

大気・海洋・固体地球の相互作用

内 藤 勲 夫*

1. まえがき

木村栄発見による z 項の変化と黒潮の流れには強い相関があると言ったら、初めて耳にされる方は首をかしげるかもしれない。長い間、経緯度観測の精度の向上に力を入れてきた位置天文学は急速にその方向を変えようとしている。すでに、地球物理学は、気象学、海洋学、固体地球物理学および地球電磁気学等に細分化されて、各々独自の発展の道をたどっている。最近の観測データの増加は地球物理学の方向を大きく変えつつある。即ち、現象の発見の時代が終り、それを時間的に追跡し解析することにより現象を解明しようとするものである。しかしながら、細分化された地球物理学の各分野を統一して議論する試みはまれであろう。このようなとき、位置天文学の果す役割は非常に大きいと思われる。そこで、最近の観測データをふまえて、大気、海洋および固体地球の数年から数10年にわたる現象の一部を紹介しながら、いくつかの議論を試みることにする。

2. z 項と平均極の経年変化

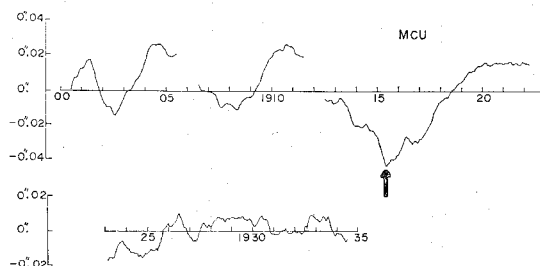
初代緯度観測所長の木村栄は緯度変化の中に観測所に共通な緯度変化項を発見した。これは、その後、 z 項と名付けられ、緯度変化の観測方程式にとり入れられている。初期の木村の z 項は年周変化についてののみ着目されたが、現在ではその経年変化についても議論されている。

第1図および第2図は、それぞれ、1900.5年から1934.5年まで、および1935.5年から1972.6年までの12カ月移動平均された z 項の経年変化を示めたもので、第1図は、水沢、カルロフォルテおよびユカイアの3観測所 (MCU) で、第2図は、さらに、キタブおよびゲザースバーグを加えた5観測所 (MKCGU) で決定されている。グラフは適当な値からの偏差のみ画かれており、途中、グラフが切断されている期間は星表の変換期に相当し簡単には計算できない。一般に z 項の絶対値は強く星表に依存するため、 z 項を地球物理学的に議論する場合はその時間変化についてのみ着目することにしよう。

さて、このような z 項の経年変化についての地球物理

* 緯度観測所

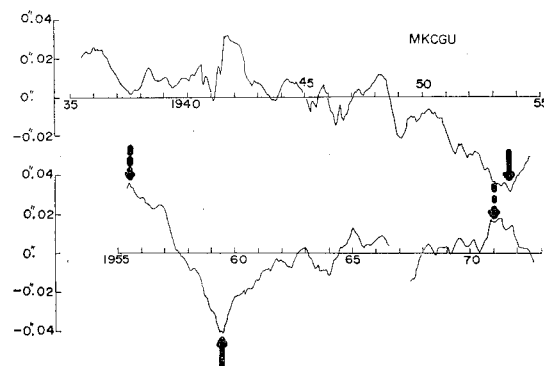
I. Naito: On the Interaction between Atmosphere, Ocean and Solid Earth.



第1図 1900年から1934年までの12カ月移動平均された z 項の経年変化。

学的説明の試みは筆者の知る限りでは現在まで全く存在しない。筆者等は、 z 項の変化が地球の南北半球非対称質量の変化に起因する重心の南北移動によってもたらされると考え、北緯 $39^{\circ}8'$ の線上に位置する ILS 観測所の観測値から決定される z 項の変化と地球表層近くの大気や海洋の南北半球非対称質量の変化との関係を導き、約 $4 \times 10^{20} \text{g}$ の非対称質量変化が 0.01 の z 項の変化をもたらすことを示した。

例えば、1955.5年から1959.5年にかけて、観測史上最大の z 項の変化が出現しているが、この4年間の減少量 0.07 は大気や海洋の質量が南半球から北半球へ約 $3 \times 10^{21} \text{g}$ 輸送されたことを示す。大気的全質量が 10^{21}g の大きさ、海洋的全質量が 10^{24}g の大きさであるから、 $3 \times 10^{21} \text{g}$ の質量は大気的全質量に相当し、海洋的全質量の1000分の1にも相当し、数mの海水位の増加にも相当する大きさである。もちろん、このような大



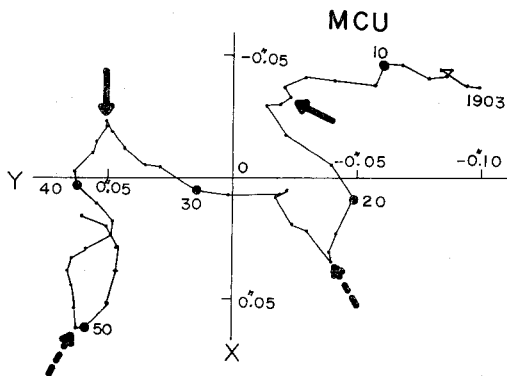
第2図 1935年から1972年までの12カ月移動平均された z 項の経年変化。

規模な海水位変化は観測されていない。おそらく、このような大規模な z 項の変化には、局所的なジオイドの変形の効果が入っている可能性がある。例えば、水沢の位置が世界有数の大きな地殻変動帯にあることは、水沢の観測値の z 項への寄与は大きいと思われる。

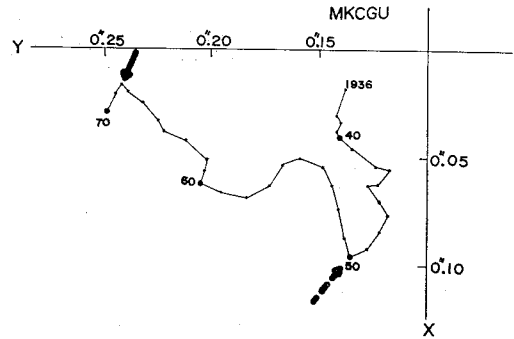
筆者は、地球を構成している物質の運動特性を考慮して、“数年度程度の時間スケール”を持つ z 項の変化は海洋の大規模変動に関係しているのではないかと考えている。(流体核の運動は、さらに長い時間スケールを持つと思われる)。従って、前述のような z 項の大規模な変化は固体地球内部の何らかの原因によってジオイドが大きく変形し、同時に、海洋質量の大規模な北向き輸送が伴ったような現象ではないかと思われる。その現由は後節で述べることにする。

さて、このような大きな z 項の変化に対応して、平均極の変化も存在することが予想される。第3図および第4図は、それぞれ、1903年から1955年まで、および、1936年から1970年までの平均極の経年変化を示めたもので、両図共に6年移動平均がほどこされてあり、第3図はMCU、第4図はMKCGUで決定されている。第3図と第4図で、1936年から1955年までの期間は重複して画かれているが、MCUとMKCGUとによる平均極は一致していない。しかし、ここでは、このような問題にはふれず、特に大規模な変化のみに着目しよう。

第3図と第4図から、平均極がヨーロッパ大陸と北太平洋を結ぶ線上を振動しながら、北アメリカ大陸方向に移動していることが明らかであろう。(X軸およびY軸の正の方向は、それぞれ、 $0^{\circ}E$ および $90^{\circ}W$ にとられている)。この平均極の北米大陸方向への移動は、グリーンランドや南極の氷の融解による全海水面の上昇と、テクトニックプロセスに原因することは定説になりつつある(ロチェスター, 1973)。しかしながら、約24年の周期を持つと言われている平均極の振動の機構は充分議論されていない。興味ある事実は、前述の z 項の経年変化



第3図 1903年から1955年までの6年移動平均された平均極の経年変化。



第4図 1936年から1970年までの6年移動平均された平均極の経年変化。

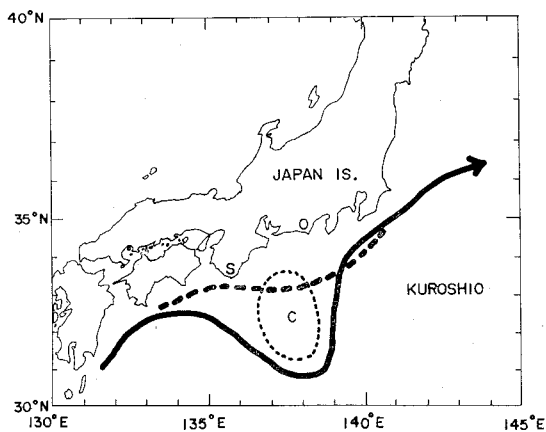
の時間スケールで平均極もふらついていることである。

そこで、第1図から第4図までに示めされている z 項と平均極に大規模な屈折変化が存在した時点に着目してみよう。図中の、実線の矢印は z 項の減少から増加への、また、平均極の北太平洋方向からヨーロッパ大陸方向への、それぞれの方向転換の時点に示めされており、点線の矢印は、それらの逆の現象に示めされている。第2図で、1941年頃に急激な z 項の変化が見られるが、これは、1941年後半から1946年前半までカルロフォルテの観測が中止されたために出現した人工的な現象であろう。現在までに、図に示めされたような矢印に対応する大規模な海水位変化の報告例は、ほとんど存在していない。

3. 黒潮システムの経年変化

さて、前節でふれたような z 項や平均極の経年変化におよぼす海洋運動の効果を調べる目的で、海洋中の温度、塩分濃度や海流速度等の経年変化についての観測報告を探してみると、意外に少ないことが判明した。日本はともかく、イギリス、ドイツ、米国などの海洋学の先進国においてさえも海洋の経年変化についての報告は全くないと言っても過言ではないと思われる。いろいろ探しているうちに、最近日本で出版された“KUROSHIO”と言う報告を手にする機会が得られた。この大冊には、黒潮の種々の物理現象を各界の専門家が詳述し、特に、黒潮の経年変化の特性に主眼がそそがれている。

そこで、なぜ黒潮だけに、その経年変化を中心に力がそそがれているかを述べねばならない。筆者は海洋学の専門家ではないので、黒潮変動の海洋学上の重要性を充分認識していないかもしれないが、次のような主たる理由がある。北半球では大西洋と太平洋の2つの大洋がアメリカ大陸をはさんで位置しているが、よく知られているように、大西洋にはガルフストリーム、太平洋には黒潮が大規模に南から北に、両者共に大西洋と太平洋の西岸を流れている。この2つの海流が全く相似な力学的性



第5図 日本付近の黒潮流路。Cの海域は黒潮が蛇行するとき、同時に出現する冷水塊の海域を示す。

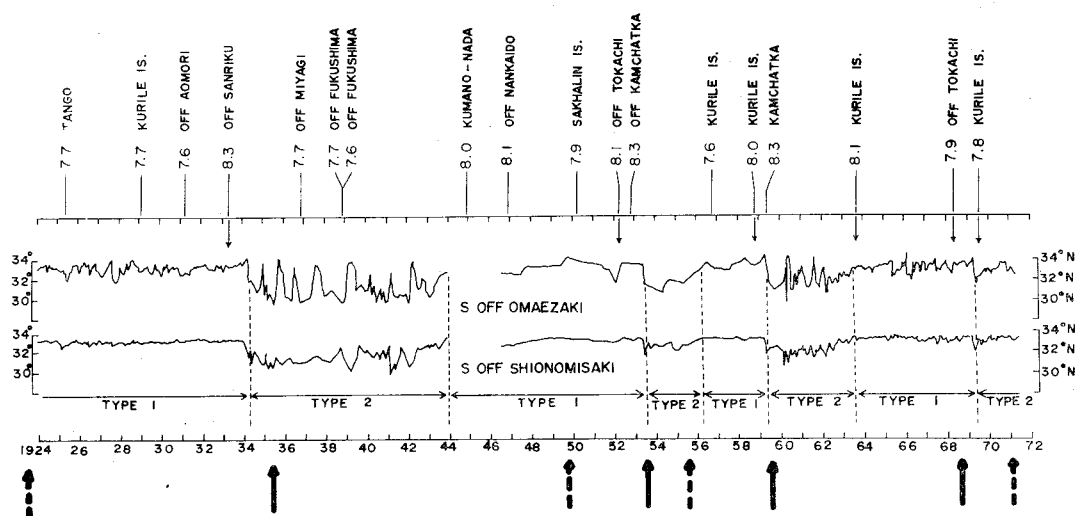
質を持っていることは多くの研究報告があるが、おもしろいことに、黒潮のみが日本の遠州・紀州沖で大きく蛇行し、この蛇行が3年から10年間も安定に持続することがあると言うことである。

第5図は日本付近の黒潮流路を示めし、図の実線は典型的な黒潮の蛇行を、点線は蛇行のない時の流路を示めす。Cと記されている海域は黒潮が蛇行するとき同時に出現する“冷水塊”の発生海域を示めす。この黒潮の蛇行が太平洋全体の海洋変動と強い相関があり、北半球の気候変動とも強い相関があると言う多くの報告がある。(例えば、宇田(1964)、ナマイアス(1970, 1972)等)。従って、黒潮が変動すると言う単なる流体力学的な重要性にとどまらず、北半球の天候の長期予報上の意義も大

きいと言える。

このような黒潮の流軸の経年変化を第6図の中段に示めす。図は御前崎南方と潮岬南方の黒潮の流軸の位置を緯度で表わしたもので、(庄司(1972)および二谷(1972)による)、一見して、流軸が南下するときは急激で北上するときはゆるやかであることが認められる。(御前崎(O)と潮岬(S)の位置は、第5図に示めされている)。吉田昭三(1961)は、流軸の南下は約3カ月で完了し、その直後から第5図のCの海域に大規模な冷水塊が出現し、そのような状態が1934年から1944年まで、1953年から1956年まで、1959年から1963年までの長期間存在したことを報告し、庄司(1972)は、第5図の実線のように蛇行する流路をType 2、点線のように接岸する流路をType 1と定義した。第6図では、1969年から1971年にかけてType 2となっているが、これは筆者が二谷の報告をもとに定義したものである。

この図の下段に、前述の z 項と平均極の大きな屈折点の時点が矢印で示めされている。平均極は6年の移動平均がなされているので、大体 ± 1 年位の時間のずれがあることを考慮して、黒潮流軸の変動と z 項および平均極の屈折点との対応関係をみると、いくつかの同時性を発見することができる。例えば、1953年と1959年の実線矢印は黒潮の蛇行の発生と全く一致している。一方、1935年と1968年の実線の矢印も大体黒潮の蛇行の発生と一致しているようである。興味あることは、1953年と1959年の蛇行が z 項の減少から増加への大規模変化に対応し、1934年と1969年の蛇行が平均極の方向の北太平洋方向からヨーロッパ大陸方向への転換に対応していることである。



第6図 上段は日本付近で発生した大規模地震とそのマグニチュード。中段は御前崎沖南方および潮岬沖南方における黒潮流軸の位置の経年変化。下段は第1図～第4図に示めされた、 z 項および平均極の大規模屈折点の矢印。

前節で指摘された 1955・5 年から 1959・5 年に到る期間の z 項の大規模な減少は、黒潮流軸の Type 1 の期間に相当することがわかる。最近の、フェバレイトおよびマクレイン (1973) の報告によると、1955 年から 1959 年にかけて、北太平洋を西部から東部へ横断した表面海水温度の最大値の大規模な移動が指摘されている。この事実はもちろん、ここでふれた黒潮の変動と強く関係する。即ち、1955・5 年より z 項は減少を始め、これは z 項が海洋質量の南北移動に起因する重心の南北移動に強く関係すると考えれば、海洋質量の大規模な北上を意味し、黒潮による質量輸送の結果、北太平洋の海水の増加がもたらされ、北太平洋の海洋質量が最大になる 1959・5 年まで、この状態は続く。この間、黒潮の流軸は、Type 1 の型を維持し、赤道から輸送された高温海水は北太平洋を大きく西から東へ移動する。そして、この移動がアメリカ大陸岸に達し、再び赤道にもどる 1959・5 年に、この大規模海洋変動は終了し、それと同時に、海洋質量は、南半球に流れ込み始め、黒潮は Type 2 の蛇行型を示めし、 z 項は、再び増加を始める。タフト (1972) によると、1959 年を境に、黒潮の流速が減少から増加に転じたことが明らかにされているので、黒潮の蛇行は、北太平洋における特殊な海流系のはじまりであることを想像させる。

一方、1944 年と 1963 年の Type の変換の時期に相当する矢印が示めされていないが、この 2 つの時点は、平均極および z 項の経年変化に中規模の屈折が認められる。さらに、1924 年以前の黒潮変動を推定するために、ここで得られた経験則を 1924 年以前に適用してみると、1915—7 年頃にも黒潮の大規模蛇行の出現を思わせるような平均極や z 項の大きな屈折点が見られる。(第 1 図および第 3 図)。宇田 (1964) は、1917 年から 1919 年にかけて黒潮の大規模蛇行の存在を指摘しているが、ここでの議論はそれをうらづけるものである。

さて、蛇足ながら、1971 年の夏から秋にかけて日本の太平洋岸に出現した異常潮位についてふれておこう。第 6 図にも、1971 年に点線の矢印がつけられているが、これは z 項の増加から減少への大規模な急変化に相当するものである。即ち、前述の考え方を受け入れると、海洋質量が南半球から北半球に輸送され始めたときが、1971 年の異常潮位であったことを意味する。従って、このような現象は日本付近のみの現象でなく、北太平洋全域におよぶ現象であろう。おもしろいことに、1971 年以降の z 項の減少は、1955・5 年から 1959・5 年までの z 項の減少のパターンによく似ている。ナマイアス (1972) は、1960 年代の気候とは異なった気候が 1971 年頃より出現していること、しかもこの原因が北太平洋の海洋変動にあること等を指摘しているが、筆者は、 z 項の変化から、

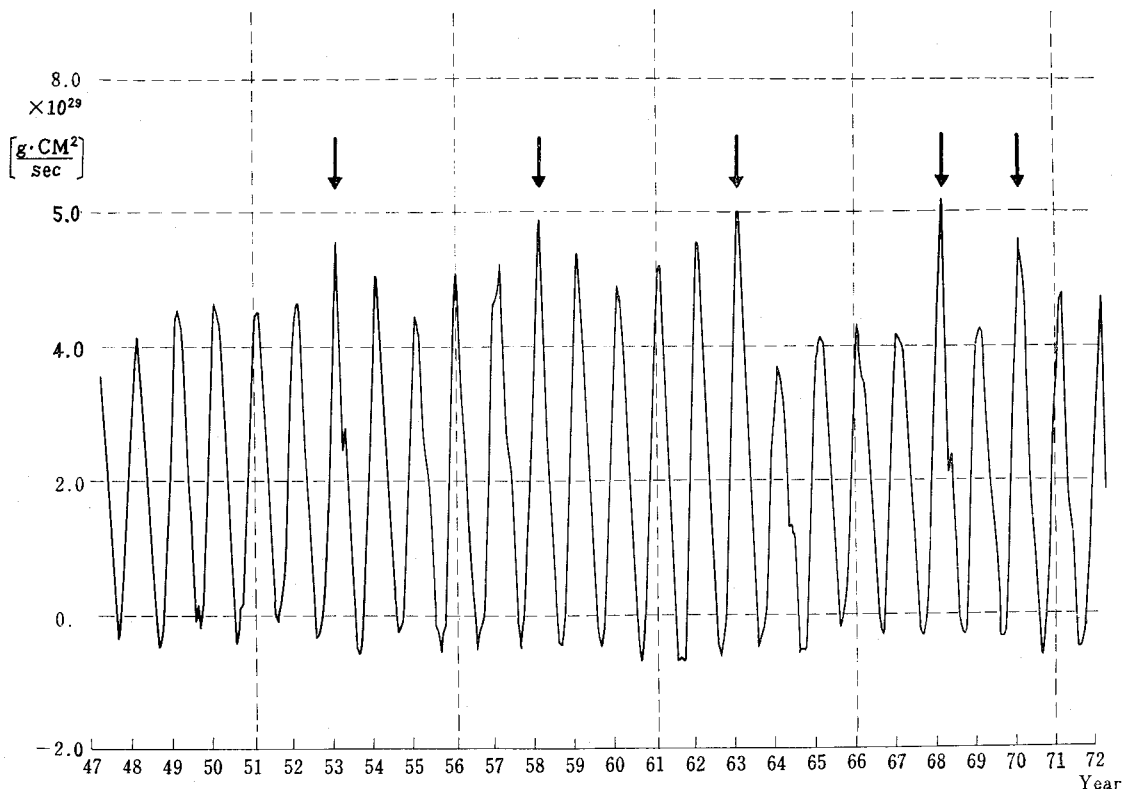
これらの事実を再確認するものである。

4. 日本海溝と千島海溝に出現する大規模地震

さて、前節で指摘されたような、 z 項、平均極および黒潮の相関変動は、一体、どのような機構で励起されるのであろうか。 z 項と黒潮との関係は前節で述べたが、平均極と黒潮との関係はやや複雑なようである。細山 (1962) は、1900 年から 1930 年頃までの平均極の変化と北米大陸の両岸における海水位差の変化とに相関があることを指摘し、もし、地球の慣性主軸が海水位の増加した海洋方向に移動するならば、これらの相関は説明されることを指摘した。この考えを受け入れると、ここで議論している事実を定性的に説明することができる。

即ち、1916 年、1935 年および 1968 年の平均極の屈折は、すべて、地球の慣性主軸が最も北太平洋方向に移動した時点で相当することから、北太平洋の海洋質量がそれら 3 つの屈折点の時期に最大になったことを意味し、黒潮の蛇行は、その直後に発生している。このことは、前述した z 項と黒潮との関係と同一の結果になるようである。即ち、北太平洋に関する限り、海洋質量が最大を示めし、その直後に、海洋質量は減少を始め、同時に、黒潮の蛇行が出現し、 z 項は増加に転じ、平均極はヨーロッパ大陸方向に移動を始める。つまり、黒潮の蛇行は北太平洋の海洋質量が減少するときに発生するという新事実を得る。

このように考えると、北太平洋の海洋変動がいかに重要であるかが明らかであろう。話を原点にもどすと、一体、どのような機構で北太平洋の大規模海洋変動が励起されるのであろうか。北太平洋における、 10^{21} g の海洋質量の変化は、充分、 z 項や平均極の経年変化を説明する大きさであるが、このような大規模な海洋質量変化は、海洋内部構造、例えば、密度等の変化では説明できそうもない。筆者は、第 2 節で述べたように、海洋変動と密接に関係しながら変動している現象が固体地球内部に、特に、北太平洋に接した固体地球の内部に存在しているのではないかと考えている。筆者等は、日本海溝と千島海溝に震央を持つ大規模地震が、一部の例外をのぞいて、黒潮の蛇行の約 1 年前に発生していることを指摘した。第 6 図の上段には、マグニチュード 7.6 以上の日本付近に発生した地震を示めした。特に下向きの小さな矢印がほどこされている地震は、日本海溝と千島海溝に発生したマグニチュード 7.8 以上の大規模地震を示す。1963 年の千島海溝 (KURILE IS.) に発生した地震をのぞくと、過去 4 回の黒潮の蛇行の約 1 年前に、それらの地震が発生していることが明らかである。これらの対応は、全く偶然の一致と見ることもできるが、それにもかかわらず良い対応を示めしている。茂木 (1968) は、興



第7図 20°N と 30°N との領域における 500mb 面大気角運動量の経年変化。

味ある事実を報告している。それによると、1937年以降に、日本列島、千島列島、アリュシャン列島を経てアラスカ半島に到る海溝周辺で発生する大規模地震（マグニチュード7.8以上）が、日本の南端に始まって、領域を拡大しながら、アラスカ半島の太平洋岸に到っていると言う事実がある。第6図上段に示めされた大規模地震も、それらに含まれている。おもしろいことに、それらの大規模地震の大部分が黒潮流軸の Type 1 の期間に集中しているようである。このような事実は、北太平洋の海洋底の上下運動を含む何らかの地殻変動が海洋変動と相互作用を持っていると考える現象例にはなり得ないであろうか。

5. 大気角運動量の経年変化

黒潮等の海流の成因は、現在までに多くの海洋学者によって説明が試みられてきた。その大部分が、大気・海洋システムに基づき、赤道で熱せられた海水の水平対流効果と風による運動量輸送効果が黒潮の源動力となっているようである。従って、大気・海洋相互作用の研究は、今や、海洋および気象学界の流行の最先端であるようである。筆者等は、黒潮源流に近い北緯20度から30度にかけての領域における 500mb 高度の大気角運動量を第7図のように算出した。（資料が東経 60 度から西経 140 度

に限られている）。

非常に興味あることは、1963年前後で大きく変化していることである。この急変化は、飯島・松波および岡崎（1964）が指摘した地球自転速度の急増加に対応するものである。さらに興味深い事実は、夏期の角運動量には変化がないのに、冬期の極大値に大きな経年変化が認められることであろう。図の矢印は冬期の角運動量極大が最大を示めた時期をさしている。おもしろいことに、これらの矢印が第6図で示めされた日本海溝・千島海溝に発生した大規模地震と、ほぼ、同時期に位置していることが判明する。

さらに、成層圏では、これらの時期に、観測史上まれな大規模突然昇温現象が発生している。松野（1971）の突然昇温発生機構についてのモデルは非常に興味ある結果を導びくようである。それによると、何らかの原因で対流圏に発生した大規模波動（東西方向に、1～2の波数を持つ）が成層圏に伝搬され、その波動の崩壊によってもたらされるエネルギーが突然昇温をもたらすと言うもので、そのとき、それまでの西風の強化が突然昇温の直後から東風の強化になると言う結果が導き出された。従って、矢印の位置以後の西風の弱化（または東風の強化）は、そのようなモデルで説明される可能性がある。東風の強化は黒潮の質量輸送の強化を意味し、これが北

太平洋の海洋質量の増加をもたらすことは容易に理解できる。この事実と前述の地震の発生との関係は、ここでは説明できそうもない。これは今後の重要課題であろう。

6. 大気・海洋・固体地球の相互作用

以上のような一連の大気、海洋、固体地球の諸現象と α 項および平均極の経年変化、さらに、地球自転速度変動との間の相互関係は、一体、何を意味しているのだろうか。

一般に、大気は海洋に運動量を輸送したり、海洋中の熱の水平分布を変えるような役割を果している。海洋は強く大気運動と相互作用を維持しながら変動していることは明白であるから、大気と海洋の力学関係は非常に複雑ではあるがユニークな現象の対応関係は存在するはずである。一方、海洋と固体地球の間の力学関係については、極く一部の現象（例えば、地球潮汐と海洋潮汐の関係（ヘンダーショットおよびムンク、1970）等）をのぞいて、ほとんど研究されていないし、実際、前述したような大規模地震と黒潮変動との対応等が物理的に可能な

のかどうかも不明である。

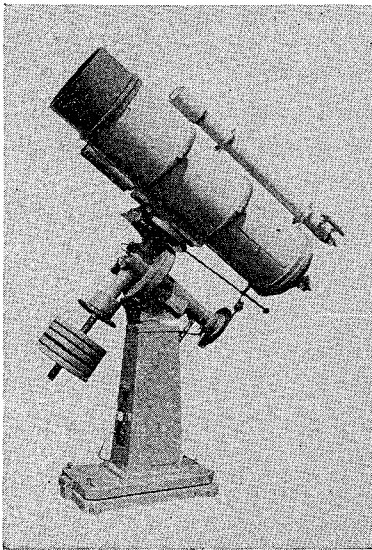
筆者は、前節までに示めされた現象例が、何らかの大気・海洋・固体地球間の相互作用の良い例ではないかと考えている。

7. あとがき

ここでは、極く定性的な議論のみに終始したが、近い将来、定量的な議論が可能になり、再度、この誌上で議論されるよう期待したい。

現在、固体地球物理学においては GDP（国際地球内部ダイナミクス計画）、海洋学においては IDOE（国際海洋研究10年計画）、そして、気象学においては GARP（地球大気開発計画）等の大規模な観測研究計画が動きだそうとしている。筆者は、位置天文学がこれらの全計画に関心を持つものであり、近い将来、位置天文学は地球の諸現象の研究を進める上に最も重要な役割を果すであろうことを強調しておきたい。

稿を終るに当たり、多くの海洋学上の有益な議論をしていただいた東京大学の吉田耕造教授に厚く感謝します。



天体望遠鏡
ドーム、製作

西村製の天体望遠鏡

40 cm 反射望遠鏡の納入先

- | | |
|--------|---------------------|
| No. 1 | 富山市立天文台 |
| No. 2 | 仙台市立天文台 |
| No. 3 | 東 京 大 学 |
| No. 4 | ハーバート大学 (USA) |
| No. 5 | ハーバート大学 (USA) |
| No. 6 | 台北天文台 (TAIWAN) |
| No. 7 | 北イリノイズ大学 (USA) |
| No. 8 | サン・チェゴ大学 (USA) |
| No. 9 | 聖アンドリウス大学 (ENGLAND) |
| No. 10 | 新潟大学高田分校 |
| No. 11 | ソウル大学 (KOREA) |
| No. 12 | 愛知教育大学(刈谷) |

606 京都市左京区吉田二本松町 27

株式会社 西村製作所

TEL. (075) 771-1570
691-9580