

地磁気変化におよぼす海の影響

東大地震研究所 笹井 洋一

1. はじめに

地磁気変化におよぼす海の影響は、Chapman と Whitehead(1)(1923) が地球全体を 1 Km の海でおおった場合に日変化がどの位シールドされるかを考察して以来の、いわば古典的な問題である。所が最近 C. A 研究がさかんになると共に、海と陸の境界での edge effect が興味の対象になってきた。これはひとつには、C. A が発見されている所は、造山帯とか弧状列島など地球科学的に興味ある場所で、地下の物理・化学的状态を反映していると思われるわけであるが、あいにくこれ等が海のすぐ近くに位置している場合が多いからでもある。例えば我々は Central Japan Anomaly の場合に複雑な海岸線がどのような困難をもたらしているかを見てきた。

我々が地下の電気伝導度(σ)分布を調べようとする時、この海の影響はノイズと考えられる。しかし海水の σ や海の深さは既知であるから、海と地下の良導層との電氣的相互作用を考慮することによって、地下の電氣的構造を知ることができる。その良い例は Californian Coast Anomaly の研究で示された。

海の影響と考えられるものは第一に Coast Effect, 次いで海の中の小さい島で見られる Island Effect があり、この2つについてはかなり観測や理論的な追求もなされている。なおその他に海峡の影響とか Peninsula Effect なども考えられる。

ここでは従来までなされた観測を中心に報告する。海の影響を論ずる場合にはそれを薄層導体として取扱うことができる。薄層導体による電磁感応の理論と地球物理的現象への応用については力武(2)によってまとめられている。

2. Coast Effect

Coast Effect の存在は Parkinson(3)によって指摘された。彼はオーストラリア各地において、地磁気変化ベクトルが観測点に固有な平面上にのることを発見した。そして一般的傾向として、その観測点から近い海の方向に水平成分が変化した時、上向きの変位 ΔZ が最大になることを知った。オーストラリアで発見されたこの異常については本シンポジウムで森によって報告されているのでくわしい説明ははぶく。その後 Schmucker に

よる California Coast Anomaly, Lambert 等による Western Canada Anomaly, Rokitjanski 等(4)によってまとめられた南極 Mirny 基地附近の Coast Effect 等が次々と発見された。いずれも海岸近くでは1~2時間位かそれより短い短周期変化の ΔZ が異常に大きく、内陸に行くに従って消失している。

所が Schmucker(5)がペルー南部の海岸で従来報告された傾向と正反対な reversed Coast Effect を観測してから話はややこしくなった(森によるペルー、アンデスの異常の項参照)。この附近の海岸線はほぼ東西に走っており、北向きに磁場が変化した時下向きの ΔZ が期待される。ところが Ayanquera 等において量的には小さいが逆に上向きの ΔZ が観測されたのである。

第1図は Coast Effect の原因を模式的に示したものである。中緯度地方では Bay やその他の短周期擾乱は電離層に流れるほぼ一様な電流によって引き起こされる。水平成分が海岸線に直交する変化では、図に見るように電離層の電流は海岸線と平行に流れている。そして海や陸ではこれと反対向きの電流が誘導される。海水は非常に σ が良いから海側に強い電流が流れ、海陸の境界では大きな Z 成分が観測される。又水平成分は海岸近くの陸地で減少する。

この図から分るように、Coast Effectの強さは、ひとつには陸地の σ にも依存する。堆積層などでは 10^{-12} emu もの σ を持つので、コントラストは弱められるであろう。実際 Rokitjanski 等(4)によると、厚い堆積層のある黒海の近くでは、Coast Effect はほとんど見られならしい。

もう一つの要因は周期特性である。一様な薄層導体を流れる電流は $[1 + (\frac{\rho \lambda}{2\pi\omega})^2]^{-1/2}$ に比例する。(ρ : Total Resistivity, λ : 外部磁場の空間的波長, ω : 変動の周期) 従って周期が長くなれば誘導電流が減り、逆に極端に短くなれば完全導体に近くなって陸地が有限な σ を持つかぎり海陸の σ の差は意味がなくなってしまう。実際には海と陸の σ のコントラストと周期とのかねあいで、Coast Effect が顕著にあらわれる周期帯が存在するであろう。

このような観点から従来報告されている Coast Effect を整理してみると ΔZ の増大する周波数域は結構まちまちである。例えば合衆国やカナダの太平洋岸では、周期30分から1時間位のところで大きな ΔZ が観測され、オーストラリアでは数十分の周期で ΔZ が大きい。一方、Mirny では周期120分より短い変化から ΔZ の増大が観測されるがわずかに数Km内陸では消失しているようである。ペルー南部となると、第1図のようなモデル

では全く説明がつかないであろう。

一方、周期数十分から1時間という磁場変化の Skin depth から考えて海水中の誘導電流だけで観測される Coast Effect を説明できるだろうか。Parkinson(6) は彼の Terrela モデルの実験から、海の影響だけでは観測される大きな ΔZ を説明できず、マントルにその原因をもとめるべきではないかと考えた。又、Coode と Tozer (7) は California Coast Anomaly やオーストラリアの異常は上部マントル良導層のステップによるものではないかと論じている。第2図に彼等の考えた大陸周縁部の σ 分布を示すが、これは Western Canada Anomaly の項で紹介した Lambert 等と同じ考えで、このステップを大洋と大陸の下における地震波低速度層の深さのちがいに対応させるものである。海電流計による観測で、カリフォルニア附近ではこの考えが正しいことが確かめられたが、低速度層との対応がついたとはまだ云えない段階である。尚、このアイディアによれば、ペルーでの reversed Coast Effect は陸側で良導層がもり上り、海側で落ちこんでいなければならない。

Coast Effect として日変化の振幅の差が報告されている。北米大陸太平洋岸での Z の振幅の増大はその例である。又、Hill と Mason (8) は英国本土南端から南西約 200 Km の大陸棚の端に、ブイにつけたプロトン磁力計をすえつけ全磁力の日変化をはかったところ、その振幅は陸地のそれの2倍にも達した。日変化の場合には第1図の場合と若干事情が異なる。日変化は Bay に比べて波長が短かく、 Z 成分の振幅が大きいので、この Z 成分による誘導電流も考慮しなくてはならない。又 Bay 等とちがって進行波であって、この波が陸から海の方へ進む時とその逆の場合では、誘導された磁場の振幅や位相が異なってくる。

この問題は Roden(9) によって取扱われた。彼は南北に無限にのびた薄板状の海の下に完全導体の core を置き、 Z 成分のみによる電磁感應を計算した。そしてこのように理想化した大洋の東の端では Z の振幅が非常に大きくなり、西の端では位相のすすみが顕著であることを示した。カリフォルニア沿岸では日変化 Z 成分の振幅が大きく、日本では Central Japan Anomaly 領域で Z の位相のすすみが見られることから、一見話はうまそうなのであるが、日本列島の海岸線の走向はこのような単純な対比をゆるさないのは前に述べた通りである。 Z 成分による電磁誘導だけを考えていること、計算の過程で core の役割を過小評価していること(この点については Ashour(10) の批判がある) など問題が多い。同時に彼は薄い銅板に日本列島の形の穴をあけ、 Z 成分だけを持つ進行波をかけて、日本における日変化 Z 成分の位相のずれを実験的に求めようとした。しかしその結果は、千島や北海道

の東にも大きな位相のずれが出たり、又量的にも実測とは合っていない。

このように最近の Coast Effect 研究では、大陸周縁部における上部マントルの構造を調べるという色彩が一層強く打ち出されてきた。特に海底で地磁気、地電位差を測ることがいかに重要であるかを Filloux 等の観測はよく示している(早い話が、海に誘導される電流の強さが分っていれば、それを積分してやって陸上で Coast Effect を説明できるかどうか見当がつけられるであろう)。特に、カリフォルニア沖に見られるように地殻のすぐ近くに良導層が存在するという事実が大洋の下の上部マントルの一般的な性質であるかどうかは大変興味のある問題であろう。

3. Island Effect

1958年にイギリスがクリスマス島で、アメリカがジョンストン島で、当時日本ではかなり評判が悪かった核実験を行なった時、爆発によってひき起される地磁気変化を検出するために赤道直下の島々における IGY の臨時観測点での記録を調べていた Mason は Z 成分がひどく違っていることに気付いた。彼はこの Z 成分の差が海水中に誘導された電流によるのではないかと考え、1961年にクリスマス島の島内各所で2台の磁力計によって地磁気変化を観測した。(Mason(11), 1963) 第3図に短周期変化の例を示す。島の北端と南東部で ΔZ が逆転している。又島の中央部では ΔZ が減衰する。第4図には日変化を示すが、このような長周期の変化でも Z の位相が大きくずれている。フーリエ解析の結果、24時間成分で Z の位相のずれは 70° にも達している。

Mason はこの異常を次のように解釈した。外部磁場の変動で海に誘導された電流が不良導体である島のまわりで反射され、その結果島の両端で符号が反対で大きな ΔZ が観測される。島の中央部は島のそれぞれ反対側を流れる電流の影響が打ち消しあって ΔZ は小さいのであろう。この考えをたしかめるため彼は良導性の紙にクリスマス島の形に穴を明け、紙の両端に電極をおいて定常電流を流し、島の周囲で電流が反射される様子を調べ、このような電流系による Z 成分を計算した。予想通り第3図に示した観測点ではお互いに逆向きで大きさがほぼ等しい Z 成分が得られた。

Mason はその後カントン島(12)やハワイのオアフ島(13)で同様な Island Effect を発見している。又、プエルト・リコ島における Island Effect が Elvers と Perkins(14) によって報告されている。日本では水路部の観測で、三宅島の各所で短周期の Z 成分の振幅が異なっていることが報告されたが、当時は Island Effect が知られて

ならず、同時観測でなかったため、疑問視されていたと云う(歌代(15))。

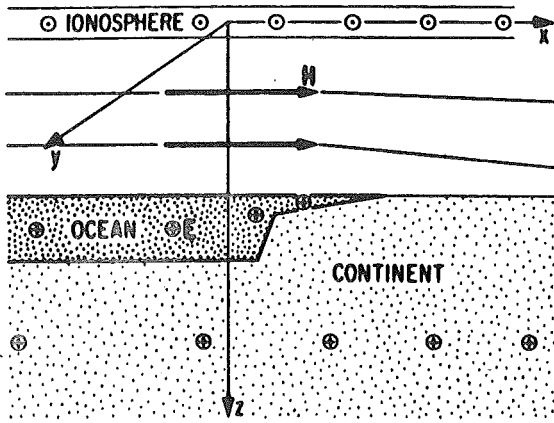
最近筆者等(16)、(17)は伊豆大島において Island Effect によると思われる地磁気変化異常を観測した。島の南北では30分より短い短周期変化は逆転する。しかし日変化の差はほとんど無い。しかし実際に大島の周囲の海の深さに比例した σ 分布を与えて定常電流の反射を計算し ΔZ の異常を求めてみると、実際に観測される ΔZ と一致しない。伊豆大島では Island Effect の他に、南北方向の短周期変化に大きな ΔZ が生じる Central Japan Anomaly型の変化も加わっていると考えないと具合が悪いのである。又ハワイのオアフ島でのその後の観測では、上部マントルの σ の異常によるらしい日変化の異常が見ついている。(Klein(18))

このようにして比較的単純に海の影響でかたづくかと思われた Island Effect も、当然のこととはいえ Coast Effect と同じように上部マントルの電氣的構造との相互作用を考えざるを得なくなっている。もし大洋の下のマントルでは良導層が浅い所に存在するなら、海水中の誘導電流だけを考えていた従来の Island Effect とは大分事情が異なってくるであろう。

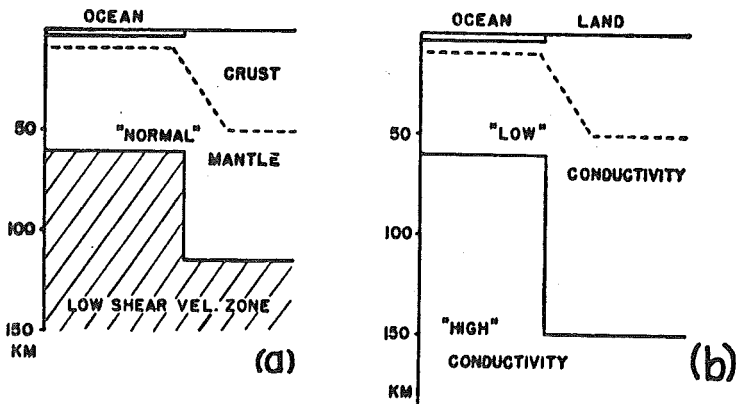
海の影響としては、この他に海峡の影響(Barber(19))、半島効果(Central Japan Anomaly の項参照)などが考えられるが、十分な観測がないので省略する。

- 1) Chapman, S. and T. T. Whitehead, "The Influence of Electrical Conducting Material within the Earth on Various Phenomena of Terrestrial Magnetism", Trans. Cambridge Phil. Soc., 22, p.463, 1923.
- 2) Rikitake, T., "Electromagnetism and the Earth's Interior", Elsevier Pub. Co., Amsterdam, Chap.12 and Chap.17., 1966.
- 3) Parkinson, W. D., "Directions of Rapid Geomagnetic Fluctuations", Geophys. J., 2, p.1, 1959.
- 4) Rokijtanski, I. I., et al., "The Coast Effect in the Variations of the Earth's Electromagnetic Field", J.G.G., 15, p.271, 1964.
- 5) Schmucker, U. et al., "Electrical Conductivity Anomalies in the Earth's Crust in Peru", Carnegie Inst. Wash. Year Book, 63, p.354, 1964.
- 6) Parkinson, W. D., "Conductivity Anomalies in Australia and the Ocean Effect", J. G. G., 15, p.222, 1964.
- 7) Coode, A. M. and D. C. Tozer, "Low Velocity Layer as a Source of the Anomalous Vertical Component of Geomagnetic Variations near the Coast", Nature, 205, p.164, 1965.
- 8) Hill, M. N. and C. S. Mason, "Diurnal Variations of the Earth's Magnetic Field at Sea", Nature, 195, p.365, 1962.
- 9) Roden, P. B., "The Effect of an Ocean on Magnetic Diurnal Variations", Geophys. J., 8, p.375, 1964.
- 10) Ashour, A. A., "The Coast Line Effect on Rapid Geomagnetic Variations", Geophys. J., 10, p.147, 1965.
- 11) Mason, R. G., "Spatial Dependence of Time Variations of the Geomagnetic Field in the Range 24 hrs-3 mins on Christmas Island", Geophysics Department, Imperial College of Sci. and Tech., REF. 63-3, 1963.
- 12) Mason, R. G., "Magnetic Effects at Canton Island of the 1962 High Altitude Nuclear Tests at Johnston Island", Geophysics Department, Imperial College of Sci. and Tech., REF. 64-1, 1964.

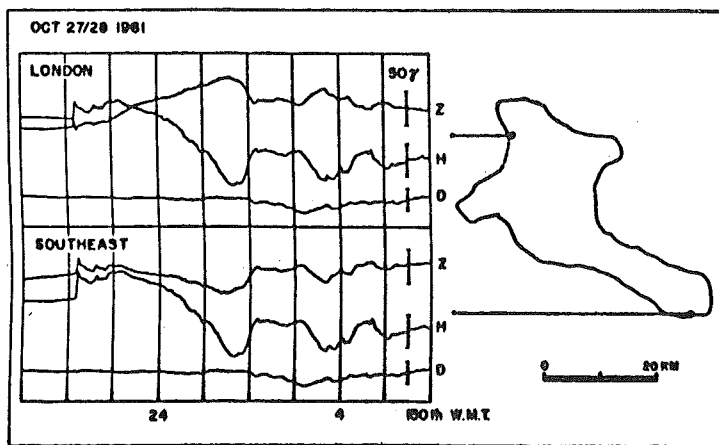
- 13) Mason, R. G., "Spatial Dependence of Time Variations of the Geomagnetic Field on Oahu, Hawaii", Trans. Am. Geophys. Un., 44, p.40, 1962.
- 14) Elvers, D. and D. Perkins, "Geomagnetic Research on Spatial Dependence of Time Variations across Puerto Rico", Trans. Am. Geophys. Un., 45, p.46, 1964.
- 15) Utashiro, S., Comment on the Annual Meeting of the Society of Terrestrial Magnetism and Electricity, Japan, 1966.
- 16) Sasai, Y., "Spatial Dependence of Short-period Geomagnetic Fluctuations on Oshima Island (1)", B.E.R.I., 45, p.137, 1967.
- 17) Sasai, Y., "Spatial Dependence of Short-period Geomagnetic Fluctuations on Oshima Island (2)", to be published in the B.E.R.I., 1968.
- 18) Klein, D. P., Personal Communication, 1968.
- 19) Barber, N.F., "The Magnetic Field by Earth-currents Flowing in an Estuary or Sea Channel", Mon. Not. Roy. Astron. Soc., Geophys. Suppl., 5, p.258, 1948.



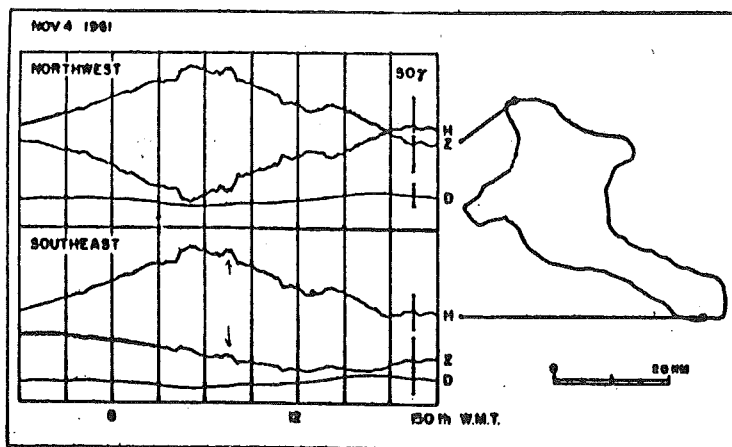
第 1 图



第 2 图



第 3 图



第 4 图