限大に発散する。つまり，赤道付近では低気圧は存在できず，熱帯から亜熱帯でやっと台風のような巨大な低気圧が成立し，日本付近を含む中緯度では，ちょうど Meso-β スケールに対応する低気圧が最小サイズとなるわけである。

前章で説明した温帯低気圧は Macro-β に相当し，それ以外のものは基本的に Meso-α と Meso-β に区分される。ところが低気圧は発達すれば境界値を飛び越えることもある。特に，Meso-α の低気圧が急激に発達して Macro-β になる現象は，低気圧の「爆発（explosion または bomb)」として注目されている。この場合は低気圧自体が質的にも変化したものと考えられる。しかし，Meso-α と Meso-β の境界値には質的な差を代表する能力があるかどうか疑問が多い。これは観測の空間的な密度が低いためである。

5. 気候学的研究の問題点

第二次世界大戦前後には，軍事目的と思われる気象観測網の急激な発達によって，天気図に記載される低気圧の急が急増している。例えば，荒川（1943）は，1930年代に日本近海での低気圧発現数が倍増といえるほど顕著に増加している事実を挙げて，自然増ではなく記載精度の向上に過ぎないと指摘している。

気象観測所の分布密度は，ヨーロッパ，日本などの「過密」な先進諸国ではすでに飽和状態にあるが，発展途上国や広大な森林，砂漠などをかかえるソ連やアメリカ，カナダなどでは，今後も増加する可能性がある。また，地球表面の7割を占める海洋においても，気象・海洋観測ブイによる直接観測網の充実が見込まれる。したがって，現在もなおこのような領域で低気圧の捕捉率が高まることが考えられる。

低気圧の気候学的研究には，使用するデータの種類によっていくつかのタイプがある。まず，データの分布領域によって，北半球，南半球の半球またはグローバルスケールと，東アジア，北アメリカなどの地域スケール（気候学では「大気候」に相当する）とに分かれる。また，データの形式には次の4種類がある。

①地域～半球スケールの地上天気図
②公的機関（例えば日本では気象庁）作成の低気圧経路図
③気象衛星による雲画像データ（一般に「写真」化されている）
④地上気圧またはこれに相当する物理量のグリッド（格子点）データ

①～③はいわゆるアナログデータであり，④はデジタルデータである。ここで，これらのデータがどのように作られているかを簡単に確認しておきたい。①の天気図は，陸上気象観測データと船舶による観測データから作られていたが，近年のリモートセンシング技術の発達によって，衛星画像による補助解析結果や後述のグリッドデータによる数値予報結

果などが加味されるようになった。②の低気圧経路図は，比較的強大な低気圧の12時間または24時間ごとの中心位置を地図上にプロットしたもので，コンパクトなデータであるが低気圧の採用基準が必ずしも明確ではない。

③の衛星データは，膨大なデジタルデータだが，コンピュータ処理によって“雲写真”化している。ここから視覚によって低気圧に相当する雲パターンを抽出する。デジタルデータの直接の解析も理論的には可能だが，データ量が桁はずれに大きいので，一般の研究者には技術的に困難であろう。

最後に④のデジタルデータだが，いくつかの国の複数の機関によって，独立に作られている。不規則に分布する観測データを統計的，力学的に客観解析し，200～500 km間隔の格子点に展開したもので，基本的に数値予報すなわちコンピューターシミュレイションのために作られたデータである。よってグリッドの形や解析方法は統一されていない。最近は気象データといえばこれを指すまでになっており，天気図不要論さえささやかれている。現実に日本でも，名義変数の少ない高層天気図は，グリッドデータの図形出力として印刷刊行されている。

第3表は，使用データ別にみた代表的な低気圧の気候学的研究の一覧である。まず天気図を使用した研究の集計方法に注目すると，低気圧の発現数を数える四角領域は，グローバルスケールでは一辺の長さが緯度・経度で5度，また地域スケールでは1度から2度となっている。これは使用している天気図の縮尺に左右されており，これ以上細かいと集計不能となるぎりぎりの面積と考えられる。また，表には示していないが，集計する低気圧の選定基準は，ほとんどの場合が低気圧記号の記載されているもの，あるいは最低1本以上の閉曲線の等圧線で囲まれる低圧部のいずれかが基本であり，かつ熱帯低気圧と熱的低気圧を除外している。つまり，温帯低気圧の抽出を目的としている。しかし，低気圧の

第3表　データ別にみた低気圧の気候学的研究

天気図を使用した研究例

著　者	解析領域	期　間	集計方法
Pettersen, 1950	北半球	1899-1939	季節別、面積補正
Klein, 1957	北半球	1909-1914 1924-1937	疑似等面積格子で月別集計し 5×5(緯度×経度)で図化
Dammann, 1960	ヨーロッパ	1948-1959	5×5(緯度×経度)、面積補正
ルキヤノフ, 1966	北太平洋	1950-1959	10×20(緯度×経度)、季節中心月
Taljaard, 1967	南半球	1957-1958	5×10(緯度×経度)、季節別、面積補正
Colucci, 1976	北アメリカ (東部)	1964-1973	1×1(緯度×経度)、冬のみ
Chung et al., 1976	東アジア カナダ	1958-1959 1958	2.5×2.5(緯度×経度)、面積補正 1.5×1.5(緯度×経度)、面積補正
田坂, 1980	日本周辺	1971-1976	1×1(緯度×経度)、冬のみ、平滑化
Sanders and Gyakum, 1980	北半球	1976-1979	5×5(緯度×経度)、冬のみ、平滑化 急発達した低気圧のみ
Umemoto, 1982	東アジア	1975-1979	2×2(緯度×経度)、季節別、面積補正
気象研究所, 1984	東アジア	1968-1978	2×2(緯度×経度)、季節別
Gyakum et al., 1989	北太平洋	1975-1983	5×5(緯度×経度)、冬のみ、平滑化
佐藤, 1991	北半球	1970-1979	5×5(緯度×経度)、1月と7月、 面積補正

低気圧経路図を使用した研究例

著　者	解析領域	期　間	集計方法
Hosler and Gamage,1956	北アメリカ (合衆国のみ)	1905-1954	5×5(緯度×経度)、月別
和田,1973	日本海周辺	1961-1970	2×2(緯度×経度)、合計のみ
Reitan,1974	北アメリカ	1951-1970	ポーラーステレオ投影図上の正方格子で，1辺は北緯40度で740 km、月別、面積補正
Brennan and Smith,1978	北アメリカ (北東部)	1950-1974	2×2(緯度×経度)、季節別、 面積補正
Zishka and Smith,1980	北アメリカ	1950-1977	2×2(緯度×経度)、1月と7月
Hayden,1981	北アメリカ (東部)	1885-1978	2.5×5.0(緯度×経度)、年間平均
Whittaker and Horn,1982	北アメリカ	1958-1977	5×5(緯度×経度)、月別、面積補正
Overland and Pease,1982	ベーリング海	1957-1980	2×4(緯度×経度)、月別(冬のみ)

衛星画像データを使用した研究例

著　者	解析領域	期　間	集計方法
Streten and Traup,1973	南半球	1966-1969	5×5(緯度×経度)、季節別、面積補正 テレビ放送用の可視画像(ESSA)
Carleton,1973	南半球	1973-1977	5×10(緯度×経度)、冬のみ、面積補正 赤外画像(TIROS)

グリッドデータを使用した研究例

著　者	解析領域	期　間	集計方法
Lambert,1988	全球	1980-1984	約450 km 間隔の格子点ごとに集計、冬のみ、ECMWF データを使用
Ueno,1991	北半球	1980-1986	5×5(緯度×経度)、季節別、面積補正 NMC データを使用

空間スケールを選定基準にしたものはない。

次に低気圧経路図を使用したものだが，これには長期間の経路図が出版されているアメリカの研究が多い。少人数あるいは単独で長期間の天気図を解析することは不可能なので，経路図の利用価値は高い。ところが低気圧の選定基準が不明確なためスケールを検討できない。

衛星画像による低気圧の集計は，天気図の蓄積が無い南半球では有効な手段である。スケールの検討も行なえるのだが，静止軌道は赤道上空にあるため，気象衛星「ひまわり」のような画像を南極中心に定期的に得ることはできない。

グリッドデータを使って低気圧の出現頻度を図化した研究はまだ少ない。ランバート（Lambert, 1988）は一つ一つの格子点の気圧（正確には1000 mb の高度）が周囲の4個の格子点の値より小さければ低気圧（の中心）と認定する方法をとっている。これは格子点間隔（空間分解能）未満の大きさの低気圧の捕捉率の低下と，格子点間隔以上の低気圧のスケールに関する情報を捨てることを黙認したことになる。しかし，このような点よりも集計を客観化・自動化できたことのメリットのほうがはるかに大きいと言わねばならない。一方，上野（Ueno, 1991）の研究は低

気圧というものの天気図上の特性を巧みに復元することに成功しているという点で大きく評価される。上野の方法はかなり複雑なので説明は省略するが，ランバートとの大きな違いは「低気圧ではないかもしれない単なる低圧部」をノイズとして採用してしまう危険性がないことであろう。

以上のように，データの精度は高まってきているにもかかわらず，低気圧の気候学的研究の方法論には，グリッドデータによる解析の成功以外にはさしたる進歩が認められない。気象学での空間スケールを明確にした低気圧研究の進捗状況を考えると，そのギャップは広まるばかりのように見える。低気圧の気候学的研究の最も大きな問題点は，空間スケールの曖昧さにあると考える。

6．オホーツク海の低気圧

日本付近で温帯低気圧が頻繁に通過するのは，日本列島南岸の太平洋と日本海である。この特徴は第3表に示した諸研究で，日本を含む領域を研究対象域としているもの全てに共通する。ところが，オホーツク海については結果がまちまちである。

このような状況を生む原因は二つ考えられる。まず第一に集計方法の違いがある。低気圧の移動経路を1本の線と捉え，その線が集計単位領域を何本通過しているか，つまり低気圧の通過数をカウントする方法と，集計単位領域を等しい時間間隔で調べた場合に低気圧が何回出現していたか，つまり低気圧の存在回数をカウントする方法とがあって，当然結果は異なる。前者は低気圧の移動速度に左右されないが，後者は大きく左右される（遅い低気圧は何回もカウントされる）。

一見すると前者の方が正確な印象を与えるが，経路を線で表わす作業自体に問題が多い。また，集計単位領域を緯線と経線で囲まれる四角にすると，低気圧が東進する領域よりも北東進する領域の方が大きくカウ

ントされるという指摘もある（Taylor, 1986)。したがって研究者によっては独自に天気図から均質の経路の認定を行なうことがある。しかし，この場合には高度な解析能力と膨大な労力を必要とするので，田坂(1980)のように，降水分布の時間的変化を研究目的に掲げる場合などの他にはあまり行なわれない。本稿では機械的に集計可能な後者を採用する。

第二の原因はデータの質にある。地上天気図の前線や低気圧の記載には解析者の主観が入るので，同時刻の天気図でも日本，ソ連，ドイツ等で異なるのは常識となっている。さらに海域での観測密度は，定期航路や漁業船舶の活動頻度に関わるので，時代によって低気圧の捕捉率が変化することもあろう。

これまでの研究でオホーツク海を低気圧の高頻度域としているものは，ルキヤノフ（1966)，梅本（Umemoto, 1982)，気象研究所（1984)，佐藤（1991)，上野（Ueno, 1991）である。これらが使用したデータは，梅本と気象研究所が同じ（期間はやや異なる）だが，あとは全く異質なものである。共通する点は「低気圧経路図ではない」ということである。

また，データの分布領域も東アジアから北半球全体にわたり，解析方法も様々である。よって，オホーツク海の低気圧高頻度域は，低気圧経路図を使用すると失われる情報と言えそうである。その傍証として，気象庁の天気図から独自に低気圧経路を求めた田坂（1980）の研究に注目すると，オホーツク海は副次的な小さいピースを成すように表現されているに過ぎないことを挙げることができる。

このように，オホーツク海には多数の低気圧が「存在」することは明らかである。そこで，研究者の主観が入らないように天気図に低気圧記号が記載されたほぼ全ての低気圧を取り上げて，オホーツク海およびその周辺での出現頻度分布図を作成してみることにした。除外する低気圧は次の二種類で，数はごくわずかである。

①温帯低気圧化する以前の台風または熱帯低気圧。

②低気圧記号だけで，近傍に等圧線が引かれていないもの。

使用するデータ，集計方法等は次の通りである。

データ：気象庁発行「天気図」の9時と21時（いずれもJST）の地上天気図。期間は1984年〜1987年の4年間。

領域：オホーツク海を中心とする，北緯40度と64度の緯線および東経130度と170度の経線に囲まれる領域。

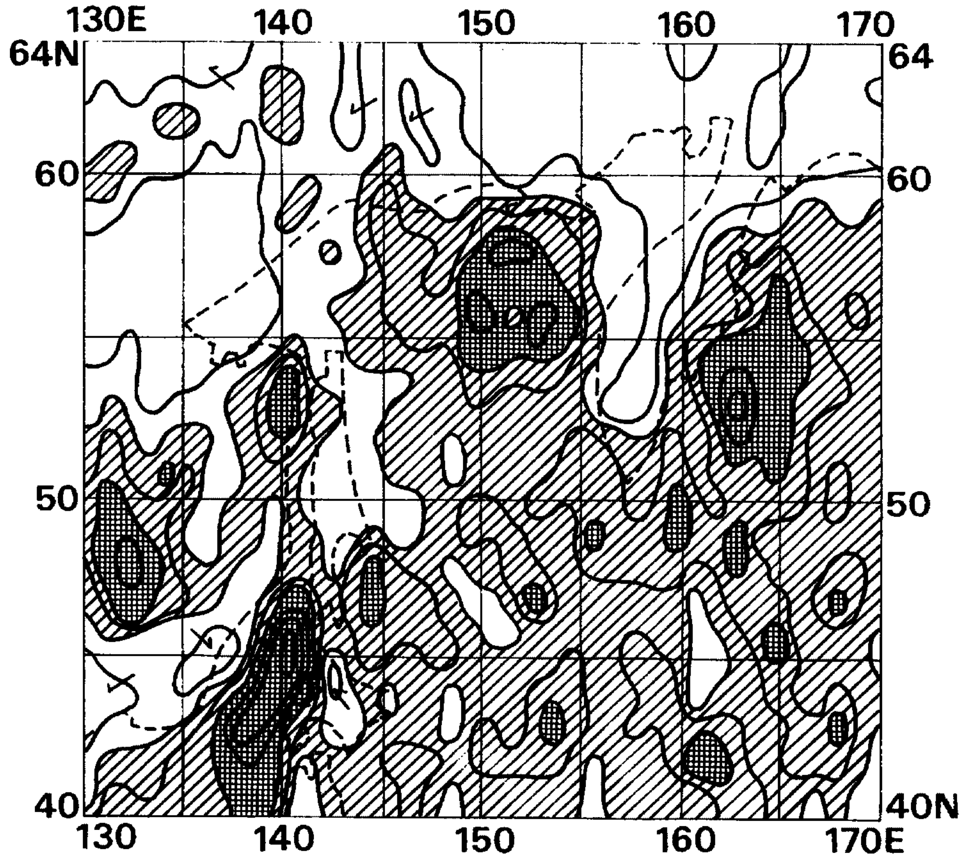
集計方法：1度間隔の緯線と経線に囲まれる四角の中に低気圧の中心が存在する回数をカウントする。中心が四角の輪郭上に位置する場合は，等圧線の走り具合いから目測で低圧部の面積の重心を推定し，重心側の四角に1回だけカウントする。

作図方法：四角の面積は高緯度ほど小さいが，面積補正は行なわない。また等値線を引くために，隣接する4個の四角（ちょうど漢字の「田」の形となる）の値を平均してその中心に与えることによって平滑化する。

第1図に結果を示す。この図は作図の都合上，疑似的なメルカトル図法で表わしている。図の上辺（北緯64度）と下辺（北緯40度）の長さの比は実際には約3：5であることに注意されたい。オホーツク海北部は日本海北部やカムチャッカ半島の東方と並ぶ高頻度域になっている。これは4年間の合計で，季節や空間スケールなどは考慮していない。本稿の第3章に述べた低気圧の種類もこの図からは全くわからない。次章では，この分布図を低気圧の空間スケール別に分解して，少なくとも温帯低気圧とそれ以外の低気圧を分離することを試みる。

7. 空間スケール別の低気圧出現頻度分布

第1図に現れた低気圧の高頻度域は，様々な空間スケールとタイプの低気圧の総和なので，一見してどのような低気圧が多く出現しているのかを判断することは難しい。しかし，例えば大陸沿海州西方のアムール

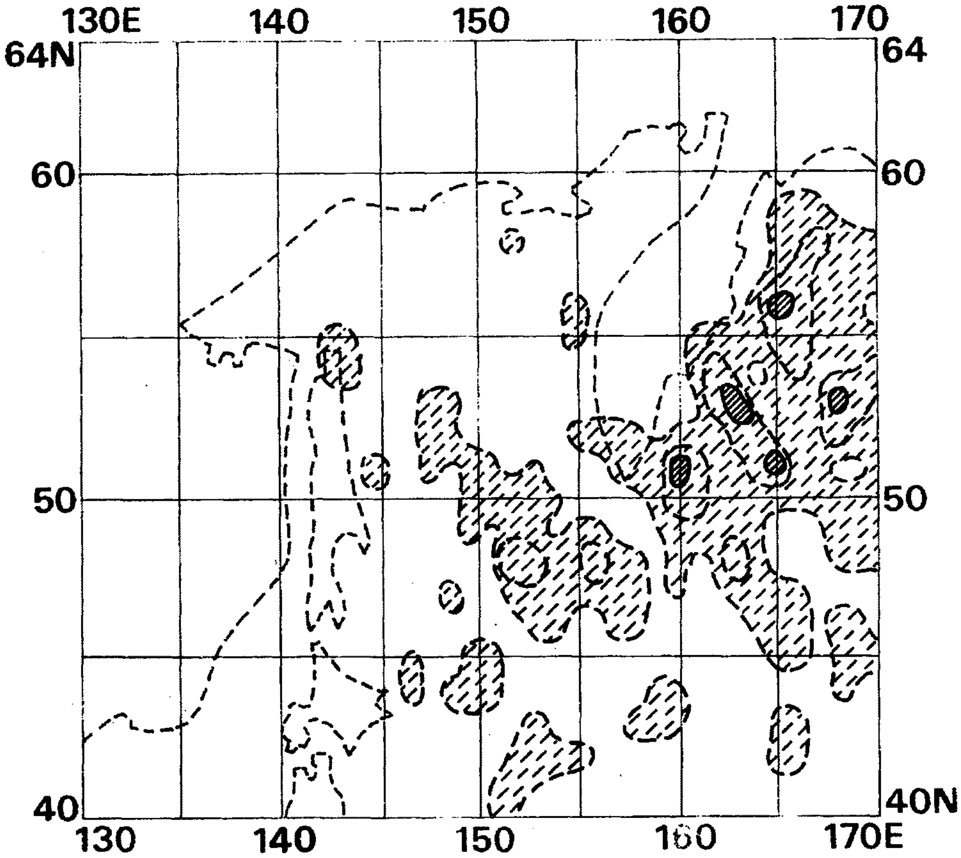


第 1 図　低気圧出現頻度分布（1984～1987 年）
1 日 2 回の地上天気図に記載された全低気圧を緯度・経度で 1 度ずつの四角で集計し，平滑化した。等値線の間隔は 2.5 で，5.0 以上に斜線，10.0 以上に網目をかけた。

第 4 表　低気圧の空間スケール区分

オーランスキーの区分	低気圧の空間スケール(緯度幅で測った長径)
Macro-β : 10,000-2,000 km	Macro-β スケールの低気圧(20 度以上)
Meso-α : 2,000-200 km	Meso-α スケールの低気圧(4 度以上 20 度未満)
Meso-β : 200-20 km	Meso-β スケールの低気圧(3 度以下)

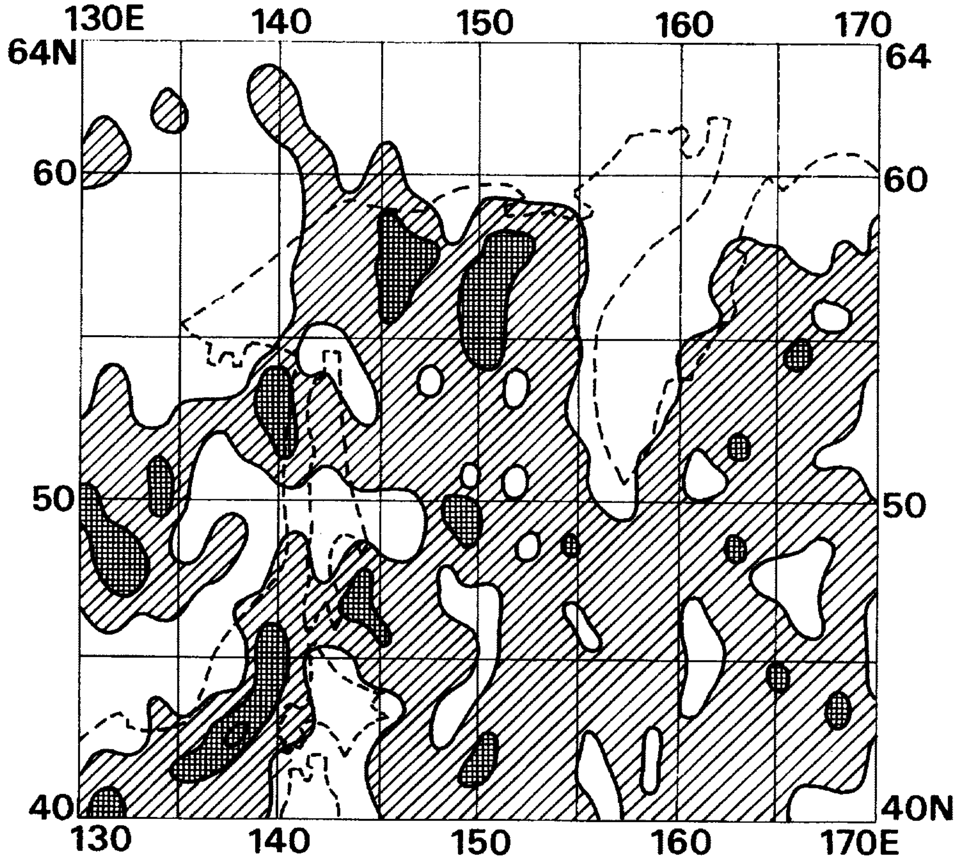
川中流域は単に陸地であるということで他から区別される。この領域は大局的には大興安嶺の東に相当するため，風下低気圧である可能性がある。よって，一般に風下低気圧よりも大きい温帯低気圧は，スケール別の集計で分離できる可帯性がある。



第2図 Macro-β スケールの低気圧出現頻度分布（1984〜1987年）
集計法，作図法は第1図と同じ。ただし，等値線の間隔は実線が2.5，破線が1.0で，2.5以上に実線の斜線，1.0以上に破線の斜線をかけた。

本稿では第2表に示したオーランスキーの空間スケール区分に従って，第4表に示すような作業上のスケール区分を行なった。表中の緯度幅は，天気図上(北緯60度で正しい縮尺となるポーラーステレオ図法で作成されている）において北緯30〜50度の子午線孤長を20等分した定規を作成して低気圧の長径を測定したものである。具体的には，低気圧中心を取り囲むようにカーブしている最外郭の等圧線（閉曲線にはこだわらない）を楕円に見立て，その長径を測っている。

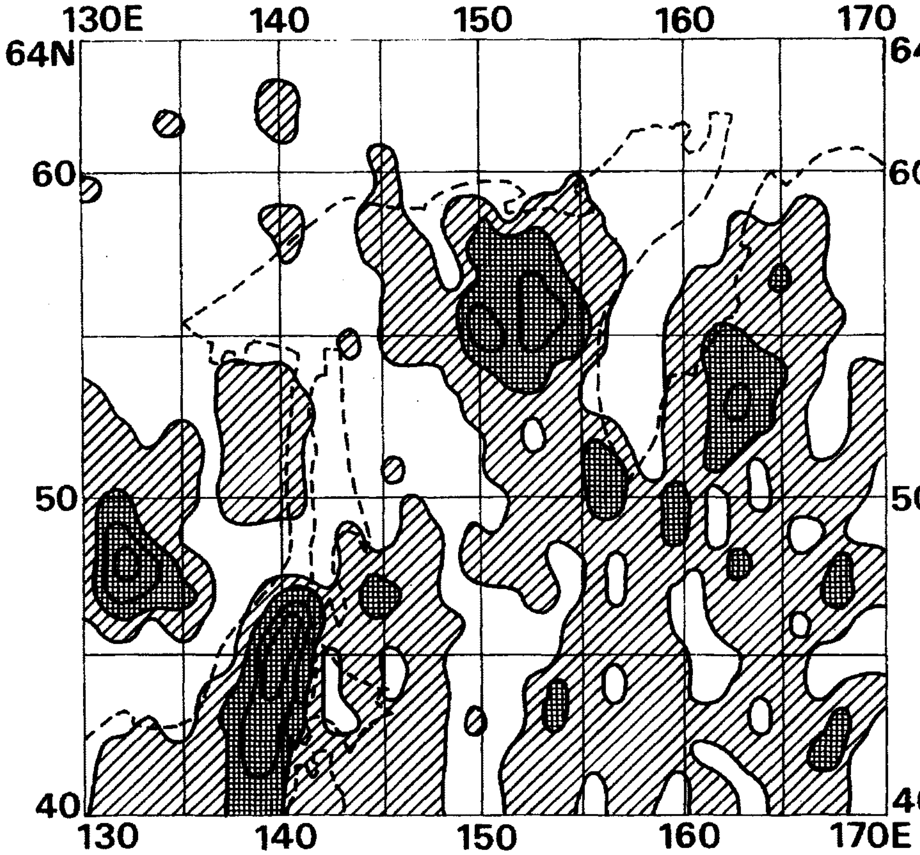
第2図はMacro-β スケールの低気圧出現頻度を示しており，かなり



第3図 Meso-α スケールの低気圧出現頻度分布（1984～1987 年）
集計法，作図法は第 1 図と同じ。ただし，2.5 以上に斜線，5.0 以上に網目をかけた。

発達した温帯低気圧に対応している。他の空間スケール（第 3 図，第 4 図）と比較すると値が小さいが，これは集計・作図方法を統一したことによる純粋に技術的な問題に過ぎない。すなわち集計単位が緯度・経度とも 1 度ずつの四角であるため，長径が 20 度以上の巨大な低気圧の中心が特定の四角に入る確率は小さくならざるを得ない。

Macro-β の低気圧はオホーツク海南部および千島列島から北東方向のカムチャッカ半島東岸にかけて，よく出現している。この海域では，温帯低気圧が通過しやすいだけでなく，急激に発達しやすいことも高頻



第4図　Mese-β スケールの低気圧出現頻度分布（1984～1987 年）
集計法，作図法は第 1 図と同じ。ただし，2.5 以上に斜線，5.0 以上に網目をかけた。

度の原因になっていると思われる。

全低気圧の頻度分布（第 1 図）に認められた高頻度域のうち，オホーツク海北部，日本海北部，アムール川中流域などのものは，この Macro-β の図には出現しない。よって第 6 章に述べたような，低気圧経路図に記載されない「失われた情報」は Meso スケールの低気圧であることが確認できた。

第 3 図は上述の Macro-β より一つスケールが下の Meso-α の低気圧出現頻度を示している。スケール区分は対数的になっているので，このスケールの低気圧の直径はおよそ 400～2000 km と幅が広い。そこで

実際の集計は Meso-α を更に三段階に分け，「大（15 度以上 20 度未満)」,「中（8 度以上 15 度未満)」,「小（4 度以上 8 度未満)」とした。第 3 図はその合計である。本稿で扱った低気圧の総数(データ数)は 5650 で，そのうち Meso-α は 2553 となっている。更に Meso-α (大) はわずか 390 で，Meso-α の 15.3 %を占めるにすぎない。したがって第 3 図の特徴を決めているのは直径 500～1000 km 程度の低気圧ということになる。この図にはカムチャッカ半島東部に目立った高頻度域が無いが，理由はよくわからない。この領域に侵入した Meso-α の低気圧が急発達して Macro-β に変化しやすいためかも知れない。

第 4 図に直径 200 km ほどの Meso-β の低気圧出現頻度を示したが，これは全低気圧の第 1 図とよく似ている。相違点は間宮海峡付近に高頻度域が現れないことだけである。これ以外の四つの高頻度域（カムチャッカ半島東岸海域，オホーツク海北部，日本海北部，アムール川中流域）では同じような位置に小低気圧が多数出現している。このスケールの低気圧の寿命はたかだか 1 日程度なので，この集中域はそのまま発生域と考えることができる。ただしアムール川中流域は例外で，他の 3 領域のような海洋性の低気圧ではあり得ない。この点については別の機会に検討する予定である。

以上のように，オホーツク海周辺に出現した全低気圧（第 1 図）を空間スケール別にマッピングしてみると，5 箇所の高出現頻度域が主としてどのようなタイプの低気圧によって構成されているのかという特徴がある程度明らかになった。まとめると以下のとおりである。

①オホーツク海北部：Meso-β が主体で Meso-α も重なる。Macro-β はほとんど出現しない。つまり温帯低気圧よりも小さい低気圧が多い。

②カムチャッカ半島東岸：絶対数は Meso-β が多いが Macro-β の最高頻度域であり，Meso-α も特に少ないとは言えない。全スケールの低気圧が出現しやすい領域である。

③アムール川中流域：Meso-β が最も多く，次いで Meso-α も多い。どのような低気圧かはわからないが，風下低気圧，熱的低気圧のいずれかまたはその両方が多いと思われる。

④間宮海峡付近(陸地)：Meso-α が主体で，Meso-β は不明瞭なピークに過ぎない。③同様，低気圧の実体はよくわからない。

⑤日本海北部：Meso-β が圧倒的に多く，Meso-α も最高頻度を示すが Macro-β はほとんど出現しない。この海域には冬季に小低気圧が多発することが知られており，その事実とよく整合する。

8. まとめ

低気圧の気候学的研究は，観測精度の向上と低気圧研究の進歩によって方法論の改良を迫られている。特に Macro-β スケールで代表される巨大な温帯低気圧の他に，小さな Meso スケールの低気圧がたくさん発見されるようになったため，基礎データとして低気圧経路図を使用したものと天気図を使用したものとでは，結果が大きく異なる領域が出てきた。その典型がオホーツク海周辺域である。

オホーツク海周辺域において，空間スケール別の低気圧出現頻度分布図を試作した結果，海洋性の低気圧についてはかなり合理的な解釈が可能になることがわかった。しかし，陸上の低気圧については，成因が違う低気圧が同じ空間スケールになりやすいらしく，熱力学的な解析を加える必要がある。この点については，今後，海洋性の低気圧も含めて，特に海氷の分布状況や寒気吹き出しの強度などの年変化に注目した情報を加味して検討していきたい。

低気圧気候学における最新の方法であるグリッドデータの解析は，極めて客観性が高い。しかし現状ではデータの空間分解能が 200～500 km と粗いため Meso-β の低気圧の表現は難しい。したがって本稿で行なった天気図による空間スケール別の低気圧気候学は，当面はかなりの有効

性をもつ手法と評価できる。ただ，客観性については天気図自体の精度に完全に依存するという欠点がある。この点を充分に認識したうえで適用する必要があろう。

参考文献

（和文）

荒川秀俊　1943：『天気分析　上巻』，地人書館，487 pp.

岡田武松　1956：『世界気象学年表』，地人書館，229 pp.

気象研究所　1984：日本付近の低気圧の統計，気象研究所技術報告，第 10 号，21 pp.＋図版 91 枚

斉藤直輔　1982：『天気図の歴史』，東京堂出版，215 pp.

佐藤典人　1991：北半球における 1970 年代冬・夏季の低気圧出現頻度分布，法政大学文学部紀要，第 36 号，pp.77～92.

田坂郁夫　1980：冬季の低気圧通過に伴う日本の降水分布について，地理学評論，第 53 巻，pp.18～28.

ルキヤノフ　1966：外熱帯の低気圧活動，(ソ連科学アカデミー編，当舎万寿夫訳『太平洋の気象』，ラテイス(丸善)，pp.77～95.　原著は 1966 年，翻訳は 1970 年の発行)

吉野正敏　1986：『新版　小気候』，地人書館，298 pp.

和田徳弘　1973：日本海の低気圧について，気象研究ノート，第 115 号，pp. 147～168.

（欧文）

Brennan, F. B. and P. J. Smith, 1978 : The Climatology of Cyclones and Anticyclones in the Upper Mississippi and Ohio River Valleys and Great Lskes Region, 1950-74. *Proc. of Indiana Academy of Science*, Vol. 87, pp. 391-402.

Carleton, A. M., 1979 : A Synoptic Climatology of Satellite-Observed Extratropical Cyclone Activity for the Southern Hemisphere Winter. *Archiv für Meteorologie Geophysik und Bioklimatologie*, Ser. B. Vol. 27, pp. 265-279.

Chung, Y.-S. et al., 1976 : On Lee Cyclogenesis and Airflow in the Candaian Rocky Mountains and the East Asian Mountains. *Monthly Weather Review*, Vol. 104, pp. 897-891.

Colucci, S. J., 1976 : Winter Cyclone Frequencies over the Eastern United States and Adjacent Western Atlantic, 1964-1973. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 57, pp. 548-553.

Dammann, W., 1960 : Klimatologie der Atmosphärischen Störungen über

Europa. *Erdkunde*, Bd. 14, S. 204-221.

Friedman, R. M., 1989 : *Appropriating the Weather.- Vilhelm Bjerknes and the Construction of a Modern Meteorology.* Cornell University Press, 251pp.

Gyakum, J. R. et al., 1989 : North Pacific Cold-Season Surface Cyclone Activity : 1975-1983. *Monthly Weather Review*, Vol. 117, pp. 1141-1155.

Hayden, B. P., 1981 : Secular Variation in Atlantic Coast Extratropical Cyclones. *ibid*, Vol. 109, pp. 159-167.

Hosler, C. L. and L. A. Gamage, 1956 : Cyclone Frequencies in the United States fòr the Period 1905 to 1954. *ibid*, Vol. 84, pp. 388-390.

Klein, W. H., 1957 : Principal Tracks and Mean Frequencies of Cyclones and Anticyclones in the Northern Hemisphere. *U. S. Weather Bureau Research Paper*, No. 40, 60pp.

Kutzbach, G., 1979 : *The Thermal History of Cyclones.-A History of Meteorological Thought in the Nineteenth Century.* American Meteorological Society, 255pp.

Lambert, S. J., 1988 : A Cyclone Climatology of the Canadian Climate Centre General Circulation Model. *J. of Climate*, Vol. 1, pp. 109-115.

Orlanski, I., 1975 : A Rational Subdivision of Scales for Atmospheric Processes. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 56, pp. 527-530.

Overland, J. E. and C. H. Pease, 1982 : Cyclone Climatology of the Bering Sea and Its Relation to Sea Ice Extent. *Monthly Weather Review*, Vol. 110, pp. 5-13.

Pettersen, S., 1950 : Some Aspects on the General Circulation of the Atmosphere. *Centenary Proceedings of the Royal Meteorological Society*, pp. 120-155. (筆者未見, R. G. Barry and A. H. Perry, *Synoptic Climatology*, Methuen & Co., 1973 に所載の図と解説による)

Reitan, C.H., 1974 : Frequencies of Cyclones and Cyclogenesis for North America, 1951-1970. *Monthly Weather Review*, Vol. 102, pp. 861-868.

Sanders, F. and J. R. Gyakum, 1980 : Synoptic-Dynamic Climatology of the "Bomb". *ibid*, Vol. 108, pp. 1589-1606.

Streten, N. A. and A. J. Troup, 1973 : A Synoptic Climatology of Satellite Observed Cloud Vortices over the Southern Hemisphere. *Quart. J. Royal Meteorological Society*, Vol. 99, pp. 56-72.

Taljaard, J. J., 1967 : Development, Distribution and Movement of Cyclones and Anticyclones in the Southern Hemisphere During the IGY. *J. Applied Meteorology*, Vol. 6, pp. 973-987.

Taylor, K. E., 1986 : An Analysis of the Biases in Traditional Cyclone

Frequency Maps. *Monthly Weather Review*, Vol. 114, pp. 1481-1490.
Ueno, K., 1991 : Climatological Features on Extratropical Cyclone Activity in the Middle Latitudes of the Northern Hemisphere. *Climatological Notes*, No. 40, pp. 77-90.
Umemoto, T., 1982 : Cyclone Frequency in East Asia and Double-Cyclones. *Geographical Reports of Tokyo Metropolitan Univ.*, No. 17, pp. 43-60.
Wittaker, L. M. and L. H. Horn, 1981 : Geographical and Seasonal Distribution of North American Cyclogenesis, 1958-1977. *Monthly Weather Review*, Vol.109, pp. 2312-2322.
Zishka, K. M. and P. J. Smith, 1980 : The Climatology of Cyclones over North America and Surrounding Ocean Environs for January and July, 1950-77. *ibid*, Vol. 108, pp. 387-401.