

大気球による三陸沖および日本海溝周域の
磁気異常の観測*

加藤 愛雄**・瀬戸 正弘***・遠山 文雄†

(1984年5月7日受理)

Magnetic Survey with High Level Balloons
Over the Area of West Pacific Ocean Near the
Northeastern Japan

By

Yoshio KATO, Masahiro SETO
and Fumio TOYAMA

Abstract : The high level balloons (flight level is 20Km-28km) were flown on May 29 1975, May 20 1977 and Sep. 23 1983 in order to observe the magnetic anomaly of total force with proton precession magnetometer over the area of the west pacific ocean (offshore Sanriku district) and the vicinity of Japan Trench.

After comparing the data of magnetic surveys of total force on the sea level observed by Geological Survey Institute and Defense Mapping Agency Hydrographic Center, we can clarify the underground magnetic structure of the area of Japan Trench and the magnetic anomalies due to the subduction of the pacific ocean plate, the accretion of the plate near the west break of the plate.

The intense magnetic anomaly was also observed at the center of the seismic front of northeastern Japan and this may be caused

* 宇宙研特別事業費による研究論文

** 東北大学名誉教授

*** 東北工業大学

† 東海大学工学部

by the igneous activity and the piezomagnetic effect excited by the movement of subduction.

1. はじめに

我々は大気球に磁力計を搭載して、東北日本の三陸沖、日本海溝周域および日本海において、現在までに6回の地磁気観測を実施した。それらの観測年月日、観測要素などは第1表に示した通りである。

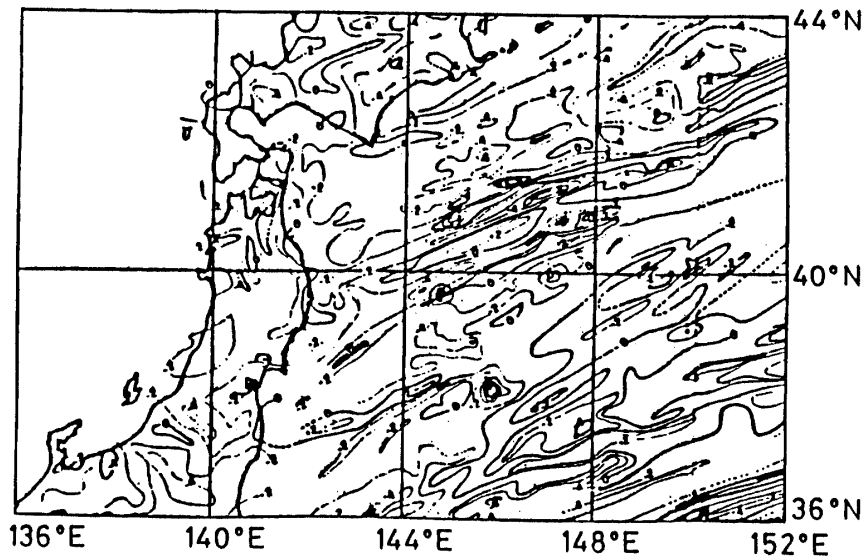
三陸沖、日本海溝周域における観測は、表からわかる様に過去4回行われ、ほぼ所期の目的を達成したので、ここで観測結果および解析結果について記述する。

第1図に示す様に、西太平洋には縞状の磁気異常が日本海溝にまで延びている事が知られており、これと太平洋プレートの海溝から日本島弧の下へのもぐり込み運動との関係が重要な問題となっている。従って、大気球高度で磁気異常を観測し、海上での異常を考慮に入れて解析する事によって、日本海溝周域の地下構造を明らかにする事が観測の目的で

第1表：大気球による磁場観測一覧表。

LIST OF GEOMAGNETIC EXPERIMENTS BY BALLOON

LAUNCHING DATE	JUN 22 1972	MAY 29 1975	MAY 20 1977	SEP 20 1978	JUN 5 1981	SEP 23 1983
BALLOON TYPE	B ₂ -30	B ₅ -61	B ₅ -79	B ₂ -34	B ₅ -105	B ₅ -115
FLIGHT TIME (HOUR)	16	12	14	38	25	5
ALTITUDE (km)	26	16 28	28	25	28	20
LEVEL FLIGHT RANGE (km)	270	500	230	370	500	370
FLIGHT AREA	INLAND	PACIFIC OCEAN JAPAN TRENCH	OFFSHORE KINKASAN	PACIFIC OCEAN JAPAN TRENCH	INLAND JAPAN SEA	PACIFIC OCEAN JAPAN TRENCH
LATITUDE	39° 20' N	39° 20' N	38° 30' N 39° 00' N	38° 20' N 39° 00' N	39° 40' N	37° 30' N 39° 00' N
LONGITUDE	139° 40' E 143° 00' E	142° 00' E 144° 40' E	141° 10' E 142° 20' E	142° 00' E 147° 00' E	138° 00' E 142° 00' E	143° 20' E 147° 20' E
MAGNETOMETER	PROTON FLUXGATE	PROTON FLUXGATE	PROTON FLUXGATE	RING-CORE	PROTON RING-CORE	PROTON RING-CORE
MEASUREMENT ITEM	TOTAL Z-COMP.	TOTAL Z-COMP.	TOTAL Z-COMP.	H, D, Z-COMP. H, Z-COMP.	TOTAL H, Z-COMP.	TOTAL H, Z-COMP.
COMMENTS		BOOMERANG				



第1図：西太平洋における全磁力異常分布図。(上田他による)

あった。

日本海溝周域においては、船を用いた米国海軍海洋局の調査による全磁力異常図、あるいは航空機を用いた海上保安庁水路部による全磁力観測値が公表されている。また、三陸沖近海においては、地質調査所の航空機による全磁力異常図が公表されている。従って、第1表に示した観測のうち、プロント磁力計による全磁力の観測結果と、上記の他機関による全磁力の観測結果を用いて、高度差による全磁力異常分布から原因となる磁氣的地下構造を決定する事にした。

その結果、日本海溝附近での太平洋プレートのもぐり込み状況および日本島弧東方沖の海溝斜面上縁 (Slope Break) における磁性物質の附加状況 (Accretion) が明らかになり、これらと地震活動およびCA研究によって得られた東北日本異常との関連についても考察する事ができた。

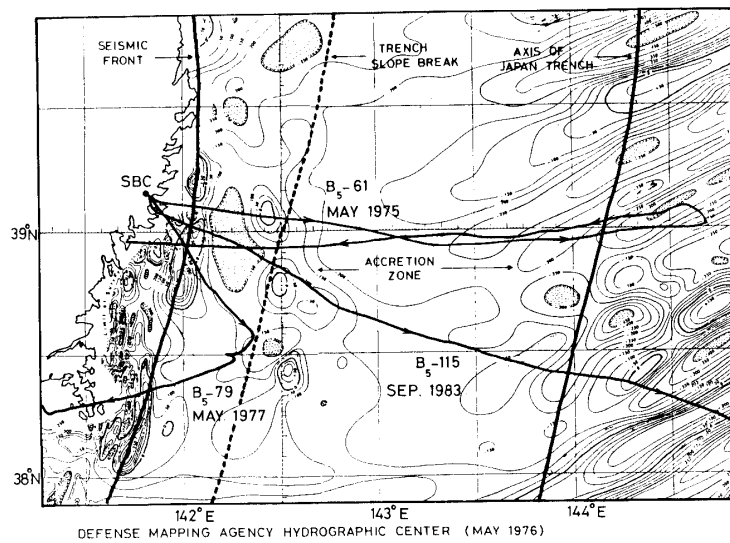
2. 実験方法

これまでに太平洋沖で行なわれた全磁力観測は3回あり、第2図にそれらの気球航跡を示した。1975年のB_s-61による観測は、初め高度16kmで日本海溝を横切り、太平洋沖250kmに達した後高度28kmで再び三陸沿岸にもどるブーメラン気球によるものである。1977年のB_s-79による観測は、金華山沖100km附近から西側に迂回した航跡を辿った気球によるもので、翌年発生した宮城県沖地震の震源域を一年前に飛翔した事になり、地震との関連についても考察できる結果となった。1983年のB_s-115による観測は、三陸より東南東に530kmに達した気球によるものであるが、高度は20.5kmから15kmに低下した変動の大きい飛翔であった。

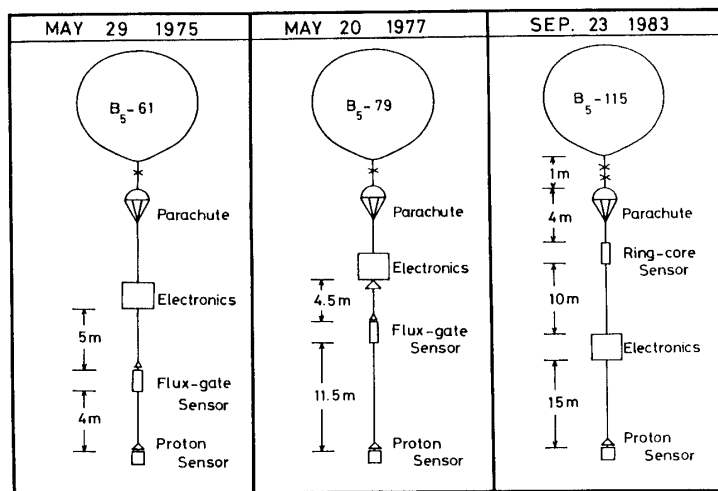
第3図は3回の実験の気球構成を示している。いずれもプロトン磁力計センサは周囲の

磁気的影響を避けるため、ゴンドラから下方に9~16mの所にロープで吊るされている。同時搭載のフラックスゲート磁力計センサもゴンドラの下方面または上方の離れた所に吊るされた。

全磁力測定用のプロトン磁力計は水素原子のプロトンの基本原子定数を利用するものである。センサーセルにケロシンを封入し、そのまわりにコイルに電流を流して強磁界をかけた後、磁界方向にプロトンの磁気モーメントのスピンの軸がそろい、次に、電流を遮断して急激に強磁界を取り除くと、磁気モーメントは外部磁場即ち地球磁場の回りに歳差運動を行なう。その歳差角周波数 f は地球磁場の大きさ B に比例する。比例定数は4257.7であるから、 $B=0.45\sim 0.50$ Gaussの地球磁場中では $f=1.9\sim 2.1$ KHzの出力が得られる。第

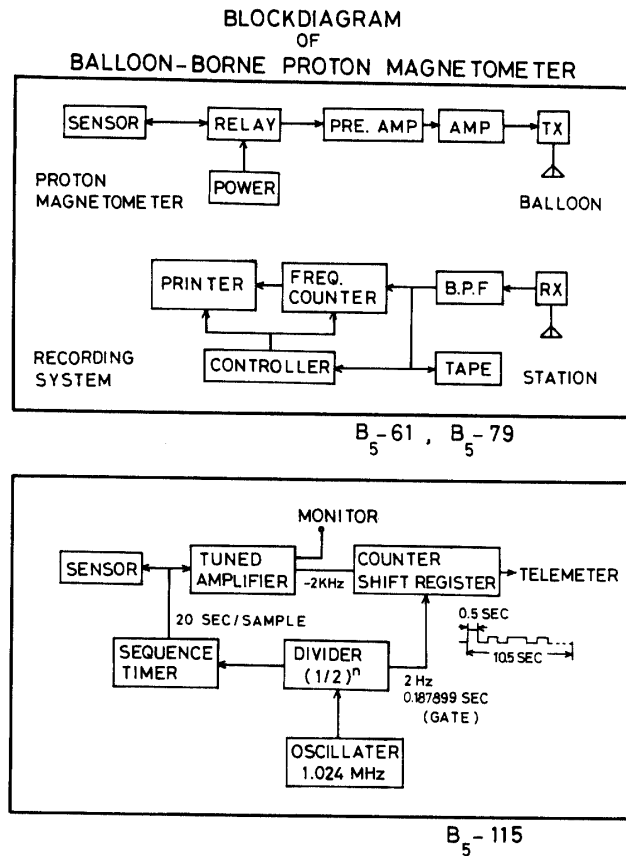


第2図：大気球航跡図。図中の等磁線は海上における全磁力異常を表す。



第3図：大気球構成図。

4図は搭載したプロトン磁力計のブロック図である。上図は1975, 1977年に採用した方式で、出力信号を増幅してワイドバンドで送信し、地上でフィルター、カウンタ等により周波数計測処理を行なっている。そのため分解能は10 nTであった。また、1975年の実験は同時搭載されたフラックスゲート磁力計の信号とプロトン磁力計の信号が15秒の切替でテレメトリーされたので、サンプリングは4データ/分程度であった。1977年の実験からは単独のテレメータチャンネルを持ち、サンプリングは6データ/分となった。第4図下は1983年の実験を用いた磁力計ブロック図で、センサにはリングコア型のもを使用した。出力信号の周波数計測は約200倍周波し、ゲートによるオンボードカウントして物理量変換し、20ビットのデジタル出力をした。第2表に各観測に使用したプロトン磁力計の主な仕様を示した。測定磁場範囲は気球航跡に沿った磁場の大きさを予測して決定され、太平洋沖への飛翔では真東に飛んだとして47000 nT~45000 nTの範囲である。電源は励磁のため約3~4 Aの電流が10秒毎に3秒間必要であるため、飛翔予定時間によって12~24 AHの電池を搭載した。従って、磁力計全重量に対する電池重量は50%前後を占めている。



第4図：プロトン磁力計のブロックダイヤグラム。

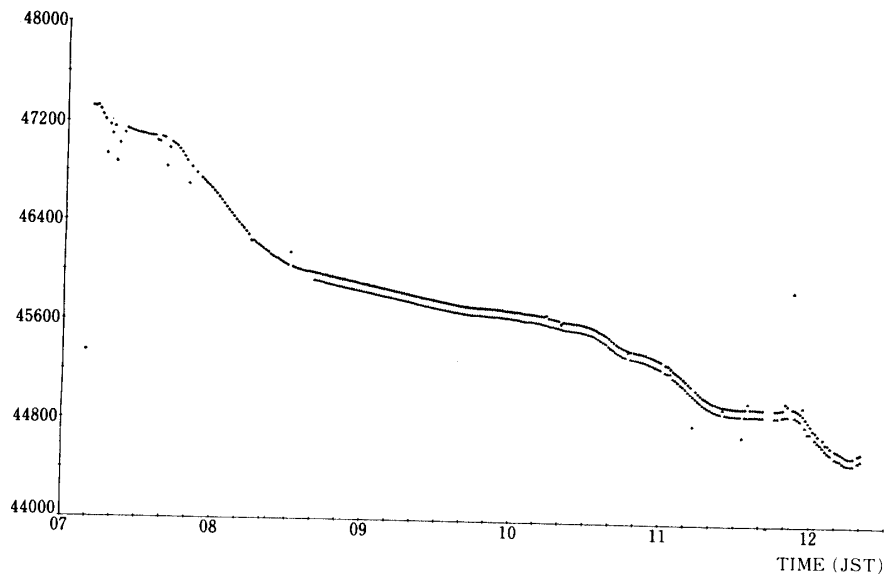
第2表：プロトン磁力計の仕様。

FLIGHT	1975.5	1977.5	1983.9
DYNAMIC RANGE (NT)	45000-48000	45000-47000	45000-47000
RESOLUTION (NT)	10	10	1
OUTPUT FORMAT	DIRECT	DIRECT	BCD 20 BITS
SAMPLING PERIOD (SEC)	8	10	10
TELEMETRY SYSTEM	WIDE BAND	WIDE BAND	FM
SIZE (MM ³)			
ELECTRONICS	130×150×180	130×150×180	130×160×210
SENSOR	115φ×150	115φ×150	160φ×145
BATTERY	185×76×169	185×76×169	166×175×250
WEIGHT (KG)			
ELECTRONICS	2.6	2.6	1.5
SENSOR	2.45	2.45	13.2
BATTERY	5.2	5.2	17.0
BATTERY CAPACITY	12V 12AH	12V 12AH	24V 24AH
COMMENTS			BIAS COIL

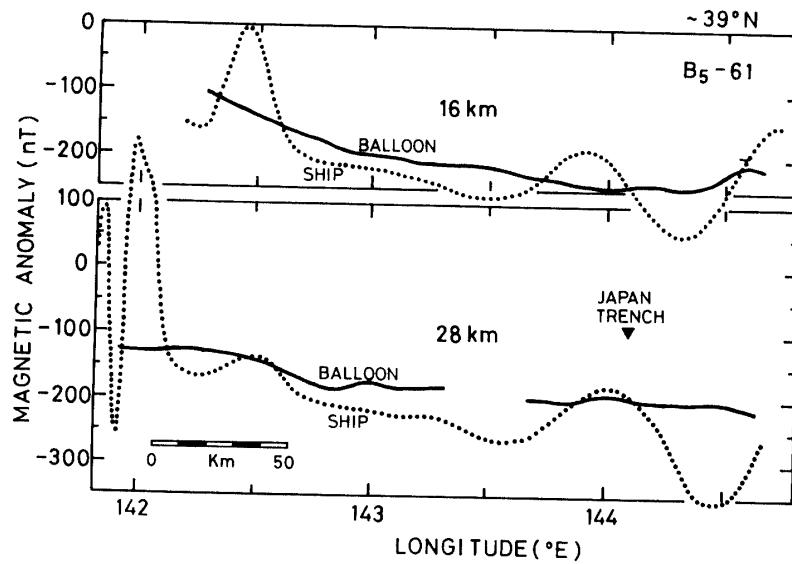
3. 観測結果

3回の実験において、プロトン磁力計の動作は正常であり、長いロープに吊るされたセンサは動揺を伴っているが良好なデータが得られた。第5図は1983年の実験によって得られた観測値である。平行な2つの観測値が示されているが、上が全磁力の大きさであり、下は垂直成分を求めるため測定したバイアスコイルによる磁場と地球磁場との合成磁場の大きさを示している。8時40分頃に地上からのコマンドによってバイアスコイルに電流が流され、全磁力値と合成磁場値が交互に測定されている。8時以前の測定値のバラツキや誤動作は気球の上昇中の動揺あるいはバラスト投下の影響によるものである。

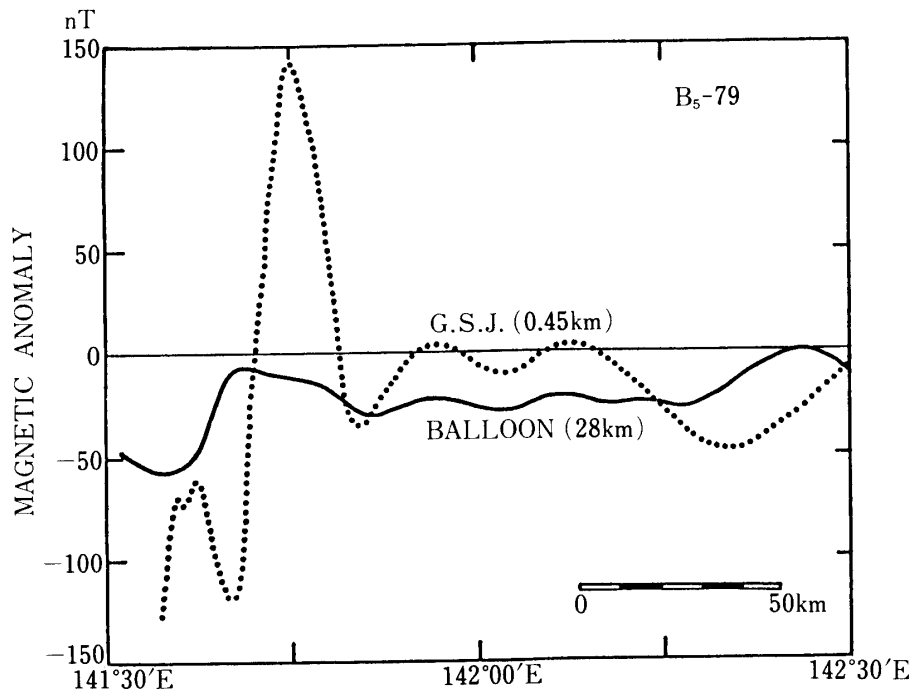
得られた測定値とIGRF(国際標準磁場)モデルによる計算値との差が全磁力異常値である。第6図～第8図に1980.0のIGRF係数を用いて求めたそれぞれの実験における全磁力異常分布図を示す。同じ図に大気球の航跡に沿って求めた海上での全磁力異常分布が示してあるが、第2図の米国海軍海洋局による全磁力異常図から読み取ったものであり、第7図の三陸沖近海については地質調査所の航空磁気測量による全磁力異常図から読み取って示した。なお、第9図は海上保安庁水路部の行なった航空機による全磁力測定値を用いて求めた全磁力異常で、航跡は1983年の大気球実験のものに近く、高度は3 kmである。点線は海上での異常を示している。これは解析の補助として使用した。



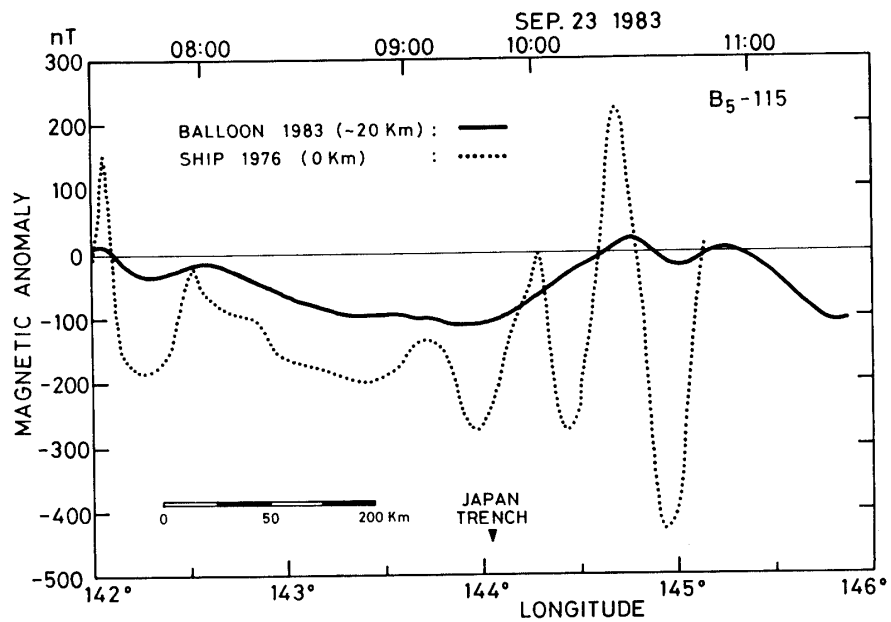
第5図：B₅-115による全磁力観測値。



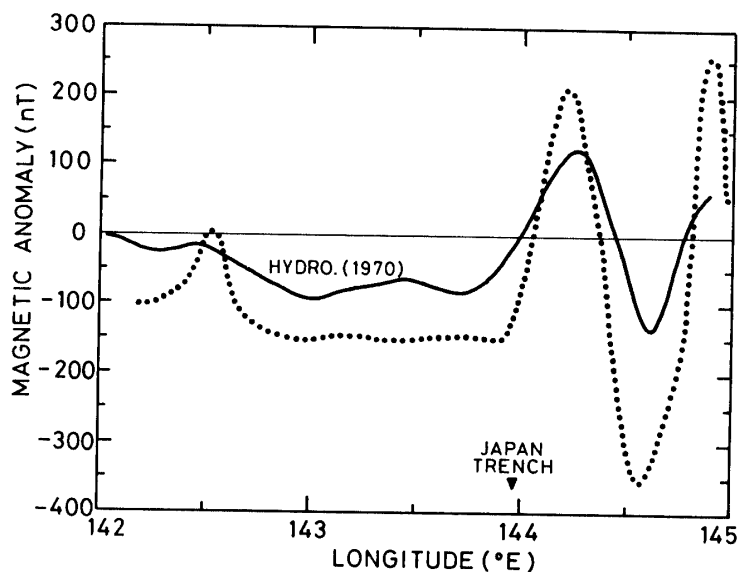
第6図：B₅-61により観測された全磁力異常。点線は大気球の航跡に沿って読み取った海上での異常。



第7図：B₅-79により観測された全磁力異常。点線は地質調査所の全磁力異常図から読み取った450 m上空での異常。



第8図：B₅-115により観測された全磁力異常。



第9図：海上保安庁水路部による観測値（3000 m 上空）から求めた全磁力異常。
航跡は B₅-115 の航跡のわずかな南である。

4. 観測結果の解析

前述の様にして求めた全磁力異常をブロックモデルを用いて計算した結果と比較し、地下の磁氣的構造を考察する事にした。一様に磁化された1つのブロックによる全磁力異常、 ΔF は次式から計算される。

$$\Delta F = \{2B_x \cdot \sin(D - A) \cdot \cos I + A X \cdot \sin I\} J_y \\ + \{A X \cdot \sin(D - A) \cdot \cos I - 2B_x \cdot \sin I\} J_z$$

ここで、

$$A X = \log \frac{(y_1^2 + z_1^2)(y_2^2 + z_2^2)}{(y_2^2 + z_1^2)(y_1^2 + z_2^2)}$$

$$B X = \tan^{-1} \frac{z_1}{y_1} - \tan^{-1} \frac{z_2}{y_1} + \tan^{-1} \frac{z_2}{y_2} - \tan^{-1} \frac{z_1}{y_2}$$

ただし、D：観測点で地理学的北と磁北のなす角度

A：ブロックの延びる方向と地理学的北のなす角度

I：観測点での地球磁場の伏角

J_y, J_z ：ブロックの磁化の強さの水平成分と垂直成分

z_1, z_2 ：ブロックの上面と下面までの深さ

y_1, y_2 ：観測点よりブロックの両端までの水平距離

従って、複数のブロックがある場合は上式の総和となる。我々は最大5つまでのブロックモデルの計算が行えるプログラムを作成し、パーソナルコンピュータにより計算を行った。

先ず、1983年の B₅-115 の解析結果を記述する。西太平洋の縞状磁気異常の走向(ブロッ

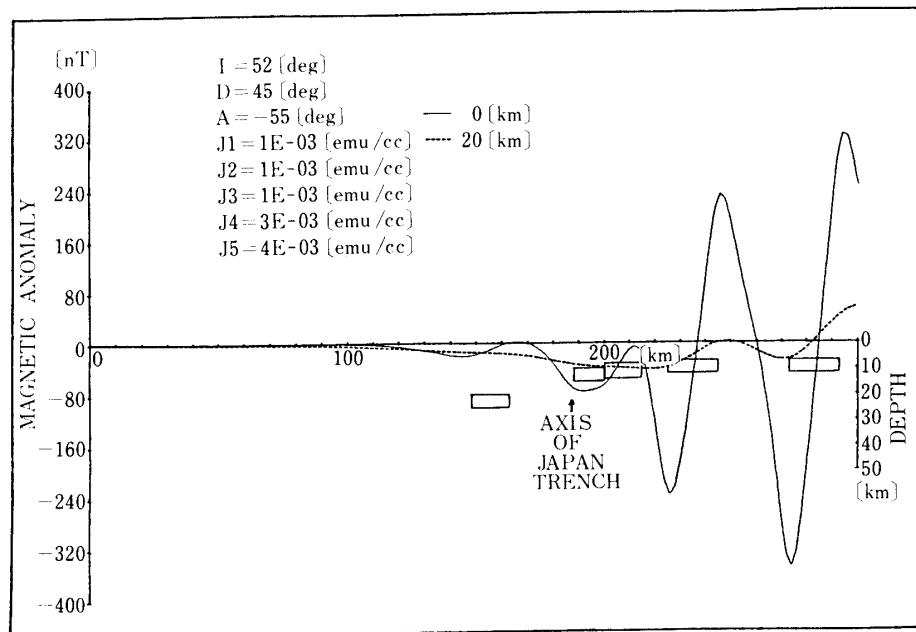
クの延びる方向)を $N 55^{\circ}E$ とし、磁化の方向を $N 45^{\circ}W$ 、伏角を 52° として日本海溝周域の全磁力異常を説明できる磁氣的構造を求めた。ブロックの大きさ、深さ、磁化の強さをいろいろ変えて第8図の観測結果に合うモデルを求めた結果が第10図である。おのおののブロックの磁化の強さはそれぞれ図の左のブロックから $J_1 \sim J_5$ とし、その値は図の中の数値で示してある。この解析の結果、西太平洋の縞状磁氣構造は深さ 10 km 附近に走向約 $N 55^{\circ}E$ の方向で存在し、日本海溝附近で落ち込み、更にその西方では約 20 km に落ち込んでいる事がわかった。第10図は海洋プレートの日本海溝での落ち込みと、その磁性物質の海洋底への附加 (Accretion) の状態を示している事になる。

次に、第8図の三陸沖近海附近の全磁力異常を説明するための図が第11図である。この場合、3つのブロックを考えいずれも $A=0^{\circ}$ 、 $D=7^{\circ}$ 、 $I=52^{\circ}$ とした。磁化の強さは左から $J_1 \sim J_3$ とし、 J_1 が最も大きな値を有している。このうちで右側2つのブロックは日本海溝の西斜面上縁 (Trench Break) に相当しており、海洋プレートのもぐり込みによるプレートの島弧底への附加状況 (Accretion) を示している。左端のブロックは海洋プレートのもぐり込みに伴う火成活動あるいはピエゾ磁化効果などにより磁化された大きな磁氣的構造である。そしてこれは地震活動帯 (Seismic Front) に全く一致している。

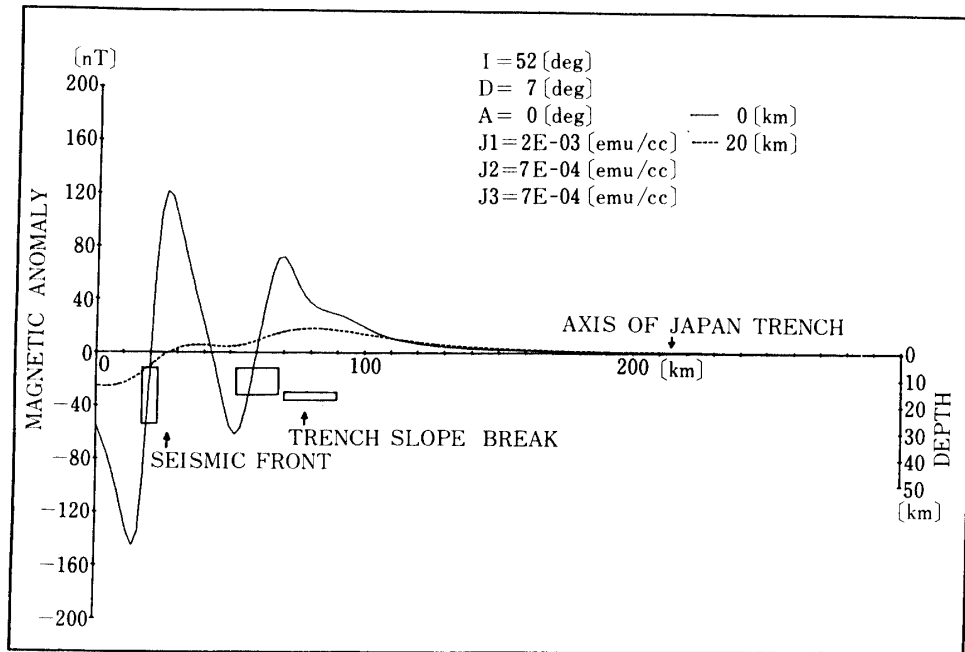
第12図は1975年の B_5-61 によるブーメラン飛翔の復路 (第6図下) の解析図である。第10図の B_5-115 による解析結果と同様に、日本海溝東部の海洋底に深さ 10 km の縞状磁氣異常をもたらす磁性物質の存在を示している。

第13図では1977年の B_5-79 による観測 (第7図) の解析結果で、磁性物質の島弧底への附加の状態を示している。

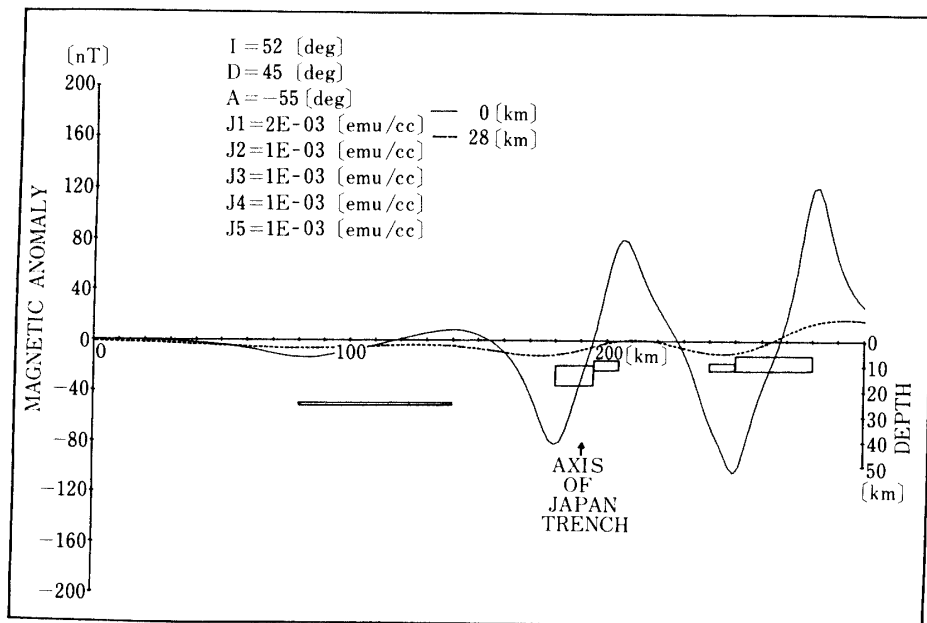
最後に、解析の補助として使用した第9図の解析結果を第14図に示す。大気球による結



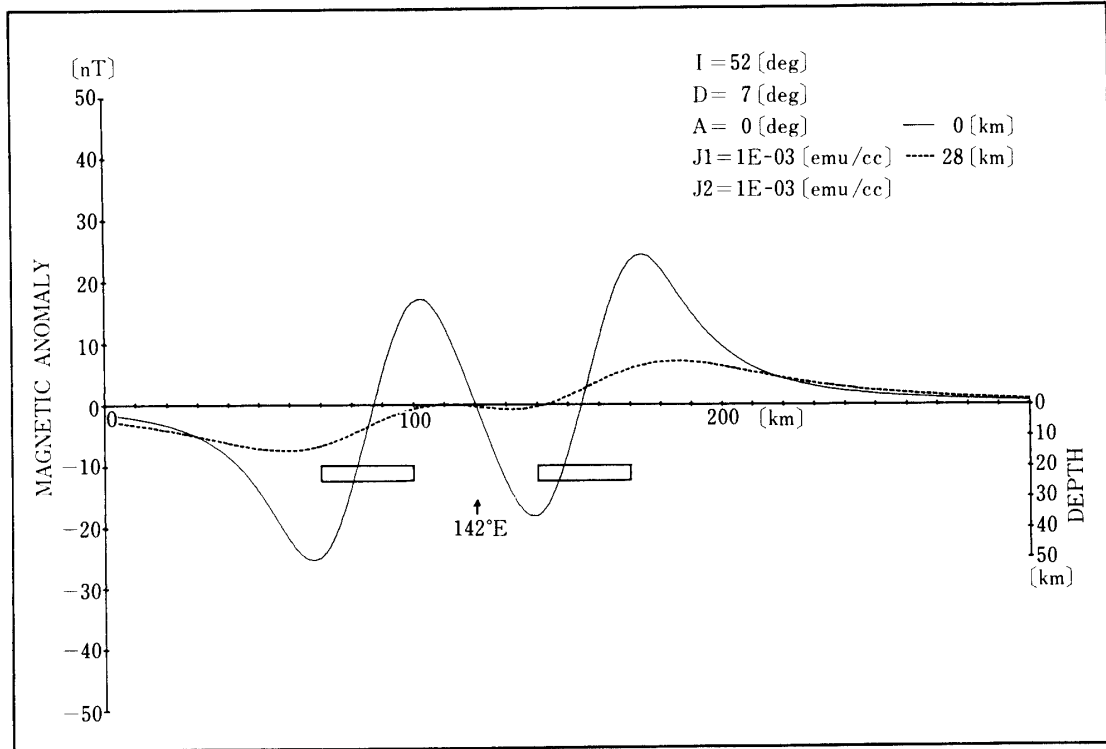
第10図： B_5-115 の観測結果から求めた日本海溝周域での地下異常構造。



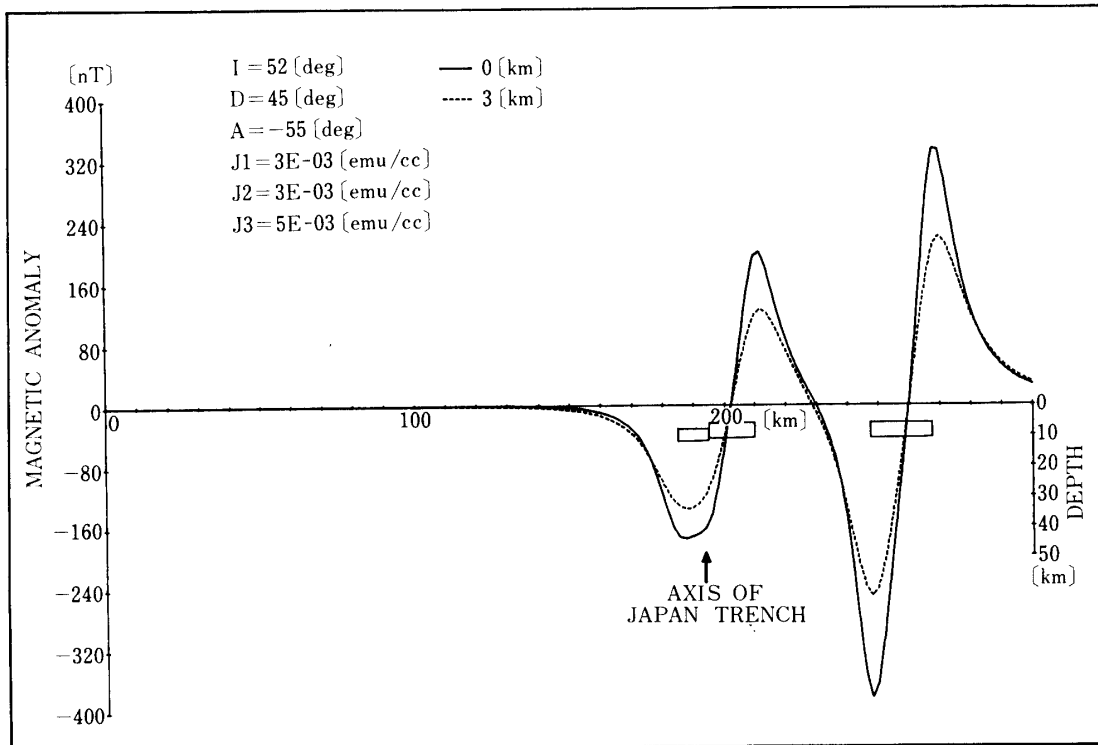
第11図：B_s-115の観測結果から求めた三陸沿岸および海溝西斜面上縁附近の地下異常構造。



第12図：B_s-61の観測結果から求めた日本海溝周域での地下異常構造。



第13図：B₅-79の観測結果から求めた海溝西斜面上縁附近の地下異常構造。

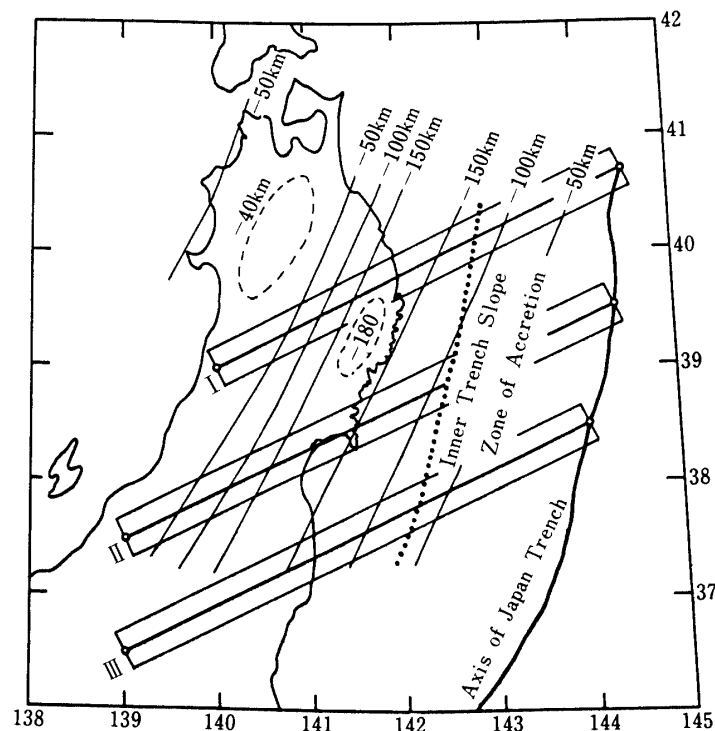


第14図：海上保安庁水路部による観測結果を用いて求めた日本海溝周域の地下異常構造。

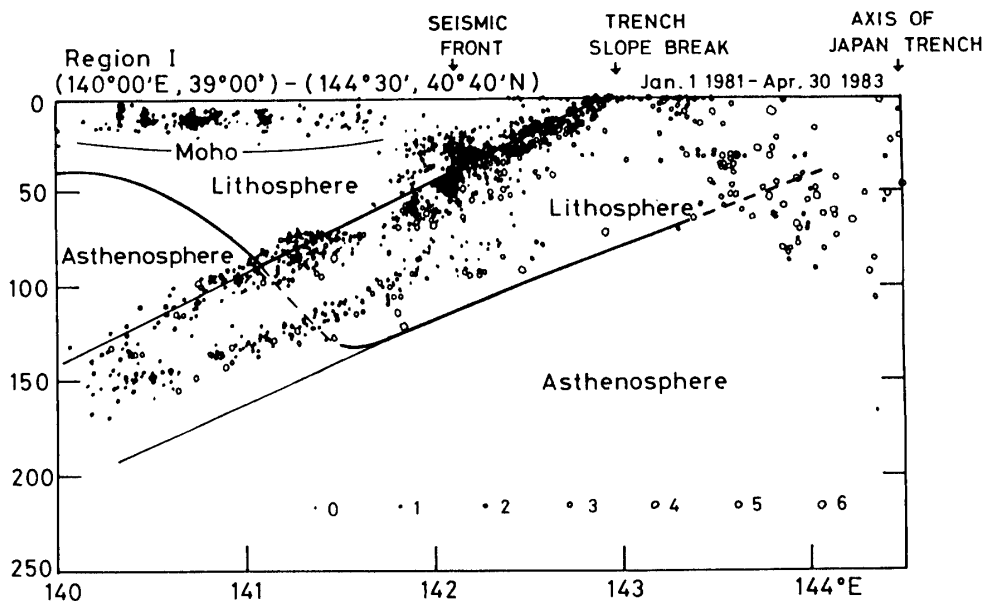
果と同様に、日本海溝東方の縞状磁気異常帯の磁性物質のブロック構造と、日本海溝でのその落ち込みが明らかである。

以上の解析の結果、次の様な知見が得られた。

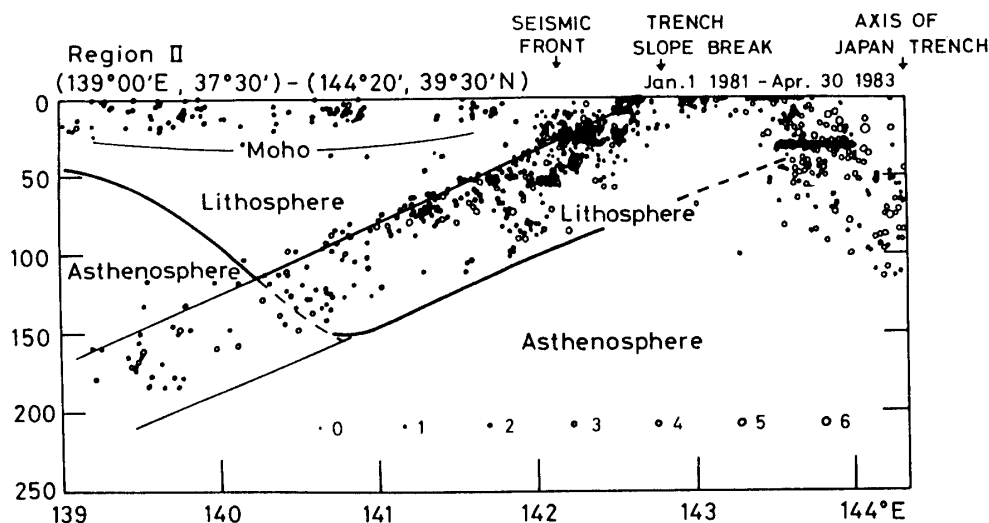
- 1) 日本海溝東方の縞状磁気異常帯は、走向 N 55° E の方向に上面の深さ 6 km, 下面の深さ 12 km で帯状に存在する磁性物質により生じる。
 - 2) 海洋プレートは日本海溝附近でもぐり込み、一部が海洋底に附加されている。
 - 3) 海洋プレートは日本海溝の西斜面上縁で島弧側にも附加されている。
 - 4) 西斜面上縁の西方の三陸沿岸では、プレートのもぐり込みに伴う火成活動あるいはピエゾ磁気効果などによる強い磁気異常帯があり、これは地震活動帯に一致している。
- ところで、地磁気の時間的変動の垂直成分と水平成分の振幅から地球内部の電気伝導着分布を求める CA 研究 (Conductivity Anomaly) により東北日本には東北日本異常が存在し、その原因は地下の上部マントルの起伏による事が提案されている。即ち、第 15 図の様に太平洋から内陸にかけて電気伝導度の高い物質が深くもぐり込み、内陸で上昇している。図の中の負の数値は電気伝導度の高い層までの深さを示している。また同図に示した様に、今回の解析結果から海洋プレートの日本海溝でのもぐり込み方向を縞状磁気異常の走向の方向であると仮定した。そして幅 50 km の 3 つの帯状の地帯について、1981 年から 1 月から 1983 年 4 月までにこの地帯で起った微小地震の分布を画いたものが第 16 図～第 18 図である。微小地震の分布図は東北大学地震観測所の作成によるものであり、海洋プレート



第15図：東北日本における上部マントルの電気伝導度分布と地震活動分布を調査した3つの地域。

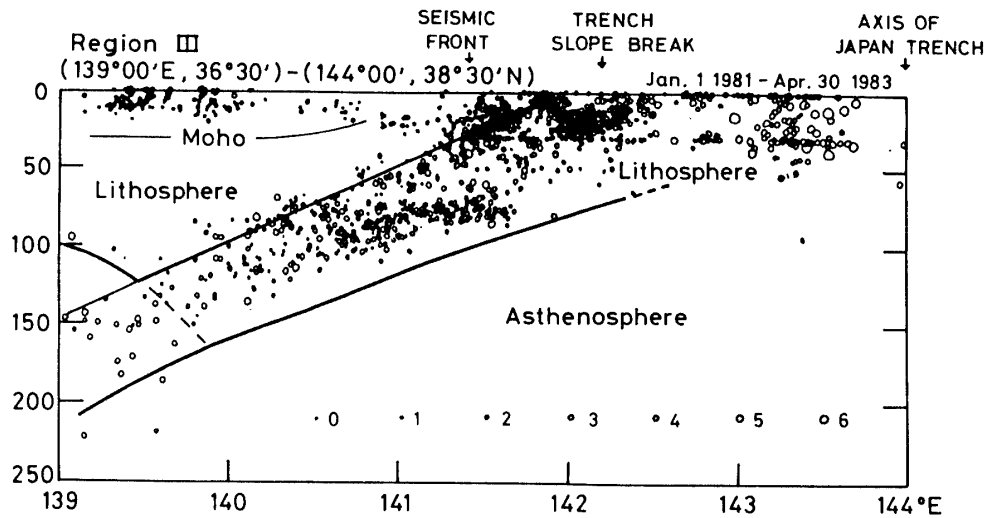


第16図：(140°00'E, 39°00'N) ~ (144°30'E, 40°40'N) の地域の微小地震分布図。



第17図：(139°00'E, 37°30'N) ~ (144°20'E, 39°30'N) の地域の微小地震分布図。

のもぐり込みの状況がよくわかる。それぞれの図の中に第15図の電気伝導度の良い層までの等深線を記入すると海洋プレートのもぐり込みの下層面が求まる。即ち、海洋プレート(Lithosphere)のもぐり込みによって三陸沿岸地帯では電気伝導度の低い層(Lithosphere)が上部マントルで深く落ち込んでいる事になる。更に、強い磁気異常帯と一致して地震活動帯(Seismic Front)のある事も明瞭である。



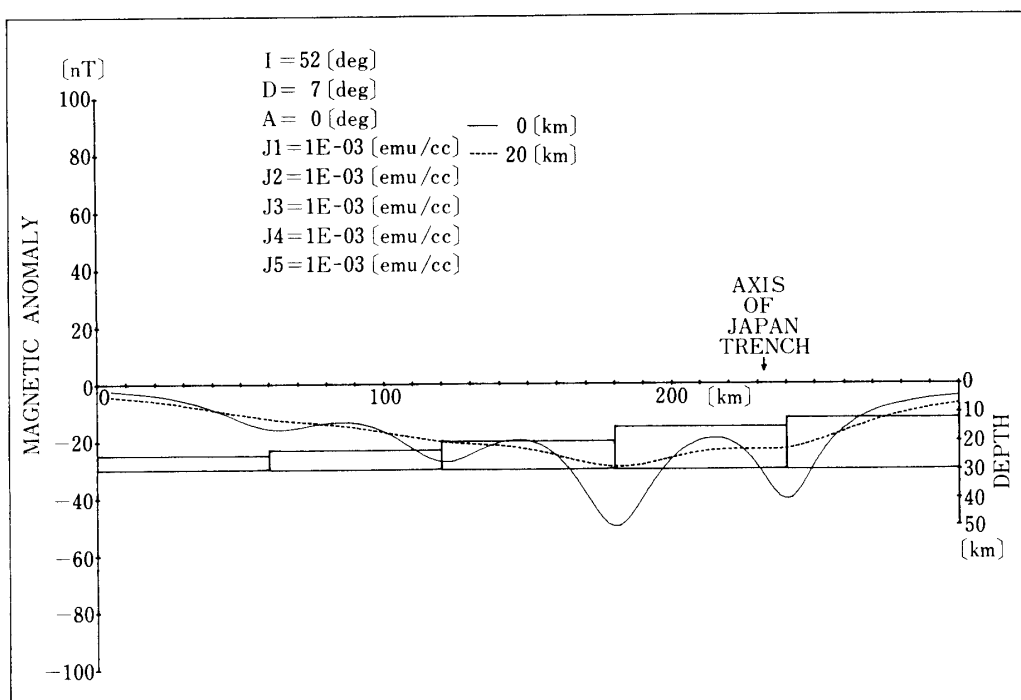
第18図：(139°00'E, 36°30'N) ~ (144°00'E, 38°30'N) の地域の微小地震分布図。

5. まとめ

過去3回実施した太平洋側での大気球による全磁力観測結果および解析結果について記述した。日本海溝東方の縞状磁気異常、海洋プレートの日本海溝附近のもぐり込み状況、日本海溝上縁 (Trench Break) および日本海溝附近での磁性物質の附加状況 (Accretion) ならびに Seismic Front での強い磁気異常などの点が明らかになった。

なお、今回は全磁力磁気異常分布の高度差から地下構造の異常を求めたのであるが、三陸沖は一般に負の磁気異常が卓越している事が第6図~第8図からわかる。解析ではこの負の異常を無視し、異常の振幅だけに注目した。この負の異常の原因については2つ考えられる。第1は、例えば第19図の様に磁気異常を生じさせる磁化の境界が日本海溝から三陸沖にかけて落ち込んでいるなど、地方的な磁氣的地下構造によるものという考え方である。第2は標準磁場として用いた IGRF がこの地帯で適当でないため見掛け上生じたという考え方であり、この判定は今後の課題として残っている。

最後に大気球実験に当っては宇宙科学研究所の西村純教授および西村研究室の皆様に変お世話になり深く感謝致します。また、モデル計算は東北工業大学の荒木、松田両君にして戴いたもので感謝する次第である。



第19図：三陸沖での負の異常を説明する地下構造の例。

参 考 文 献

- [1] 加藤愛雄他 (1976)；東大宇宙航空研報告，12，2 (B)，589-595.
- [2] 山河仁他 (1978)；東大宇宙航空研報告，14，3 (B)，985-989.
- [3] 海底物理；東海大学出版会，123-154.
- [4] 上田誠也他 (1967)；東大震研彙報，45799-814.