

大循環の季節変動*

—昭和46年度大会シンポジウム予稿—

1. 日時：10月6日（水）15：20～17：00
2. 会場：第1会場
3. 座長：菊地幸雄・杉本 豊
4. 話題提供者
 - 山崎道夫：春から夏に至る季節変化過程
 - 新田 尚：数値実験の立場から
 - 松野太郎：成層圏突然昇温について

冬から夏に至る季節変化過程

—北日本の冷夏に関連して—

山 崎 道 夫**

1. まえがき

例年気象庁で開催される『全国長期予報技術検討会』のテーマとして、昭和41～43年度は『暖候期季節予報』を集中的に検討した。対象とした主要項目は、気候変動、日本の天候の特性、大循環の季節変化、循環と冷暑夏、成層圏循環、亜熱帯高気圧、その他の技術開発など多岐にわたっている。ここではこの検討会で調べられた中から本題に直接関連のある部分を中心としてのべる。

なお、上記3か年のまとめは、研究時報19, 20, 21巻に掲載されているので参照願いたい。

2. 平年の温度・高度場にみられる特徴

冬から夏に至る平年の地上気温0°C線の動きをみると、当然のことながら大陸上と海洋上では著しい差異が認められる。ユーラシア大陸では3月まで地上気温の上昇は比較的小さいが、3月から4月の間に急激に昇温し、0°C線は1か月に緯度にして10～15度も北上する。これに対して海洋であるアリューシャン付近では4月までほとんど昇温がみられず、また大西洋北部のアイスラ

ンド付近に至っては5月まで0°C線の北上がみられない。しかし、アリューシャン・アイスランド付近ともいったん0°C線の北上が始まればむしろ陸上以上に急速に北上する点が特徴的である。

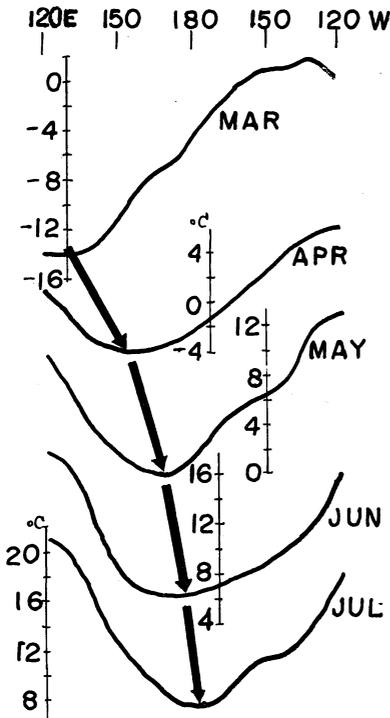
佐藤功（1967, 1970）は、大気中における熱源や冷源の一つの指標として1,000～500mb、層厚の季節変化を調べて、春から夏にかけての日本の天候に大きな影響をおよぼす高気圧の動静に結びつけようとした。層厚の平年の季節変化を陸上と海洋上で比べてみると、陸上では日射の受熱量に比例して順調に増大するの比べ、海洋上では5月になってはじめて増大し、しかもいったん増大に転ずるとその増え方は急速である。これは先にのべた海面上における0°C線の北上と同じような変化形態であり、海洋上における大気中の気温上昇は、日射による受熱以外——もちろん陸上と海洋との熱容量の相違だけではない——の作用に大きく影響されていることを示唆する。

さて、季節変化を考える場合のもう一つの特性は、気圧や気温分布の東西変動である。第1図には55°Nに沿った地上気温の変動を示したが、これから、3月に沿海州にあった低温域は月を追うごとに東進し、6月、7月には

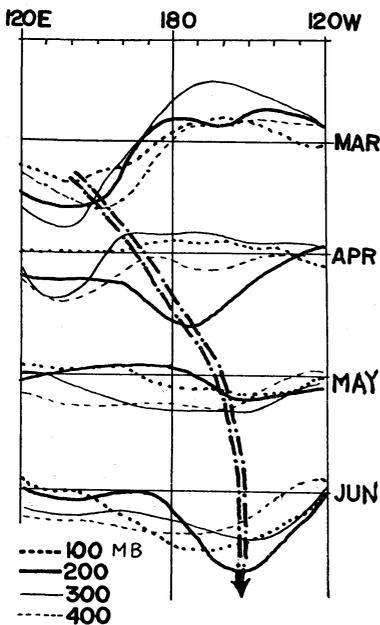
* Seasonal Variation of General Circulation

** 札幌管区気象台

—1971年8月12日受理—



第1図 55°Nに沿う地上気温(平均値)の季節変化



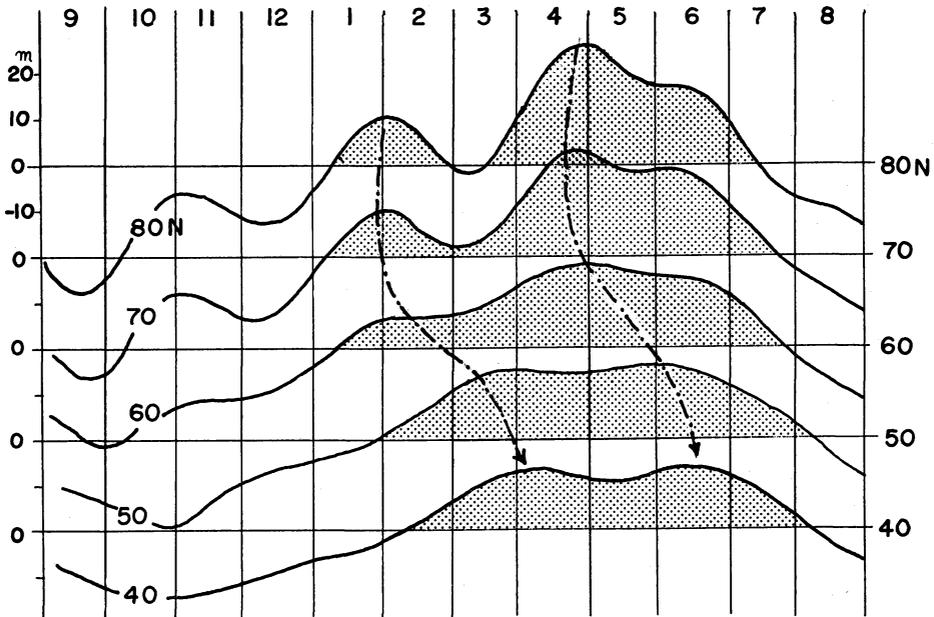
第2図 上部対流圏におけるアリューシャン南部のトラフの形成過程(平均値)

アリューシャンに達しているかと分かる。前述の層厚についても調べると、明らかに冬から夏に向うにつれて谷が東進し、5月にすでにアリューシャンまで進んでいる。

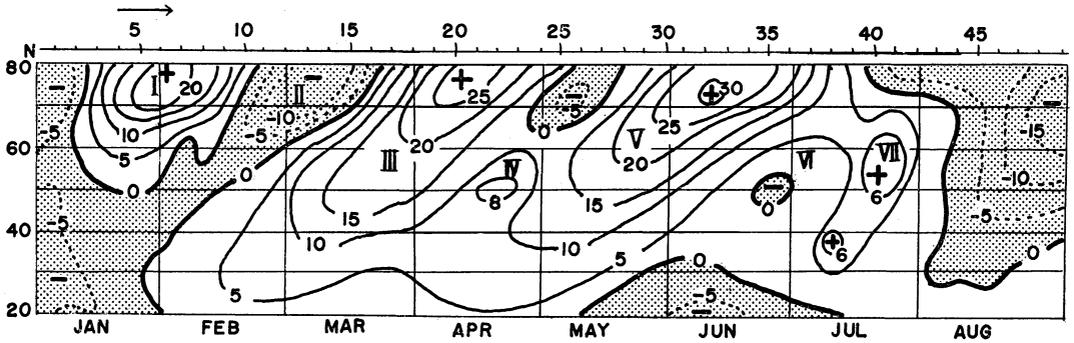
しかし、さらにアリューシャン付近の上部対流圏について調べると(第2図)400~100mbの各層とも、500mb以下とほとんど同じように谷の位置の東進がみられ、冬期間大きな尾根を形成していた180~160°W付近が、夏に深い谷に変わる様子がよく現われている。なかでも200mb面は最もけんちゅであるが、これらについて佐藤(1968)は、このトラフは梅雨期にベーリング海に出現して日本付近の梅雨型気圧配置に関連する極うずにつながるものであり、対流圏下層よりも上層にその原因があることを示している、とのべている。結局、ベーリング海・アリューシャン付近に春以降定常的な気圧の谷が形成されることは、オホーツク海高気圧とも関連して北日本の梅雨期から盛夏にかけての天候に大きなつながりをもっているのであるが、その成因については地形のほか、中・下層対流圏ではベーリング海峽から南下する北極海の冷水、上部対流圏では成層圏極うずの崩かいと関連があるように思われる。

つぎに、平年の500mb高度半月平均図によって、もう少し詳しい季節変化をみよう。北半球で500mb高度が最も低くなる時期は、60°N以北では1月半ば前、50°N以南では2月10日前後で、高緯度の方が中・低緯度に比べて1か月近く早い。その後の経過を示したのが第3図である。ただし、図には前半旬との高度差を用い、また単純化するために緯度平均してある。特徴的なのは1月下旬と4月末頃を中心として高緯度に現われる2回の高度上昇が、次第に南下していることと、3月に極うずが再発達するように見える現象である。柏原(1967)によれば、2回にわたって高緯度に起ったこの高度上昇はそれぞれ別個の系統のものであるが、いずれも約2か月かかって中緯度に達し、特に第2のステージに起った高度上昇は、5月末に60°Nまで南下した際オホーツク海のブロッキング高気圧の発現に関連がありそうに思われる。

一方、佐藤功(1970)は第4図のような80°Eにおける高度変化量のイソプレットを示した。これによれば500mb高度の前半旬差の極大は高緯度から南下するのではなく、低緯度から1か月半位かかって北上していることになる。図は省略するが、第4図の中の第Vステージについて北半球全域の状況を調べた佐藤は「4月半ばに低緯度から始まった第Vステージは5月末に東シベリアに達し、日本の東方を北上した高度上昇と東シベリ



第3図 北半球 500mb 半旬高度平均前半旬差の平年における経過 (単位: m)



第4図 80°E に沿う 500mb 半旬平均高度の前半旬からの変化量イソプレット (単位: m)

アで合流する。これはオホーツク海方面のブロッキング高気圧の形成に関係し、5～7月は南北の熱交換がシベリア方面で顕著になる。なお、中国大陸東岸は、アリューシャン・中部太平洋とともに 500mb 高度上昇のおおい地域で、そのために両地方は気圧の谷となっている”とした。

八重樫(1961)もこれらについて検討しているが、2月末にアリューシャン南部に現われた高度上昇域は、季節的に北に向う 500mb 高度の上昇傾向と超長波の西進性との合成として、うず巻状に時計廻りに北西進し、5月末にはオホーツク海北部に達すると解釈した。

なお、和田(1966)は、月平均値でみた一つの特性と

して3月から4月にかけての 500mb 高度上昇をあげた。すなわち、4月から3月の高度を差引いた値は、オホーツク海・モスクー平原・カナダ東部を中心にした3地域に著しい上昇域がみられるが、このような分布は典型的な北日本の冷害年の夏の偏差分布と一致していることである(たとえば1954年7月)。このことから、北日本の冷夏は、春の循環の特性が遅れて夏に入ってから起り、それに伴って現われる天候現象ともみなしうであろう。

このように、北半球的な温度場や高度場の季節変化はかなり複雑であり、その高度上昇も決して一様に起っているのではなく、超長波の変動、極うずの中心の変動と

関連しているように思われる。また、春にみられる3波長形式の高度上昇は、異常な天候の月に現われる偏差分布型と似ている点は注目すべきであろう。

いずれにしても、単に平均値を取扱うだけでは高度上昇域の追跡さえ統一した解釈が難かしく、今後エネルギー計算・数値実験などが重要となってこよう。

3. 梅雨型とブロッキングの形成

春から夏にいたる日本の天候経過で最も注目されるのは梅雨型の気圧配置である。その総観的な解析は多数なされておりモデル化されているが、季節予報的にみた形成過程や前兆現象はまだ十分にわかっていない。

加藤(1968)は月平均値を用いて各層、各要素の北半球的な季節変化の特徴をまとめたが、梅雨型の形成についておおよそつぎのように考えた。

まず、6月になって高緯度における500mb低温域がシベリア方面よりベーリング海方面に東進すること、内陸地方が高温になるためベーリング海方面が相対的に低温になる効果が重なり合ってオホーツク海西岸で東西の温度勾配が極大になる点に注目する。このため、この地域では北よりの温度風が強まり、極方面から寒気がもたらされるものとする。また、これより緯度の低い地方では太平洋高気圧の発達と大陸方面の低気圧の発達に伴って500mbの谷は南部では西進し、地衡風南分の最強域が日本の南に達する。かくして、6月の日本付近のパターンは、北方では東谷、南方では西谷傾向で、北と南とでは逆位相型となって、ここにブロッキング型が形成されるというのである。加藤は梅雨型の解消や従来の梅雨論との比較検討も行っている。

すでに前節でふれたことであるが、6月頃のベーリング海の谷については大川(1968)も吟味を行ない、太平洋北東海域の水温は持続性が強く、いったん広い範囲にわたる強い正・負偏差域が現われると500mb高度場の変動にかかわらず3~5か月にわたり同じ海水温偏差域が停滞することなどから、2~3か月の長期間をとると平均的に海水温の高低が大気中層の循環にかなり影響するらしいと推論した。もっとも大川の所論の特徴は、オホーツク海高気圧の形成に対する海水温の影響を考慮する場合、今まで主としてオホーツク海・親潮流域の低水温の直接的効果をあげていたのに対し、ベーリング海の低水温とそれによる谷の深まりがその西側のブロッキングの発達に関与するという可能性を示した点にある。また、海水の解ける時期の遅速や氷縁の南北変動が循環場に影響を与えるらしいことはしばしば指摘されていると

おりである。

つぎに、超長波の動向に着目してみると(関根:1968 1970)50°Nの1~3波の合成波は、冬にオホーツク海にあるが3月から4月にかけて徐々に東進し、5月と6月にはベーリング海に移っていく。その下流の尾根は、冬はベーリング海東部からアラスカにあり、5~6月ごろはカナダ西部に位置する。これらの地域の場の変動は梅雨期の低指数型循環の出現に寄与すると考えられる。また、大規模な南北循環には超長波が関連しているし、超長波の谷の場は寒気が流出している場所でもあるのでその動向は極めて重要であろう。関根はこの観点に立って調べ、冬から春にかけて超長波の振幅が異常に大きく、しかも春に太平洋東部からカナダ方面の上層の流れが蛇行しているときは梅雨期に高緯度の高度が高くなる、つまり低指数循環が現われやすいことを示した。

荒井(1968)は平年の梅雨期の超長波について、波数1の位相は60°Nでは100°E付近が尾根、40°Nでは130°E付近が谷となっていて、極東のブロッキング活動を強める傾向にあることを示した。そして、この場合波数2と3が日本の北方ではそれぞれ谷と尾根になって互に打消しあっているのである。つまり、波数1の動向に特に注目する必要があるわけで、梅雨が特に顕著だった1954年を調べると、波数1の振幅が高緯度・中緯度とも非常に大きかったのである。

つぎに、ヒマラヤ周辺の亜熱帯ジェットの上と関連してインドのモンスーンと日本の梅雨が同時に始まることは以前から知られており(朝倉:1955)、チベット高原上の高気圧性循環が強いとインドの南西モンスーンも強い傾向がある。朝倉(1968)のまとめた結果はつぎのとおりである。

- (1) 5月にチベット高原上の高気圧性循環が強いと6月にはオホーツク海からベーリング海にかけ高気圧が出現しやすく、日本付近では梅雨型が卓越する。
- (2) 6月にチベット高原上の高気圧性循環が強いと、7~8月には西日本は高気圧圏内に入るが、ウラル付近とカムチャッカ付近が尾根になり、北日本低温型となる。この場合、8月も北冷西暑となりやすい。
- (3) また、ヒマラヤ付近に熱源、太平洋北部に冷源を与えて数値実験を行なうと8日目にダブルジェットが現われ、10日目には極東のパターンは梅雨型になる。このチベット付近の高気圧について、和田(1967)は500~100mb層厚の平年値の変化で調べた。これによると3月から4月にかけては北極を中心に全般的に昇温し

ているが、チベット付近だけは逆に気温が下がっている。これは4月にこの地域が融雪期に当たっているためである。久保田(1968)のエネルギー収支の見積りによると4月の50°N帯の大陸上では大気から地面に与えられたエネルギーのほとんどが融雪に消費されている。しかし、5月になると昇温が著しくなり、6～7月は北半球で最大の昇温域となることが分った。

以上からみると、梅雨現象の特徴はオホーツク海高気圧と上層のダブルジェットおよび低指数循環であるが、その形成条件としてベーリング海の深い谷とチベット高原の背の高い高気圧の役割が大きいことが次第に明らかになってきた。最近、久保木(1971)は梅雨期の天候分布に「全国的低温」、「全国的高温」、「北暖西冷」、「北冷西暑」の4つの型があり、それらが、5月の極うず・太平洋高気圧・西半球の尾根によってそれぞれ特徴づけられていることを明らかにしたが、今後ともエネルギー収支、数値解析とともに現象自体の総観過程を解明する必要がある。

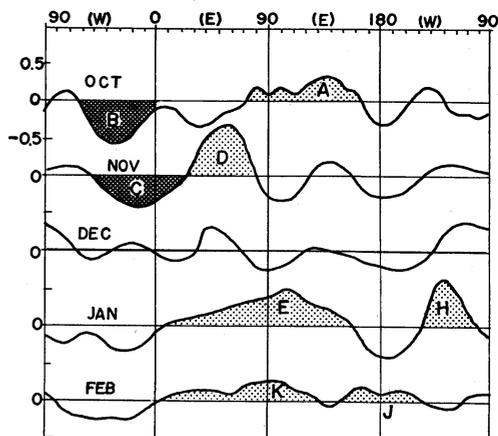
4. 北日本の冷夏と循環の季節変化過程

よく知られているように、西日本における夏季の天候は亜熱帯循環との関連が強いのにに対し、気候的前線帯以北にある北日本では偏西風・じょう乱の影響を受けやすい。長期予報は循環の平年からの偏りを予想するものであるから、年々の季節変動をもたらず物理的根拠が明らかにならなければ満足する結果はえられない。その意味で、不十分ではあるが予報上の2、3のポイントについて述べらる。

1) 前年秋以降のおくれ相関場に現われる特徴

夏の北日本における気温とそれ以前の北半球500mb各格子点高度とおくれ相関図を月別に作ると、春の4月以降と前年10～11月頃に平均的に相関の高い時期があらわれ、1～3月の冬期間はそれに比べると若干関係がうすくなっている。すなわち、半日本の冷暑夏の前兆はすでに前年秋頃から大気循環の特性としてとらえることができ、春になるとそれが一層明瞭な形で現われてくる。しかし、秋から冬にかけて太平洋北部(負相関)およびウラル地方・ヨーロッパ(正相関)など日本から離れた地域との相関が高いのに比べ、春は太平洋地域(正相関)との相関が高く太平洋高気圧の張り出し状況が大きく影響することがわかる。

久保木(1967)は夏の到来が早く、7月の気温が高い時には同時に秋田付近の500mb高度が高いことから、第5図のような相関図により予想を試みた。この図に示

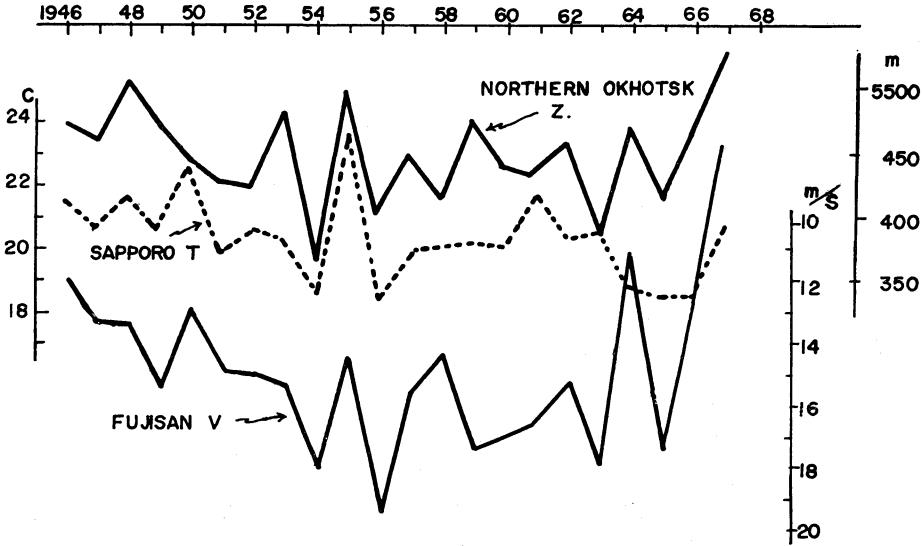


第5図 7月の秋田付近の500mb高度と前年秋から冬にかけて50°Nの沿う500mb高度との相関分布(1946～1966)

される特徴はつぎのようなものである。

- (1) 前年10月の気圧の尾根はシベリア東部(A)にあり、イギリス付近では気圧の谷(B)となる。
- (2) この谷は11月も持続するが(C)、11月の着目すべき点はヨーロッパからソ連にかけての気圧の尾根(D)である。
- (3) このような初冬の循環は1月のシベリア高気圧(E)や、アメリカ西岸の気圧の尾根(H)を強め、アリューシャン方面は気圧の谷となる。しかし、低緯度循環にも著しい特徴が現われ、南太平洋(G)や北アフリカ(I)はいずれも高圧部となる。
- (4) 1月から2月にかけては大きく循環の様相が変わり、特にシベリアでは気圧の尾根が弱まり(K)、逆にアラスカからカナダにかけて気圧の尾根(J)が発達する。

このように秋の低指数型循環を前兆とし、上の経過をたどる循環をモデルとして、A～Kの地域につき検証を行なった結果がなり良い成績をおさめた。したがって、秋から冬にかけての大循環の経過が日本の夏の天候とかなり関係のあることがわかるが、問題はその過程をどのようにして総観的な立場から説明するかにある。久保木は、相関図を用いて暖冬—冷夏、寒冷—暑夏の関係(たとえば八重樫:1970)より解釈を試みている。この点について、関根(1970)がかつて安藤(1956)が求めた前年秋の高緯度における気圧(極空気量)と東北地方の夏の気温との関係に、冬～春の超長波の動向を加味してほぼ満足する結果をえたが、方法的に今後の一つの方



第6図 札幌の7月気温と5月の富士山風速および5月のオホーツク海北部500mb高度との関係

向を示唆しているように思われる。

2) 極うずの動向と冷暑夏

極うずが大循環のパターンを大きく支配する作用中心の一つであることはいうまでもない。しかし、夏季は極うず自体が弱く、冬季程ははっきりした関係はえられない。

夏季に極うずの中心が東半球側か極付近に位置する時には北日本は冷夏となりやすく、西半球側に位置する時は暑夏になりやすい。前者の場合、夏の極うずは平均してフィンランド方面に位置しやすいのに東半球側に偏しているのだから、周極流としても極東方面に南下し北日本では寒気の影響を受けやすいのである。そして一般に東半球側に片寄りやすい年には、冬季からその傾向が認められる。したがって極うずが冬季から分裂しやすいことは、春以降にも低指数循環が卓越しやすいとして注意を要する。

松倉(1967)によれば、特に2月頃に極うずが極付近にまとまっているような年(1948, 50, 55, 60, 61, 64年)は1964年の北海道冷夏年を除いて全般に高指数で暑

夏になっている。一方、夏季に極うずが極東寄りに偏りやすい年はすでに2月頃に分裂傾向をもっているという。また、例年であれば5月に西半球と極東方面から北上したうずが極付近で結合するが、5月になっても極うずが分裂しており、6月か7月に延びるということは、それだけ循環系が、季節的におくれていることを示しているので冷夏になりやすい。

なお、和田(1962)、Labitzke(1962)によって提唱された、成層圏の最終昇温の遅い年(早い年)に北日本やドイツで夏の天候が不順(順調)であるという関係は、いうまでもなく成層圏の極夜うずの崩壊、夏型循環への移行の遅早を意味する。成層圏における最終昇温が、単純な過程で対流圏高緯度の寒気の強さ、さらに中緯度循環の動きに結びつくとは思わないが、成層圏と対流圏の循環を総観的立場から統一的に解釈することも可能であるとの示唆を与えるものであろう。

冬季の100mb面の気温と夏の気温との関係については斉藤博(1962)、今田(1962)ほか幾つかの調査があるがここでは省略する。

3) 最近の気候変動による影響

1960年付に入って世界的に異常気象の多発が目立ってきたことはよく知られた事実である。北半球的にみた特徴的な現象としては、①極地方の寒冷化、②中緯度南縁の乾燥化、③赤道地方の多雨化、があげられている。われわれの身近な問題としても、北海道における第2種型冷夏*の続出、関連の反転や乱れ、などが起っている

* 第1種冷夏：典型的なオホーツク海高気圧の出現により、北東風が卓越し、北日本では太平洋側、特にオホーツク海沿岸の低温が著しい。近年では1954, 1956年がこれに当る。

第2種冷夏：大陸の尾根の発達により寒気が北西から南下し、寒気の経路に当る北海道の日本海側が強い低温になる。1964, 65, 66年がこれに当たる。

が、この原因は主として極地方の寒冷化に伴う循環の変化によるものであろう。

相関の反転の一例として柏原(1968)は第6図のような札幌の7月気温と5月の富士山頂風速との関係を示した。ここにみられるとおり、両者の間には1960年まではかなりきれいな逆相関が成り立っているが、1961年以降極方面の寒冷化が進んでからこの関係に乱れが生じ、正相関に反転したともみることができるようになった。5月は寒帯ジェット気流が日本中部を北上する時期に当たっているため、1954年のように極うずが極東側に変位した年には対流圏における温度場の集中に伴って富士山頂の強風が期待されていたものである。

このように気候変動によって引き起される循環の変化は、半球的な相関場にも反転や乱れをもたらす。柏原(1969)は札幌の7月気温と500mb高度との同時およびおくれの相関図を1950年代と1960年代についてそれぞれ求め、極地方寒冷化の起った以前と後について比較を行なった。同時関係についてみると、オホーツク海北部や太平洋域、さらにグリーンランド付近の相関分布が明瞭に反転しており、1960年代は極うず自体の強弱が直接北日本の夏の気温を支配していたと解釈できる。また、7月の札幌気温とその前兆としての5月500mb高度とのおくれ相関図を比べると、両年代ではオホーツク海北部やアラスカ方面でも相関の反転が起っている。オホーツク海北部の高度との相関の反転は第6図に現われているとおりである。これをまとめると、1950年代は北半球の高指数型が暑夏の前兆と考えられたのに対し、1960年代には極うずが春から弱いき暑夏になり、強いときに

は冷夏を招来すると考えられる。

参考文献

- 1) 和田英夫・朝倉 正(1967): 暖候期予報法の検討(昭和41年度), 研究時報, **19**, 124-159.
- 2) 根本順吉・久保木光照(1968): 暖候期予報法の検討(昭和42年度), 研究時報, **20**, 248-292.
- 3) 朝倉 正・久保木光照(1969): 暖候期予報法の検討(昭和43年度), 研究時報, **21**, 702-744.
- 4) 安藤正次(1956): 北半球の空気量の変動からみた大気環流(第一報), 研究時報, **7**, 755-764.
- 5) 朝倉 正(1955): 梅雨の入りとモンスーンの入り, 天気, **2**, 186.
- 6) 気象庁(1971): 季節予報指針, 上巻.
- 7) 久保木光照(1971): 5月の500mb循環と梅雨期の天候, 天気, **18**, 132-140.
- 8) Namias, J. (1964): Seasonal Persistence and Recurrence of European Blocking during 1958-60, *Tellus*, **16**, 394-487.
- 9) 佐藤 功(1970): 北半球の冬から夏への大循環の季節変化とその特性, 昭和44年度全国長期予報技術検討会資料(大阪管区)
- 10) 関根勇八(1970): 超長波の動向からみた梅雨期の高緯度の高度場について, 研究時報, **22**, 391-400.
- 11) Wada, H. (1964): Some Aspects of the General Circulation of the Atmosphere in Winter to Summer. *Geophys. Mag.*, **32**, 77-106.
- 12) 和田英夫(1969): 長期予報新講, 地人書館.
- 13) 八重樫佐平(1961): 近年における大気循環の季節変動について, 研究時報, **11**, 348-358.
- 14) 八重樫佐平(1970): 冷夏年と暑夏年に先だつて現われる大気環流の季節変化過程の比較, 研究時報, **22**, 1-7.

数 値 実 験 の 立 場 か ら

新 田 尚*

1. 大気・海洋に関する大循環の数値実験は、今、新しい時点に立っていると思う。これ迄、年平均状態の数値シミュレーションに力が集中され、かなり詳細にわたる再現に成功してきたことは周知の通りである。しかし、同じ太陽高度のまま固定して、長時間の積分を重ねても、その結果はある種の大循環の平衡状態は示しているもの

の、現実のどの季節の状態とも直ちに対応するものではない。数値実験の技術を、季節変化の追跡 (seasonal march) へとむけだしても不思議ではない。

Kurihara, Manabe 等の GFDL のグループ、Mintz, Arakawa, Katayama の UCLA のグループ、Kasahara, Washington 等の NCAR のグループと、アメリカで一斉にスタートをきられた感がある。かくて、春夏秋冬の

* 気象庁予報部電子計算室