

# 大気—海洋の相互作用について\*

—ナマイアス教授の東京講演より—

相原正彦\*\* 菊池幸雄\*\* 二宮洸三\*\*

日本気象学会及び気象庁の皆様、今回の日本滞在中に皆様方の前でお話しをするように、ここにお招きをうけたことを喜ばしく且つ名誉に思います。皆様の中には、私が1954年の台風シンポジウムと1960年の国際数値予報シンポジウムの2回、来日したことがあるのを覚えておられる方がいらっしゃると思います。今回、また来日致しましたが、来日の機会が幾何級数的に延びるのではなくて、逆に間隔がもっと短くなることを望むものであります。

今日の私の話題は長期予報に関するものです。または、長期予報において解決せねばならぬ諸問題について、と云ってもよいでしょう。ここで日本における長期予報の長い歴史について話す必要はないと思いますし、触れないつもりです。長期予報は大変難しい問題であり、これまでに実際、幾つかの成果がありました。前途遼遠という所です。現在、我々は短期予報とは違って、長期間にわたる予報をするための簡単な数値モデルをまだもっていません。多分、そのうちにそのようなモデルをもつに至るでしょうし、私はそれを望むものです。ところで、心に留めておかねばならぬことが二つあります。長期予報法は短期予報法とは、ひどく違うものであるでしょう。短期予報では、我々は現在、繰り返し法(逐次積分法)を使っています。即ち、現在、 $t=0$ から出発して多くの時間の繰り返しの後に、今では、大体72時間位までの予報が或る程度成功しています。ブリミティブ方程式による24時間とか36時間予報もかなりの成功を取っていますが、まだ、完全なものからは程遠いのです。我々はまだ計算機による予報に加えて予報官による主観的予報も必要としています。繰り返し法による予報は急速に悪くなります。我々はこの方法によって

は、長期間に延ばすことは出来ずまい。私の同僚の中には、この繰り返し法によって将来、2週間とか、3週間先の精しい予報ができるようになるだろうと思っている人がいます。そのことについては何も証明されていませんし、私はそのような予報ができるようになることについての確信はありません。多分、GARP計画とかWWW計画などが実施されると、出来るようになるかもしれません。

しかし、我々としては2週間以上の予報がしたい、1ヶ月とか季節予報などもしたい。また、10年というような長期の予報もしたい。気候というものは常に変動するものであり、産業、農業、米作、など多くのことが長期の天気予報に関係があるからです。恐らく大気汚染の問題も例外ではないでしょう。我々はこの長期の変動を予報したい。しかし、毎分又は1日1日と繰り返す逐次積分で予報を行なうことが不可能とすれば、どのような途があるでしょうか。別のやり方があります。

大気中には、いろいろと種類の違った運動があります。空間スケールから言えば、中小スケール、メソスケール、ミクロスケール、からシノプティックスケール、マクロスケール、等がありますし、時間変化の観点からみても違った種類の運動があります。このことは、古くは1880年に遡って、フランスのテイスランド・ボール(Teissenc de Bort)の頃に知られていたことです。長期予報の仕事にたづさわっている人は誰でも容易に、統計的に処理し、また今日に至るまでの歴史的な出来事も利用せねばならぬ半統計的な性質の問題であることを理解するでしょう。単に現在、 $t=0$ のみでなく過去についての事柄も知らなければ、これから何が起るかについて説明するには至らないでしょう。私が強調したいのはこの点なのです。このことが、問題を非常に容易にします。しかし、同時に大変難しい問題でもあります。まず、我々は天気について詳細な予報をしようとする試

\* Atmosphere-Sea Interaction on the Long Term

\*\* M. Aihara, Y. Kikuchi and K. Ninomiya 気象研究所

—1971年5月7日受理—

みをあきらめねばなりません。そのような試みはあきらめて、例えば1週間、2週間、1月とか季節についての大規模な平均状態のみを予報しようとするのです。我々は英国のプラントの仕事を知っています。彼は若し、太陽エネルギーの供給を止めると、摩擦のため全大気の運動が1日で消滅することを計算しました。その後、彼の計算には間違いがあることがわかり、現在では、大気はもっと運動エネルギーをもって、摩擦による消滅もそれ程大きくなく、大気の運動が減衰するには多分、1週間はかかるだろうと云うことを知っています。実際の大气中に起っている現象は、1ヶ月とか或る季節を通しての規則的な気候の変化であります。何がこのような変化を起しているのでしょうか。例えば、日本に非常に寒い冬をもたらすものは何か、また、或る冬は冷たく翌年に暖い冬が続くのは何故だろうか、或る時期に多量の雨が降り、次の時期に降雨がそれ程多くないのは何故か。大気の循環や気団にはいろいろの型があります。凡ゆる現象は、単に毎日毎日継続して起るものだけでなく、或る時期をおいて繰り返してくるものもあります。或る日、低気圧がやって来て通過していくと、数日のうちに、また別の低気圧が同じ様にやってくる。個々の低気圧は違うけれども、現象としては同じで、これが何回も何回も繰り返されるのです。このようにして大規模現象の長期間にわたっての標準偏差は非常に大きくなり、ランダムな系のもつ標準偏差よりも遙かに大きい値をもつようになります。何がノルマルからの系統的な外れを作り出すのでしょうか。皆さん方は気候学におけるノルマルな状態、即ち、気候と云うものを知っています。

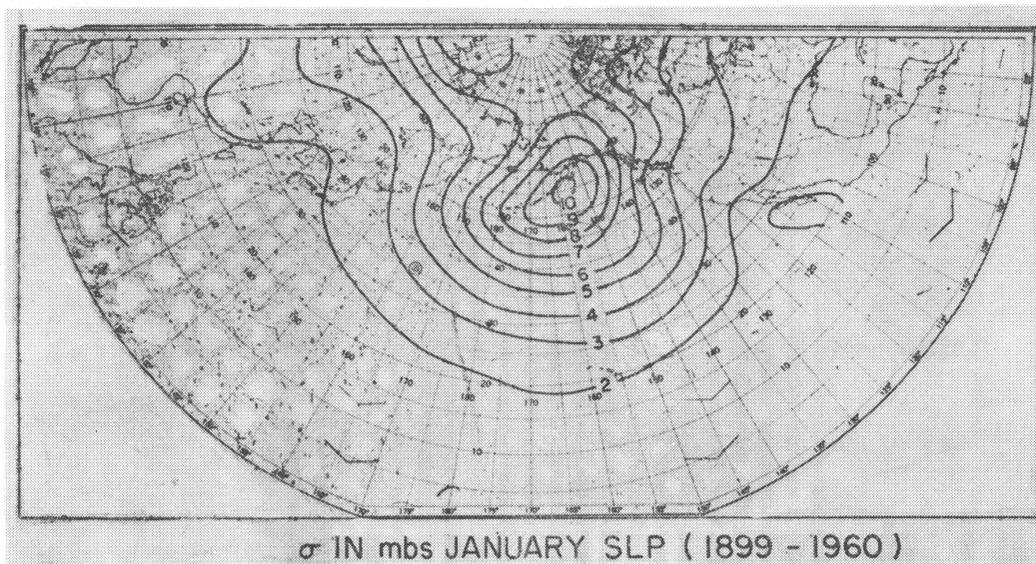
この気候の上に重なっているものが偏差であり、今日、私はこの標準偏差について話してみたいと思っています。この偏差を作り出す原因は何でしょうか。気象学の歴史を通して、これについては非常に多くの仮説が出されました。日本において、過去にこの分野によい研究者が居られたし、現在でもよい研究者が多く居ます。岡田武松氏の時代には、海面温度と米作の関係を探ることが問題解決の1つの手掛りでありました。今日の私の話の中でも、海面温度が非常に重要であることを、皆様は理解されることでしょう。

我々は大気系の中に、加えられた系統的な外れを元に戻すような或る記憶を作る必要があります。記憶を呼び戻す何物かが必要であります。それには何かがあるのでしょうか。太陽放射、又は紫外線の変化、等があるかもしれませんが、ドイツのパウルや、多くの人々はそう考えていま

す。また、アメリカのウイレットは長期間の変動に有効なものは太陽活動の変化であると主張しています。しかし、彼等はそれらを、はっきりと証明したわけではありません。仮りに、太陽活動が有効だとしても、その効果のみを取り出すことは非常に難しく、実際に応用することはもっと困難ですが、しかし、もっと研究を進めるべき問題ではあります。

他に何か原因が考えられるのでしょうか。地球の表面が非常に不均一であると云う事実があります。雪や氷による地表面の被覆状態は毎年変化しており、従って、地球のアルベード、すなわち、太陽の反射率、雪や氷を融かすに必要な熱量が、雪や氷の覆っている地域の境界線が変るにつれて年々変化することも原因であり得ます。もう1つ非常に重要と思われるものに海洋の温度があります。私は今日、主にこの点について話したいと思います。海面温度は北太平洋の約1/3に及ぶ範囲で変化しており、温度は月平均、又は季節平均に対して華氏で5~6°から7~8°、ズレていることがあります。而もこれは広範囲で、水平の広がりは大気の活動中心、即ち、太平洋高気圧、アリューシャン低気圧、カムチャッカ低気圧、程度の大きさをもっています。これらの面積は広く、海水自身の差も顕著であります。海水から大気に供給される顕熱及び潜熱の量は、気団の特性と同時に、その下にある海面温度に依存しますから、表面温度が違えば、それらも変わります。さて、後でスライドや資料を用いて皆様に示したいことは、海洋の持続性についてであります。即ち、海洋の変化は緩慢であり、大気の変化は速やかであることです。海洋は極めて大きな容量をもっており、例えば、数百メートルの深さの海水をとりあげても極めて多量の熱量を貯えていることです。熱をとり出して大気に与えるには多くの時間を必要とします。従って、ここに大気系の制御因子としての海洋系があり、同時に、海洋自身がその熱的構造を大気に依存しているのです。多量の乾燥した冷たい空気が大陸から海洋にやってくると、海から顕熱及び潜熱の供給を受け、風向や海面での風の応力はエクマン層中の輸送を変えます。海洋のいろいろの場所の貯積された熱量をも変化させます。

大気は割合速やかに変化を受け、海水にも何等かの影響を与え、また、海水自身はゆるやかに反応して再び大気に影響を与えます。この二つの系は変化の時間スケールが違っているので、大気系には各種の変化を起させるのです。大気の状態を長期間予報するには、海洋の状態も予報しなければならない、というのが私の主張です。



第1図

海洋の熱的性質を予報するには、大気の性質を予報しなければなりません。即ち、両者は一つの結合系として相互作用を考慮しつつ予報しなければならないと云うことです。両者は非線型の系をなしています。いま、海洋を考えて、それが大気と相互作用があるとするとき、この両者を一つの系として考えると、難しさは二倍では済まされず指数関数的に大きくなります。二つの系を一緒に考えると困難は極めて大きくなると云うことです。現在、この講堂にお集りの皆さんの中には多くの若い方がみえますが、この困難な問題を解決するには多くの年月を必要とすることでしょう。しかし、大変に重要な問題であると思います。

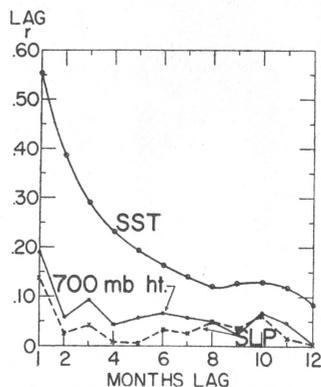
今日、私は大気と海洋の相互作用について二、三の考えを述べてみたいと思っています。私は別に黒板に方程式を沢山書いて、それらがどの様に互に連繫しているか、とか、どの様に計算機に入れて答を出すか、と云うことを話そうとするつもりはありません。我々は現在、そのような問題に取組み、いろいろと試みてはいますが、その前にまづ、短期予報で行われている様に現象の記述をしてみたいと思います。我々は現象を概念的に捉え、そこに作用しているものを統計的に綿密に調べなければなりません。そうすれば、やがて力学や熱力学の専門家である貴方がたの中のどなたかが、どのようにして完全に物理的方法でそれをプログラムすればよいか、について何かよいアイデアを得ることができるとも

ません。

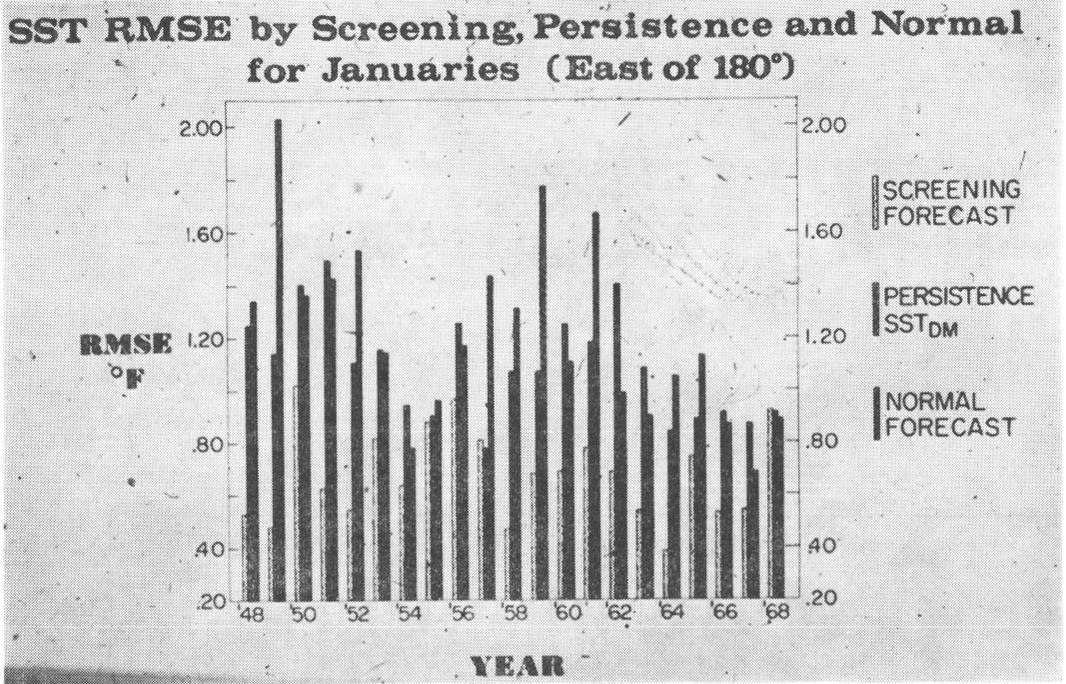
さて、これからスライドを用いて海洋と大気的作用について述べることにしましょう。

第1図について

図に、1899~1960年の1月の海面気圧の標準偏差が、mb単位で示されています。アリューシャン列島付近の偏差は10mbに達しています。これに比べて日本付近は約1/5の2mb程度です。このような分布になっているのは何故か、と誰も考えることでしょう。何故、変動がアリューシャン付近で大きいのか、冬になると必ず出現するシベリア高気圧が1つの原因とも考えられます。しかし、シベリア高気圧の影響は僅かです。冬になると



第2図



第3図

低気圧が沢山やってきます。しかし乍ら、変動がアクション付近で大きいこと、このことは海洋の性質がこの領域で変り易いためであると思っています。海洋の温度分布が全く変わるためでありましょう。即ち、或る年の低気圧がその翌年のよりも、ずっと勢力が強いためであるかもしれない。実際に、或る年にはその領域は低気圧よりも高気圧が多くやってくるために高圧域になっているかもしれない。また、年によっては低気圧が北から来ないで、ずっと南からやってくることもあります。従って、この図、1月の気圧標準偏差図は北太平洋の広い面積の何処に注目したらよいか、を我々に教えてくれるように思われます。

#### 第2図について

第1図に示した領域での持続性の変動を示しています。私は1947年から1966年にわたる20年間の北太平洋の800万個に及ぶ観測を用いて、海面温度、700mb面高度、及び海面気圧を5°毎の正方形に分割した各領域で毎月、標準偏差を計算しました。各点でのノルマルからのズレを標準偏差で割り、上の3つの量について全北太平洋にわたってラグ相関値を求めました。ラグとしては1, 2, ……12月までズラせました。図の曲線から分るように、大気、即ち、700mb高度については1月以上

のラグでは曲線は急速に落ちて、相関は非常に僅かとなります。一方、海洋についてみると、海面温度は相関0.55から独特な様子を示し乍ら落ちてきますが、依然として大気よりも大きい値を示しています。これは単純なマルコフ過程ではないことを示しています。即ち、曲線が或る記憶もっていると言えます。私は多分その原因は海洋にあるのだと思っています。これについては信ずべき幾つかの証拠があり、それについて私は1970年 Journal of Geophysical Research 10月号 p. 5952-5955 に触れておきました。8ヶ月以上、1年以上についても僅か乍らの減少がみられる。これは統計的に有意義なものです。曲線の10ヶ月付近にコブ状の極値がみられます。これは大変に興呼深いものですが、私には理由は判りません。これは偶然によるものかもしれませんが、私はそうは思いません。それはこのような極値が海面気圧、700mb高度、についても10ヶ月ラグの付近に現われているからです。私は、この理由については全くアイデアがありません。

#### 第3図について

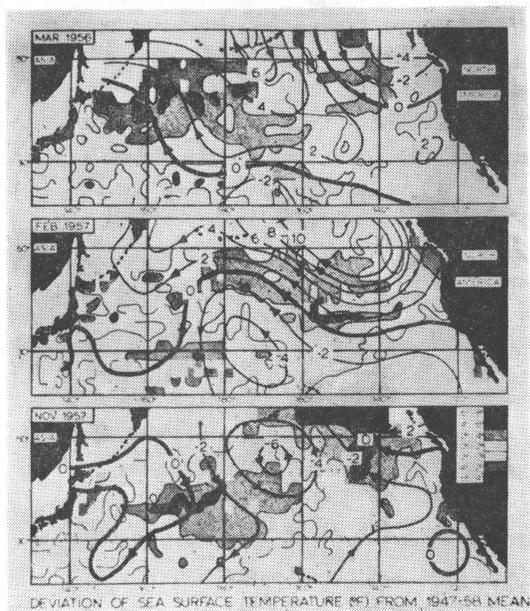
次に、予報をしなければならなくなったとき、海面温度を用いて何が出来るかについて考えたいと思います。さきに示しました持続性をもとにして、予報のための回

帰方程式を作ることができます。その他に、別の方法を利用することもできます。私は、1948年から1968年の20年間の1月の資料で、3種類の子報をして誤差の自乗平均の平方根 (r.m.s.) を °F 単位で計算しました。1つはノルマルを予報する方法であり、この場合の r.m.s. 誤差は約 1.2~1.0° になります。もし、持続性を利用して予報すると図中の黒い実線で示される如くに予報誤差を 1.1° 程度にすることができます。然し、ここでもう1つ別の方法、所謂、スクリーニング法、これは統計的な多重回帰法ですが、を使用すると、もっともよい予報因子を選べば、誤差を平均として僅かに 0.6°F、即ち、1°の約半分位におさえることができます。従って、例えば、1ヶ月の予報をするにはスクリーニング法の如きものを使用するのが、1つの方法であります。また季節予報もそのようにしていくかもしれません。これは確かに1つの方法であります。

第4図について

次に別の方法を紹介します。

海洋の表面温度の偏差図を示してあります。上から1956年3月、1957年2月、及び1957年11月の3ヶ月であります。青色の海域は温度がノルマルよりも冷たく、赤色の海域はより暖かいことを示しています。偏差が如何に大きいか、がわかると思います。北太平洋の約1/3の領域を覆っているのがみられます。問題は、何がこの偏



第4図

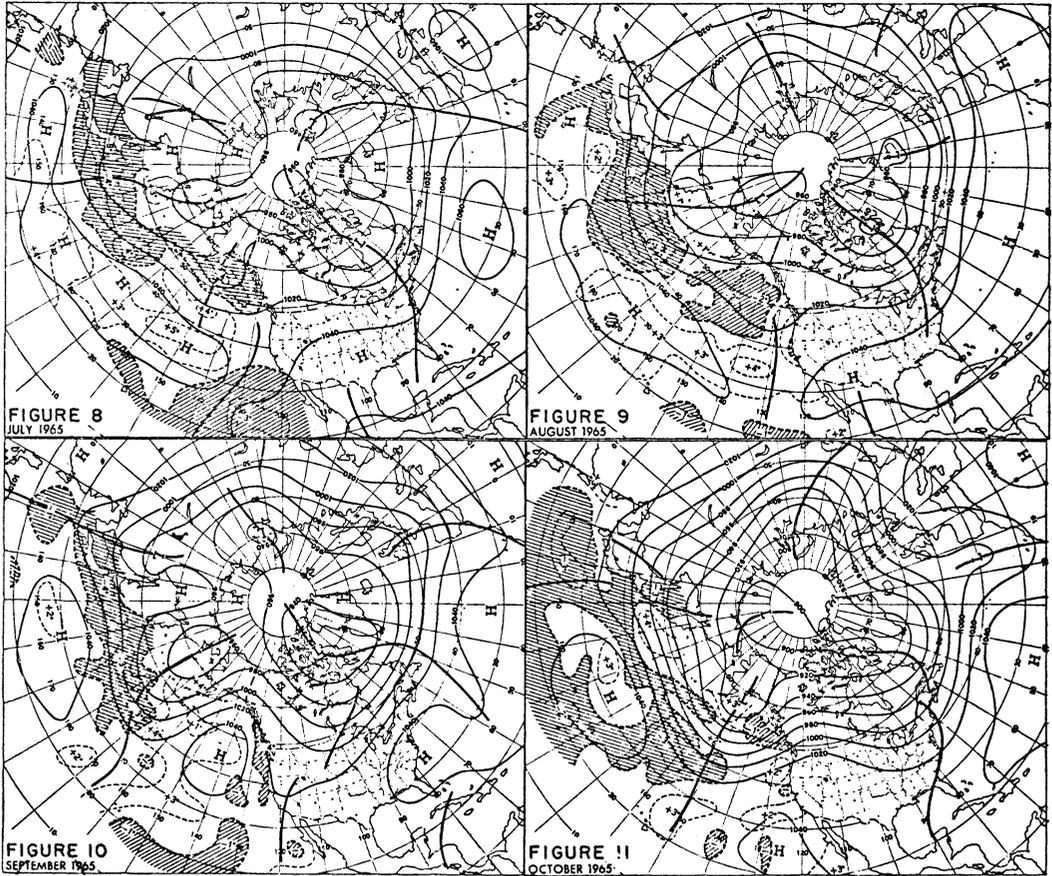
差を惹き起しているのかであります。そのため、図中に海面気圧の偏差の等値線が重ねて書いてあります。1956年3月の例では、冷海域に吹いてくる風はアラスカの上を通過してきて冷たく、顕熱、潜熱の形で多量の熱を海面から得て、海水を冷します。また、暖海域では南風が卓越しているのがみられ、海面から得る熱はノルマル以下の少ない量であります。即ち、暖かい海面では南風が、冷たい海面には北風が対応することになります。日本の海洋学者、半沢氏も以前に私と似た仕事をされ、今お見せしたことを一般的に示されました。気圧偏差と海面温度の偏差の間にある相関関係と海洋の輸送能力とから、この偏差図から、系があたかも1ヶ月進んでいるかの如くにみえる様子を計算することができます。暖かい海域が何処に、また冷海域が何処に発生しようとしているかについて可成りの考えが得られ、海洋の温度分布についてよいアイデアが得られます。

次に、注意したいことは、私はこれまで海洋は全く大気の状態に応答しているかの如くに話してきましたが、大気自身もまた、海洋の状態に影響されていることでもあります。

例えば、1957年11月には、気圧偏差が -6 mb の場所がみられますが、それは丁度、冷暖両海域の境界付近に存在しています。この負の気圧偏差域は、両海域の温度差によって生じたものであります。即ち、冷水は大気に少ない熱量しか与えず、温水はより多くの熱量を与えることによるものだと思います。この両海域の間に存在する傾圧性は、この付近における低気圧発達を促進します。このことは重要なので留意しなければなりません。私は短期予報にたづさわる人は、この問題をよく研究されるとよいと思います。また、数値予報の誤差は、海面温度のこの不規則な分布をうまくとり入れられていないためだと思っています。単に、ノルマルな海面温度をとり入れるだけでなく、私がここに示した偏差もとり入れる必要があります。長期予報では、このことを考慮するのは非常に本質的なことだと思います。

第5図について

大気と海洋の相互作用の例を示したいと思います。図には1965年7月から1965年10月までの4ヶ月について、各月の平均の700mb等圧面高度が描かれ、同時に北太平洋には海面温度のノルマルからの偏差が記入されています。斜線部分は冷水域、白い部分は温水域を表わし、数値はその領域での偏差の最大値を示し、-4°F、+5°Fなどの値がみられます。注意したいことは、トラ



第5図

フのうちの幾つかは、1ヶ月程度の時間スケールでみると規則的な運動をしていることです。大きなトラフが7月には日本付近にあります。8月には、このトラフは東に移動しています。9月になると、 $170^{\circ}\text{W}$ 迄進み、振幅も増しています。次の月には $150^{\circ}\text{W}$ 迄移動し、実質的に大きな東進が起っています。この図にはありませんが、次の11月になると、トラフはカリフォルニア沖に達してカリフォルニア南部に11月というのに多量の雨を降らせています。これは大変に異常なことです。一般に11月には、このときの11月のように雨が降ることは希れであります。そこで、ここにはどのようなマクロな物理的過程が含まれているかを、問題にしてみましょう。まづ、気候学的に云って季節が夏、秋、冬と移り変わるにつれて確実に起ることが、二つあります。一つはアジア大陸東岸に流れが形成され、毎年、日本付近のどこかの場所に流れが固定されることです。第二に、毎年予想されるこ

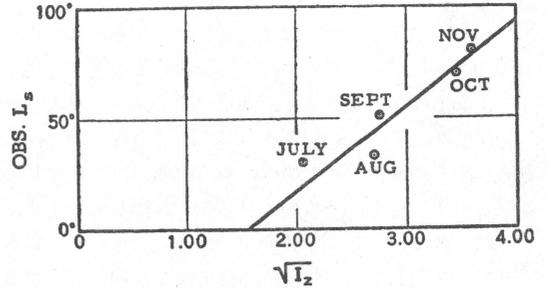
とは、偏西風帯状流の強さが、夏、秋から冬にかけて増加することです。運動量の輸送があり、傾圧性が増大し、それらが原因となってトラフが形成され、太平洋上で偏西風が強まります。上の二つの事は、じょう乱とアジア大陸東岸の流れを強め、かくして次のトラフが作られて下流の或る距離の所に定常波が形成されます。偏西風が強まれば、当然波長は増さねばなりません。従って、二つのトラフ間の距離は偏西風が発達するにつれて開き、下流のトラフは東に移動しなければならなくなります。次に何が、このトラフの生命を維持しているのかが、問題となります。私は、生命を維持しているものは、アリューシャン付近の冷水と温水の間の温度差であると思っています。トラフがこの領域に移動してくると、水温は $+4^{\circ}$ 、 $-3^{\circ}$ の様に分布しているので、振幅が急激に増大するのが判るでしょう。トラフが進んでくると、海洋の反応も丁度、それに呼応して、それら低

気圧が発達していくのに必要な熱補給とか傾圧性を大気のために準備してやるのです。

大陸の西岸の海水は冷たく、それは湧昇流によるものです。北風が吹くと湧昇流が起ります。北風が止むと海水は変化し、温度が上昇して湧昇流が止ります。トラフがやってくるとう海水は急速に暖かくなります。空気が暖かい海面を通過すると水蒸気を補給され、トラフが来ると、上昇流が強められ私がさきにカリフォルニアの場合について述べた雨をもたらす機構が起きるのです。

終りに、一言述べておきたいことは、太平洋で進行している現象が、アメリカの天気に影響を与えると云うことです。太平洋にある大きなリッジ、これは傾圧効果で多分発達したものでしょうが、部分的には順圧効果も寄与していると思いますが、このリッジが形成されるにつれて北の非常に冷たい空気を下流に輸送し、トラフの付近で低気圧を発生させることとなります。トラフが東に移動すれば、寒気もそれに伴って東方に動きます。従って、太平洋において起っている現象は、非常に大きな意味において、アメリカ大陸での気象現象を決定することとなります。このことについては、後で詳しく話したい

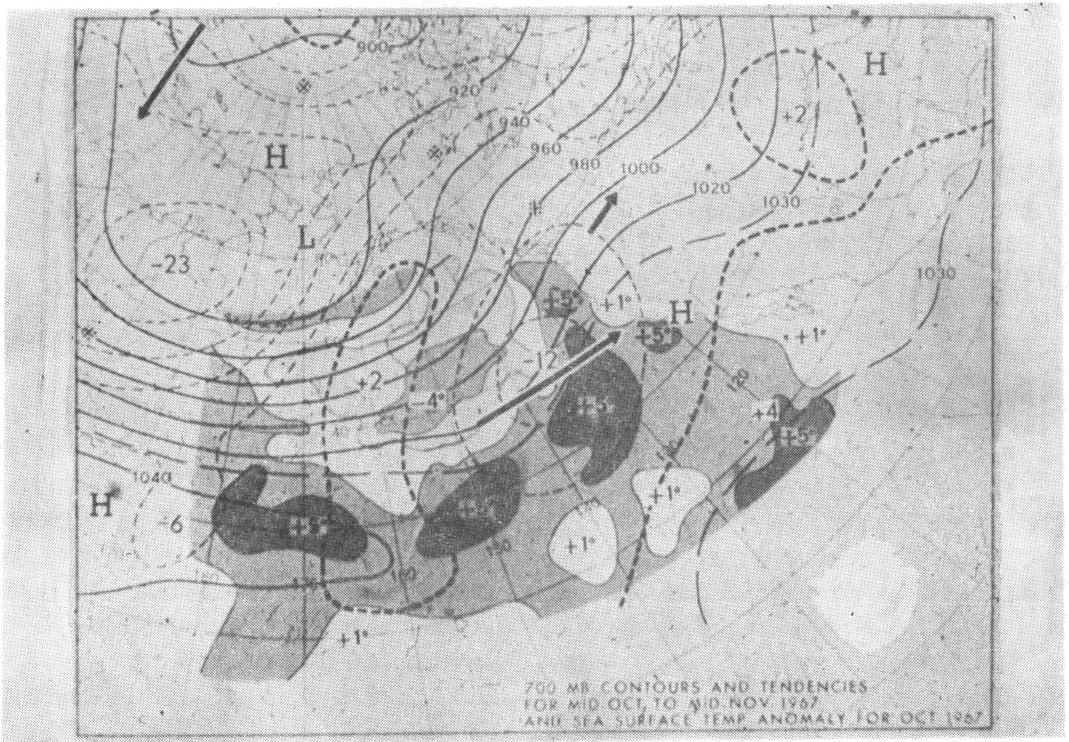
と思います。



第6図

第6図について

この図は、アジア大陸東岸のトラフと、その下流にあるトラフとの間の距離、即ち、実測の定常波長と、太平洋上の帯状流速の平方根との関係を示しています。ロスビーの定常波長の公式があるので、風速の平方根をとりました。各月の値は直線によく乗っているのがわかります。これは、帯状風速が増すにつれて定常波長が長くなることを示しています。



第7図

第7図について

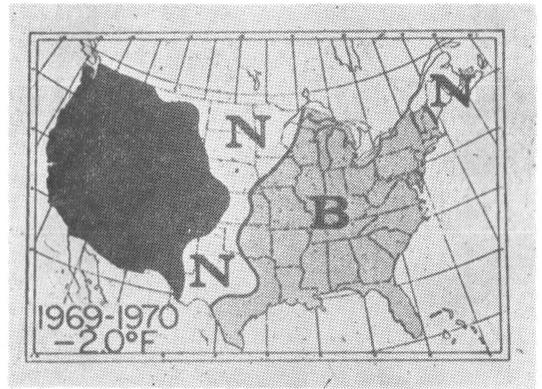
ここで、再び、カリフォルニアに降雨をもたらした、もう一つの例をお目にかけてみましょう。図から、1967年10月中旬から11月中旬にかけて、700mb面で太平洋上にトラフがあるのがわかります。海水温度が同時に記入されていますが、ノルマル以下 $4^{\circ}$ 、以上 $5^{\circ}$ 、等の値がみられます。この温度差のために、多くの低気圧が発達し、結果として、そこに一つのトラフを作り出しています。我々は、或る種の長期予報のテクニックを用いて、このトラフが移動していく傾向、運動学的な傾向を計算することができます。それによれば、図中、矢印で示される方向に進むことが予報されます。即ち、トラフがそのように移動すれば、その前面の空気は当然、暖かい海面上を通過することになり、そこで多量の顕熱と水蒸気を補給されて成層は不安定化し、カリフォルニア南部に大量の雨を降らせることになります。

第8図について

図には、アメリカ合衆国全域が示されていますが、その気温分布は或る場所の海水温度と特別な関係にあります。特定の地域 ( $30^{\circ}\text{N}$ ,  $165^{\circ}\text{W}$ , 太平洋ハワイ諸島の北西海域) は、その海水温度そのものが、アメリカの気象現象に対する一つの目安を与えるので、非常に重

要な場所でもあります。この場所の特長について軽く触れてみましょう。ここは冬季に、コナ・ストーム (Kona Storm) の発生する領域であることを知っておられる方がいると思います。海水が暖いとき、この地域の高気圧に屢々、コナ・ストームが発生します。なぜならば、高気圧は南東風をもたらし、その風によって北東方向への海水のエクマン移流が起り、暖かい海水が輸送されます。表面海水のエクマン移流を起すことと、熱交換が弱いという二つのことのために、この領域は重要な場所でもあります。

さて、図には、20年間の資料から海面温度と、6回の冬についてのノルマルからの気温偏差の分布が示されています。図の左側に並んでいる3回の冬では、特定海域の海面温度は、 $-2.5^{\circ}$ 、 $-1.6^{\circ}$ 、 $-1.5^{\circ}$  と冷たく、右側の3回の冬については暖かくなっています。全ての冷たい海水温度に対して、アメリカ大陸の気温偏差は、東部は寒く、西部が暖いことを示しています。海水温度が暖かいと偏差の分布は逆になるのが判ります。



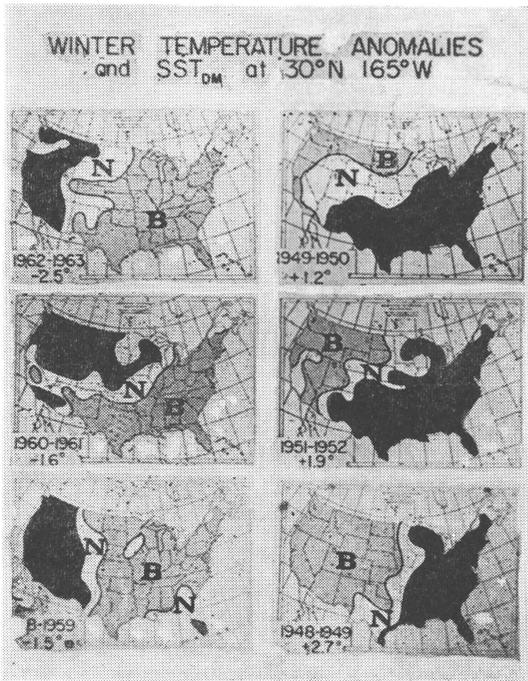
第9図

第9図について

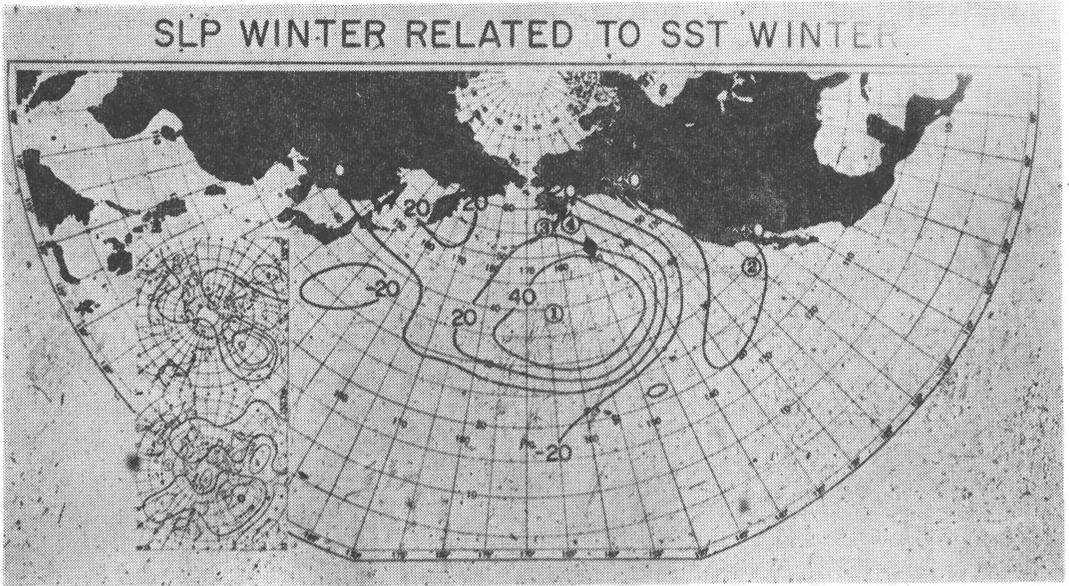
ここには別の例をもつて来ました。昨年の例で、1969-1970年にわたる冬期であります。アメリカ大陸における温度偏差の分布と、 $30^{\circ}\text{N}$ ,  $165^{\circ}\text{W}$  の海面温度の平均からのズレの値が記入されています。

第10図について

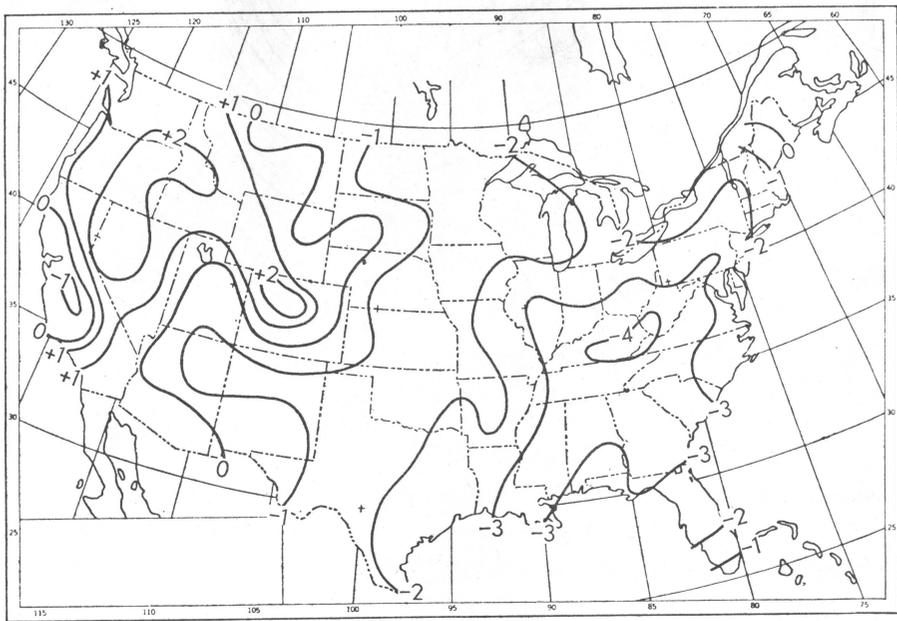
冬季の海面気圧と、同じ冬の海面温度の間の相関を求めてみました。図には、両者の相関の等値線が描かれています。海面気圧の指定は図のダイヤモンド型の点で行われました。また、海面温度についての相関の一番よい点は①で示されています。



第8図



第10図

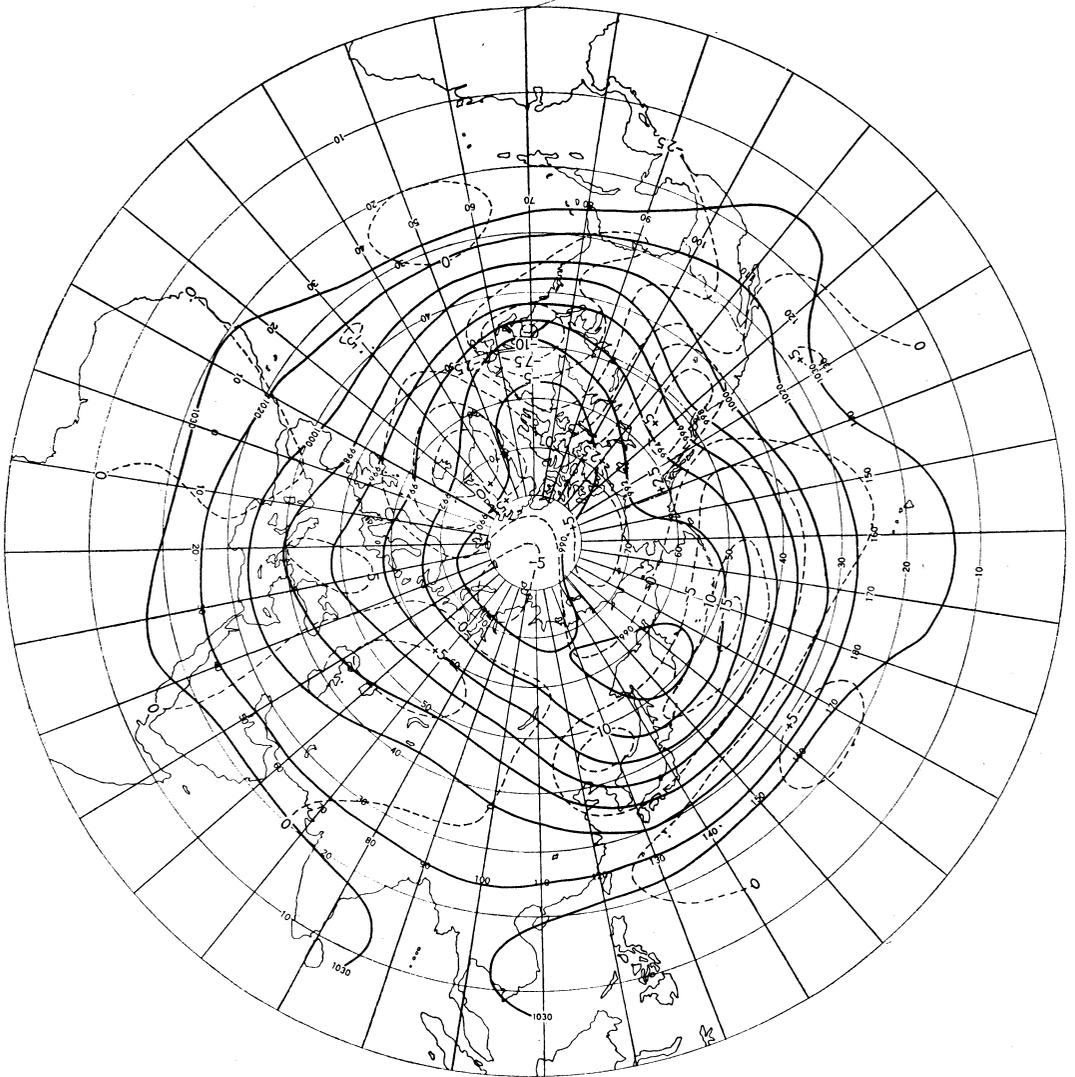


第11図

この領域で海水が暖かければ、その気圧も高いことを意味します。気圧が低ければ、海温も低いことを示しています。高圧部であると、表面海水のエクマン移流の北向き成分は暖く、また、熱の損失も少ないために海水は暖いのですが、逆の場合には、多くの熱を放出して海

水は冷却します。即ち、エクマン移流が南向きのときには、海水は冷却します。

さて、この点での気圧分布が北米の気圧分布にどう影響するかが判ります。大変に見難いと思いますが、小さな二つの図がその結果を示しています。これは、遠隔作



第12図

用 (Teleconnection) を表わすものです。オコナーの10年間の資料について私が統計的調査をした所では、ここに高気圧があると、北米の西部に寒気、東部に暖気があることを示しています。逆に、低気圧があれば、丁度、逆の効果があることを示しています。これらは、大気、海洋系が相互に結び付いていることを示し、私がこれまでにお話ししてきたことをよく説明しています。

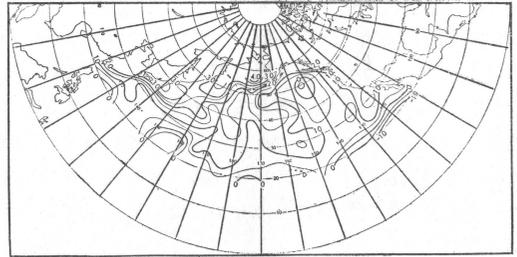
#### 第11図について

10年と云う時間スケールをとっても、気候のパターンには変動があることを、この図から読みとるでしょう。これは、1960-1970年の冬のノルマルからの気温偏差を

示しています。最近の10年間、即ち、1960年代のアメリカのそれは大変興味あるものです。和田博士は、日本においても気候の変動について幾つかの興味ある事実を見出したことを、私に示して下さいました。事実、1960年代には気温は漸次、低下しています。そして、アメリカでは、気温の低下が、特に東部で顕著に認められています。図にみられる様に、 $4^{\circ}\text{F}$ にも及ぶ低温域がみられ、それは10年間の冬期間、即ち30ヶ月についてであり、非常に長い期間であると共に非常に大きな数字であります。 $-2^{\circ}$ 、 $-3^{\circ}$ 、 $-4^{\circ}\text{F}$ 、即ちアメリカ東部は非常に冷たく、西部は暖かくなっています。

第12図について

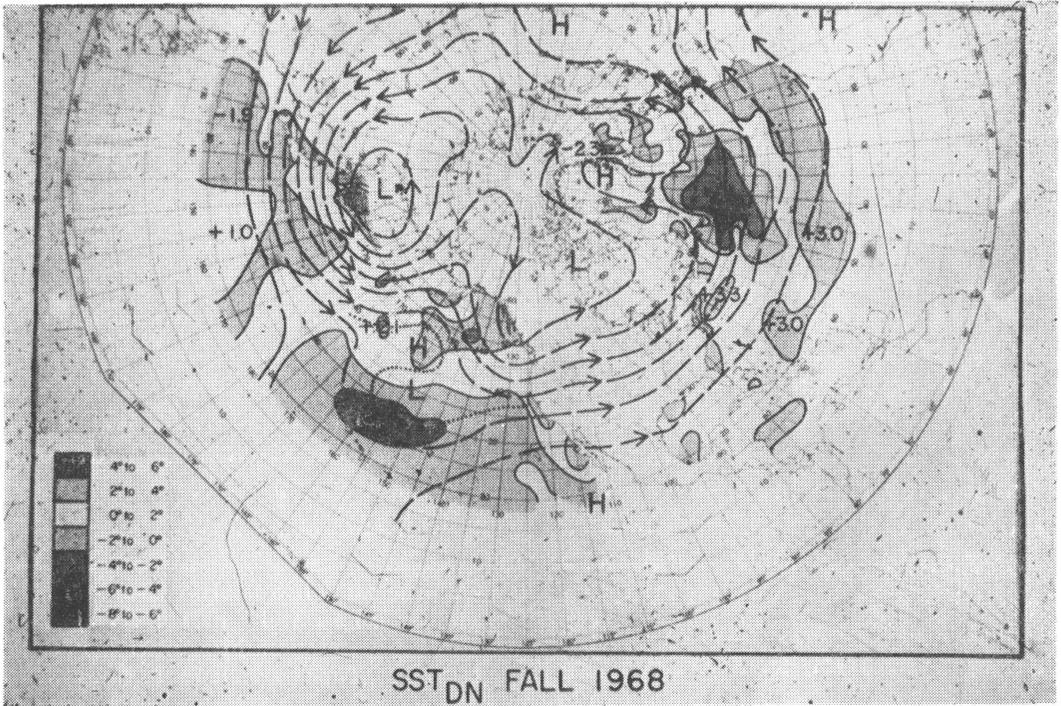
この図は、1960-1970年の10年間の冬の700mb 平均等圧面高度と、ノルマルからの偏差の等値線を示しています。さて、私の友人の中の幾人かは、大気中の現象を何でもすぐ大気汚染の故にしようとします。勿論、皆様も大気汚染はそれ自身重要な問題であることをよく知っておられると思います。しかし、このパターンをみると、我々は統計的な数値的方法で、温度場がどうなっているべきかを計算することができます。温度場はどうなっているでしょうか。大陸西岸のリッジの下には沈降による暖気があり、東岸には北からの寒気の移流による冷たい地域があります。前図と比較すると、700mbの偏差域と気温の偏差域が対応していることが判ります。従って、私にはとても、このパターンが大気汚染の結果とは思えないのです。このパターンが火山活動とかその他の汚染の原因によるものとは思えないのです。それならば、このパターンは何によるもののでしょうか？何がトラフの振幅を発達させたのでしょうか？私はこの10年間の太平洋地域の様子を研究して、中部太平洋にみられるトラフに伴なう低気圧の勢力の強化は暖かい海面温度によるものではあるまいか、と云うことを見出しました。



第13図

第13図について

長期間に及ぶ海面温度の平均からの偏差が図に示してありますが、水路部のレポート No. 2, No. 25 に依っています。ノルマルとしては、1945年以前の約40~50年間の海面温度の平均を用い、偏差としては最近の10年間、即ち、1960-1970年の冬について計算してあります。偏差は殆んど正の値で、僅かな領域を除いては、アラスカから20°N 付近まで、海水温度がこの10年間に上昇してきていることを示しています。特に暖かい海域が、二、三みられます。この理由として観測の誤差ということも考えられますが、私はそうは思いません。海洋の温暖化



第14図

によって、低気圧は段々と勢力を増し、その結果、中部太平洋に定常的トラフを形成し、やがて下流に前図でみたような、じょう乱を作り出して、アメリカ大陸の気象に影響を与える、と私は考えています。私はこのように理解し、大変満足すべき考え方だと思っています。私はこの一連の過程によって、アメリカ大陸に起る気象現象の数値予報をして皆様におみせできたかと思っていますが、まだ、やっておりません。

**第14図について**

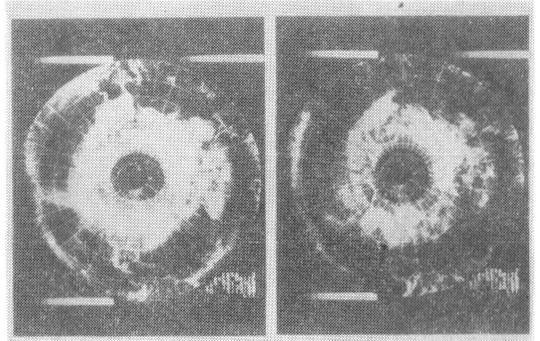
1960年代における太平洋の温暖化のもう一つの例をお目にかけましょう。図には、1968年秋(9,10,11月)の海面温度のノルマルからの偏差が示されています。冷水域と、非常に暖かい海域が分布しているのがみられます。ノルマルよりも、5°F 温暖な海域があります。この図には更に、1969年1月(海面温度分布の翌年)の700mb等圧面高度の等値線が重ねてあります。これが、海洋シンポジウムを前に、私がペーパーで論じようとしている題目であります。ここでは詳細にわたることは致しませんが、この温暖な海域は、6月に既に発生していることをお知らせしておきましょう。多量の空気の沈降と、非常な好天を伴う極めて強い高気圧の存在によって発生したものです、1年のその時期に強くなって来た太陽放射と高気圧による海水の下降流により、海水に貯えられた熱量を計算することができるでしょう。それらの効果が、6月に始まり冬まで継続して、この温暖な海

水の溜りを作り出したのです。この温暖海域の存在が、月平均単位で大気の上層に影響を及ぼし、そこでの低気圧活動と関係があります。ハワイ諸島付近のこの低気圧活動については、古くから知られており、いつもそのすぐ北に高気圧を伴っています。これらは相互に関連ある現象です。

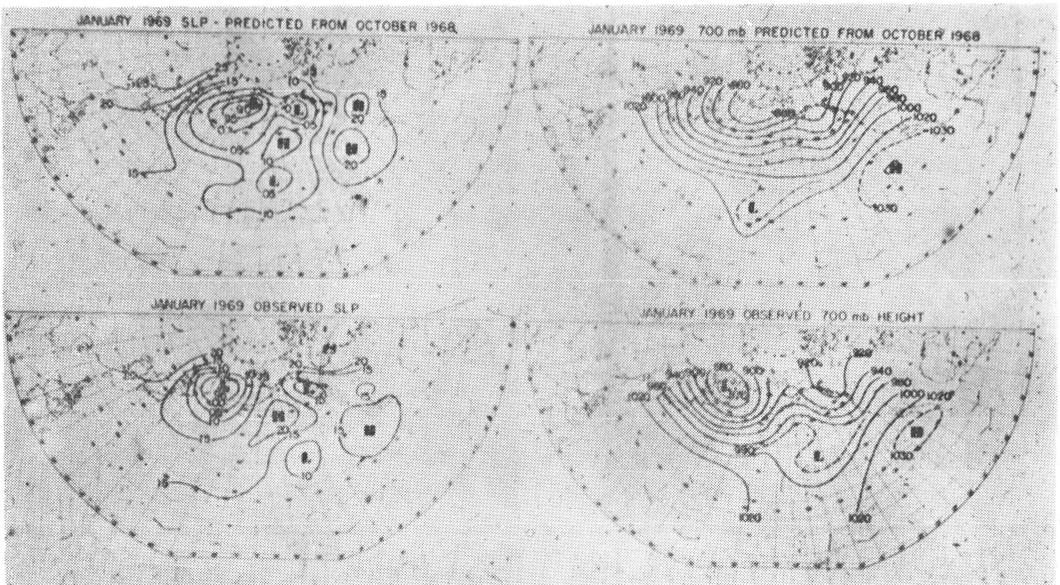
さて、空気が熱帯収束線(I.T.C.)からやって来て、この温暖な海域を通過すると、空気の合流域付近でこの温暖化された空気は多量の雨を降らせません。大陸西岸に多くの災害をもたらすものは、この温暖な空気であると私は考えます。

**第15図について**

次に一組の衛星写真をお見せしましょう。1969年1月



第15図



第16図

の前半（左側）と後半（右側）のものです。これは、毎日の衛星写真を合成して作ったものです。雲が赤道無風帯から来ている様子が判ります。また、水蒸気がハワイ諸島付近のトラフの先端部に拡がっているのがわかります。1月の後半には、鉤状の形をした水蒸気の流れの東向きの運動に注意して下さい。これは赤道収束線からやってきたもので、経度にして10~15°も更に東に動いているのが判ります。水蒸気は依然として、激しい降雨をもたらすトラフの先端部に流れ込んできています。

上層の流れのパターンは、海面温度によって支配され、また、大気の循環は赤道無風帯からの水蒸気流束の動きに影響を与えます。空気は暖かい海面上を通過すると熱と水蒸気を供給されます。東に移動するトラフによって上昇流が準備されます。カリフォルニアの場合には、気流が海岸山脈に突き当たることによる地形による強制上昇によって、空気が湿潤、かつ不安定であれば、激しい雨を降らせませす。これが一連の現象であって、大変興味深いものなので、もっと時間をかけて研究してみたいと私は考えています。

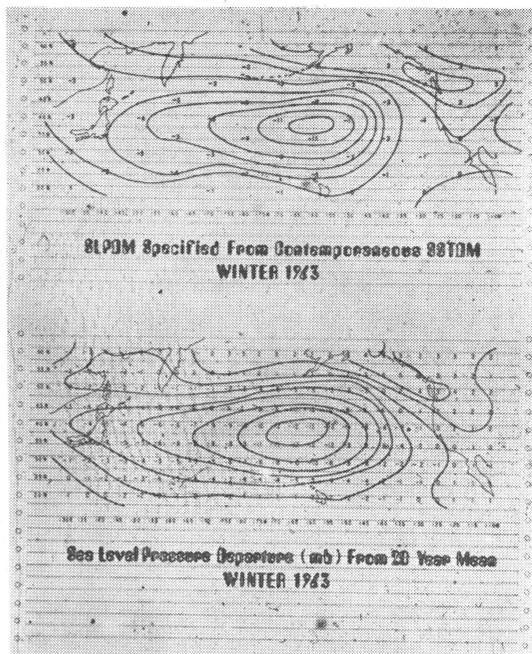
第16図について

この図は、1969年1月の海面気圧分布と、非常に大雑把な方法で行われた予報、数値的予報の結果が、同時に記入されています。予報は、その前年の10月（1968年10月）をもとにしたもので、非常に簡単な予報によるものです。前年の10月の値を用いての予報可能性をみたものです。海面気圧の正規化された偏差は変わらないことがわかります。予報と実況を比較すると、パターンは似ていますが、位相はよくありません。行きすぎています。

同じ方法で予報された上層のパターン（700mb）と実況も示されています。パターンは出来ていますが、やはり位相はよくありません。しかし、この位相は或るファクターを導入すれば調節されるに違いありません。また、或る種の誤差の補正を、数値的に入れることができるようにしなければなりません。

第17図について

この最後の図は、初めての試みの結果を示しています。これについて、余り興奮しすぎないように注意しなければなりません。しかし、そうは云っても、私自身興奮してしまいました。ここにおられる、和田博士や高橋（浩）博士は長期予報においては余り性急に興奮してはならないことを知っておられます。それは、丁度、新婚時代のようなものです。皆様方は、新婚時代とは素晴らしい時期で、凡ゆる物事がうまくいくようにみえることを



第17図

知っておられるでしょう。新婚時代が過ぎると事態は変わります。それに似たものが長期予報であります。さてとにかく、この図は予報、海面気圧のノルマルからの偏差に対する予報であります。海面気圧の20年平均からの偏差も、mb単位で示されています。予報と云うよりもむしろ、詳細な記述と云うべきかもしれません。或る期間の海面温度を知ると、この予報ができます。大きな低圧域が日本付近にあります。

我々は、海面と気圧分布間の相互作用について、もっといろいろと知ることができるかもしれないという希望をもって、この方法を使っています。

これまでお話ししたことを集約するに当り、私は次のような一つの方向を強く打ち出してみたいと思います。即ち、長期予報だけでなく短期予報についても同じであります。特に、長期予報において気象現象の諸過程を探求する際に、もっと海洋、その熱的構造や大気との相互作用の様子についての考慮を払う必要があると思います。我々は大きな計画、BOMEX 計画、TROMEX 計画とか GARP 計画をもっています。それらの計画は、関連あるフラックス、小規模現象に伴なうフラックスのパラメーター化等を更に詳細に研究するために非常に重要であります。この計画を実施することによっ

て、フラックスの影響を数値予報に導入する方法の一つの方法が与えられることでしょう。

私はまた次のことを強く感じています。我々は、第一に総観気象に精通し、第二に物理的諸過程、そして第三に前二つと同様に重要であります。統計学に精しい人を必要とします。それは、ここ暫くの間は、完全に決定論的な体系を長期予報に対して求めることは非常に困難であるからであります。私はこの方向に向ってなされる全ての計画や研究に対して全面的に賛成するものであります。その結果についての保証は全くありません。問題が極めて難しいからであります。私は単に、物理的方法や統計的方法だけでなく、これら三つを混ぜ合わせてやっていくように努力しなければならぬと思っています。

す。

さて、日本の皆様、貴方がたは長年にわたり、気象学の発展に多大の貢献をしてこられました。若い人々に強調したいことは、日本は短期予報に対してだけでなく、長期予報においても豊かな歴史をもっているということであり、非常に多くの注目すべき仕事をしてこられました。気象界で働いておられる人々は、皆、緻密な人々です。何故ならば、問題が極めて難しいからであります。

終りに、私は皆様方の前でお話しをする機会を与えて下さったことと、皆様の示された関心に、心からお礼を申し上げます。

## 日本気象学会誌

# 気象集誌

第 II 輯 第 49 卷 第 2 号 1971 年 4 月

近藤純正・内藤玄一・藤縄幸雄：乱気流内での風杯型風速計の諸特性	63—74
近藤純正：接地層の風速、気温および水蒸気量の鉛直分布におよぼす赤外放射の影響	75—94
関口理郎・木田秀次：中緯度におけるオゾン全量の季節変化	95—110
孫野長治・河村俊之：水の自然凍結温度付近で急凍結する微水滴の荷電について	111—117

### 要報と質疑

時岡達志：傾圧モデルの不安定に関するコメント	118—120
近藤純正：地表の空気力学粗度係数と他の諸量との関係	121—124
林良一：擾乱を空間フーリエ及び時間クロス・スペクトル解析により進行波及び後退波に分離する一般化された方法	125—128
時岡達志：非地衡風・非静力近似下の傾圧モデルの不安定（補足）と中間規模擾乱	129—132
故正野教授記念論文集購入募集	133—134
R. ピアソン：“抛物型偏微分方程式のマトリックスによる解法”に関するコメント	135
島貫陸：R. ピアソンのコメントに対する回答	135