

2. 観測の概要

二宮とグアムを結ぶケーブルは全長2700 kmに及ぶ同軸ケーブルである。このケーブルは1963年に敷設され、日本からハワイを経由してアメリカ本土に至る国際通信ケーブルの一部であったが、当初予定された25年間の運用期間が経過したことで、このケーブルに変わる光ファイバーケーブルが次々と敷設されたために、1990年に運用が停止された。その後、このケーブルは地球科学の観測に用いることを目的として地震研究所とIRISに委譲されている。

二宮とグアムの間を結ぶケーブルは、約3 cmの直径を持つ同軸ケーブルである。このケーブルは1 MHzまでの高周波信号を送送するためのものであり、伝送の途中で信号が減衰するのを増幅するための中継器が37 kmおきに総計で75個挟み込まれている。各中継器はグアムから二宮と二宮からグアムへ向かう双方向の信号を増幅し、全体での増幅率は9000 dbに及んでいる。この中継器に増幅のための電源を供給するために、同軸ケーブルの中心導体にはグアム側ではおよそ4000 Vの電圧がかけられ、二宮側では接地されている。この直流電圧の各中継器での電圧降下を利用して、中継器内部の増幅器が駆動されている。グアム側の電源設備は各中継器に供給する電力量を一定にするために定電流で運用されている。この電流量は370 mAであり、各中継器には45 Vの電圧がかかる。この状態で外部磁場が変動するとグアムと二宮の間の海水層と海底下の地球内部に誘導電流が流れ、これによりグアムと二宮の地面の電位が変化する。この変動によってグアムと二宮の間の同軸ケーブルの中心導体の電位差は変化するが、グアム側の電源はこの電位差変動によってケーブルを流れる電流が変化しないように電圧を自動的に調整する。従って、グアム側で供給電圧を測定していると、磁場変動によって地球内部に誘導されるグアムと二宮の間の電位差が観測できる。しかし、このグアムの定電流回路は我々が必要とする精度で電流を一定に保つとは限らないので、電位差変化の観測には電圧と電流の両方を測定する必要がある。図2にはグアム側の電源供給回路を示す。この電源からの出力は高周波の信号とミックスされてケーブルの中心

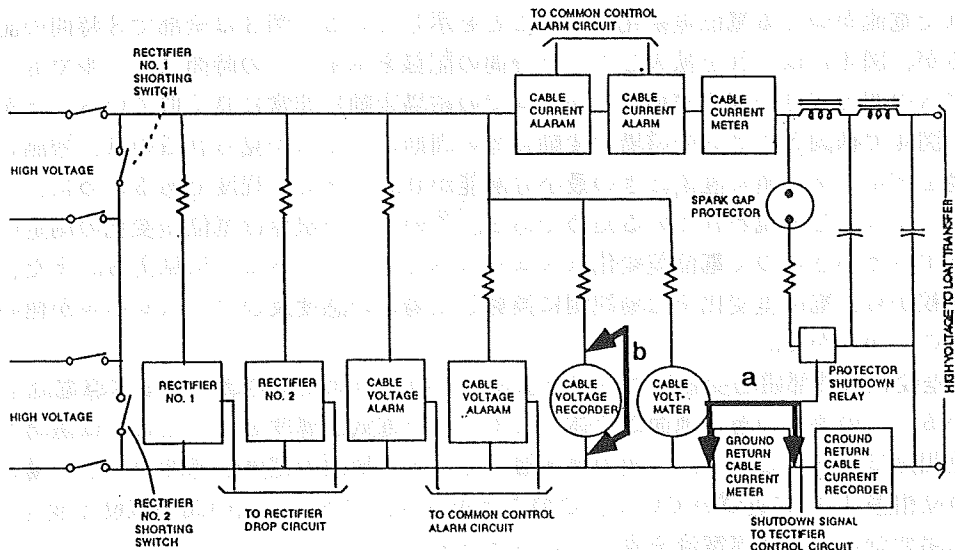


図2 海底ケーブルの電源供給装置を示す。図のA及びBの場所で電圧と電流の測定を行っている。

導体に供給されている。グアムでの測定では図2でA及びBと示された場所で電流と電圧を測定している。これらの場所はケーブルが通信ケーブルとして運用されていたときに、ケーブルが正常に動作していることをモニターする目的で、電流と電圧を測定するためのレコーダーが繋がれていた場所であるので、とくに回路を変更しないで今回の測定が可能であった。それぞれの場所での抵抗の両端での電圧を測定することによって電流と電圧がわかる。しかし、これらの抵抗が断線すると4000Vの高圧がかかる危険があるために、測定装置はパネルの内部に組み込まれるようにした。実際の測定装置は要するにデジタル電圧計であるが、測定精度をできるだけ良くするために、6桁半の精度をもつデジタル電圧計を用いている。装置の安全性の為に、この電圧計に供給する電源は変圧器によって外部とは絶縁されている。また電圧信号は、光ファイバーケーブルによって外部にとりだされる。この信号は計算機によって入力、処理され光磁気ディスクに記録される。

3. 電源オフでの観測

この海底ケーブルには1991年12月18日に電源供給が始められた。これに先立って前日に電源が入っていない状態での電圧変動を観測した。これはグアムと二宮の間に直接ケーブルをつないで、2地点の間の電位差を測定したことに対応する。観測は現地時間の12月17日の23時から12月18日の午前7時頃までのおよそ8時間であった。世界標準時では13時から21時に当たる。この結果を図3に示す。グアムと二宮の電位差はおよそ4V程度の振幅で変動していることがわかる。また、電位差の平均値はほぼ0Vに近い。この変動の原因を調べるために、日本の柿岡とグアムで測定された磁場の東西成分の毎秒値を一緒に示してある。グアムと二宮は図1から明らかのようにほぼ南北に並んでいる。図3を見ると磁場の東西成分と電場の南北成分が非常によく似通った変化をすることがわかる。特に柿岡の変動によくあらわれている。この結果は、グアムと柿岡の電位差変化が主に外部磁場の変動による電磁誘導によって地球内部に誘導された電流がつくる電位差変化であることを示している。図3は全部で8時間の記録であるが、図4にはこれを拡大した10分間の記録を示す。この時間スケールでも二宮とグアムの間の電位差変化が柿岡とグアムでの磁場変動に非常に良く似ていることが分かる。図4で柿岡とグアムの磁場の変動に短い周期のノイズが見られるのは、観測された磁場をデジタル値に直すときの最小分解能が0.07nT程度であるために、その飛びがノイズとして現われているためである。このような限界は電位差変化の測定の場合にはずっと小さいので電位差変化はスムーズへんかしているように見える。また、図4の比較から、電位差変化を磁場観測に換算した場合の感度及びノイズレベルが極めて小さいことが分かる。

電位差変化は外部磁場変動によって海水及びその下の地面に誘導される誘導電流を表している。この海水の層と地面が全体として一様な電気伝導度を持つ場合には磁場と電場の位相差は45・となる。上面の海水層にくらべて地面の電気伝導度が小さい場合にはこの位相差は0・に近づいていく。このことからグアムと二宮の間の電位差変化は、外部磁場変動による誘導電流を表していると考えてよい。

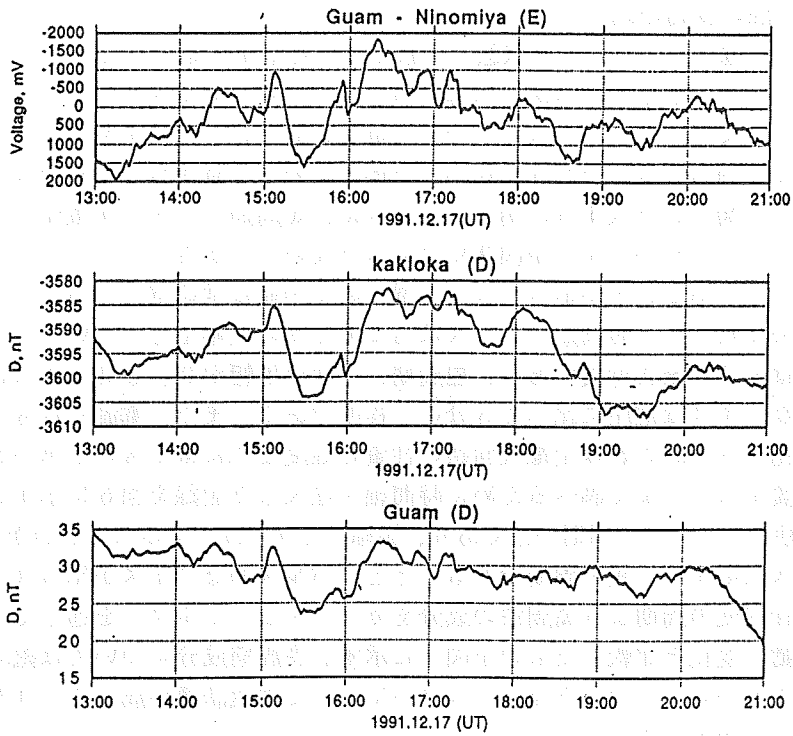


図3 1991年12月17日13時から21時までの電磁場変動。上) グアムと二宮の電位差変化、中) 柿岡における磁場の東西成分の変動、下) グアムにおける磁場の東西成分の変動

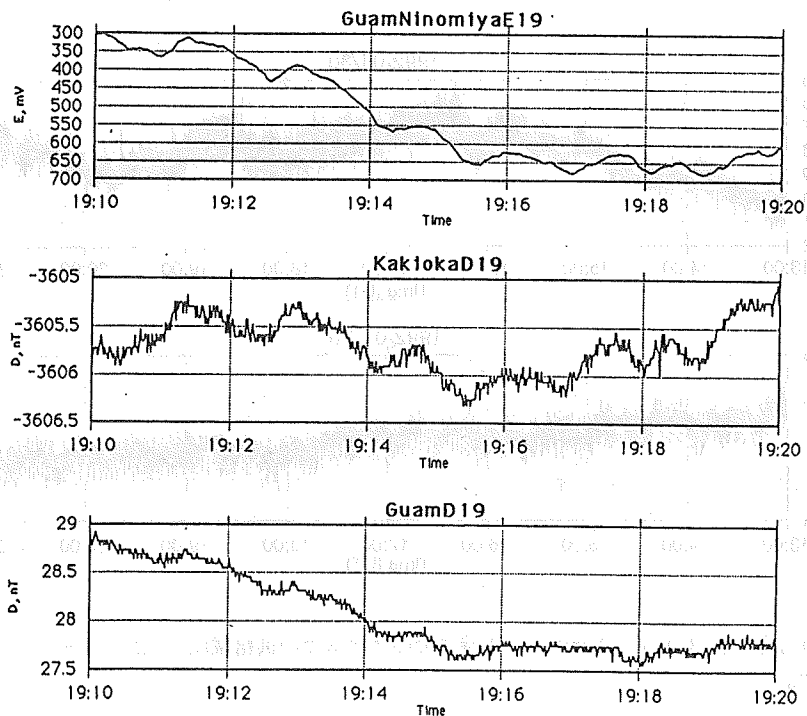


図4 1991年12月17日19時10分から19時20分の電磁場変動記録

4. 供給電源の変動の観測

ケーブルに電源が供給された状態での観測は1月末から始まっている。まだ装置がそろっていないので長期的な観測では毎分値をフロッピーディスクに記録している。この測定に先立って電源が入れられた状態での毎秒観測を行った結果を図5に示す。図には電圧と電流の両方の変化を図3に対応した標準時の13時から21時の8時間の記録を示してある。図3と比較すれば明かなように、短周期のノイズが電圧にも電流にも現われている。これらのノイズが図3には見られないことから、すべてのノイズが電源に起因するものであることが推定される。電圧の平均値は供給電圧であるおよそ4000Vであるのに対して、短周期のノイズはおよそ1Vの振幅をもっている。一方、電流値の平均値は360mA付近であり、短周期ノイズは振幅が0.02mAの程度であって、相対的なノイズは電圧に比べて5分の1程度である。また、電流にはもっと長い周期の変動が見られる。これは定電流回路の性質と温度変化に寄るものと思われる。このノイズの性質をもっとよく調べるために時間軸を拡大した記録を図6に示す。電圧のノイズは10秒から20秒の周期の波であり、振幅は1V程度であることがわかる。一方、電流のノイズは申すこし短い周期であることと、パルス的なノイズが見られる。この記録を100秒程度の周期より高周波の成分をカットするフィルターを通した結果をグアムの磁場変動の変化と比較したものを図7に示す。長周期成分については磁場と電場の対応が良いことから、このようなフィルターによって電磁誘導の成分をとりだすことが可能であることがわかる。

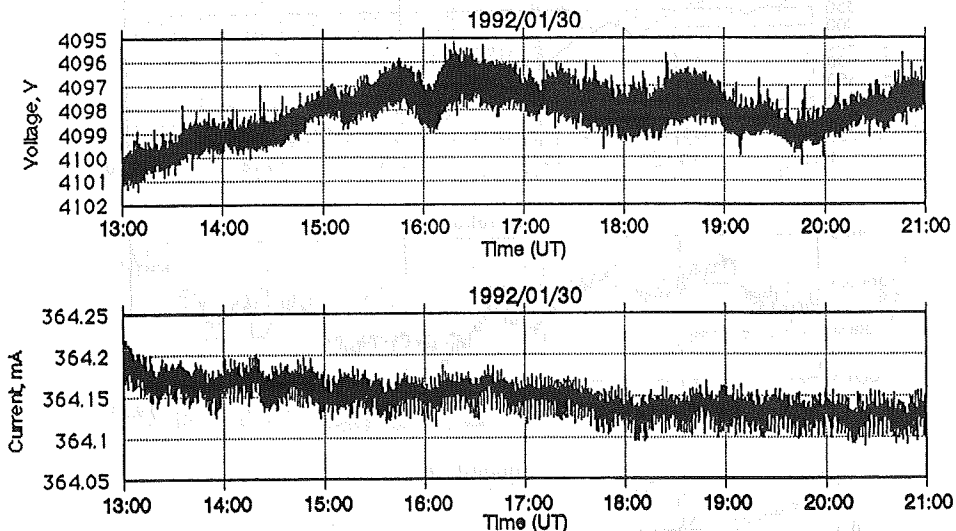


図5 1992年1月30日13時から21時までのグアムでの供給電圧(上)とケーブルを流れる電流の変動を示す。

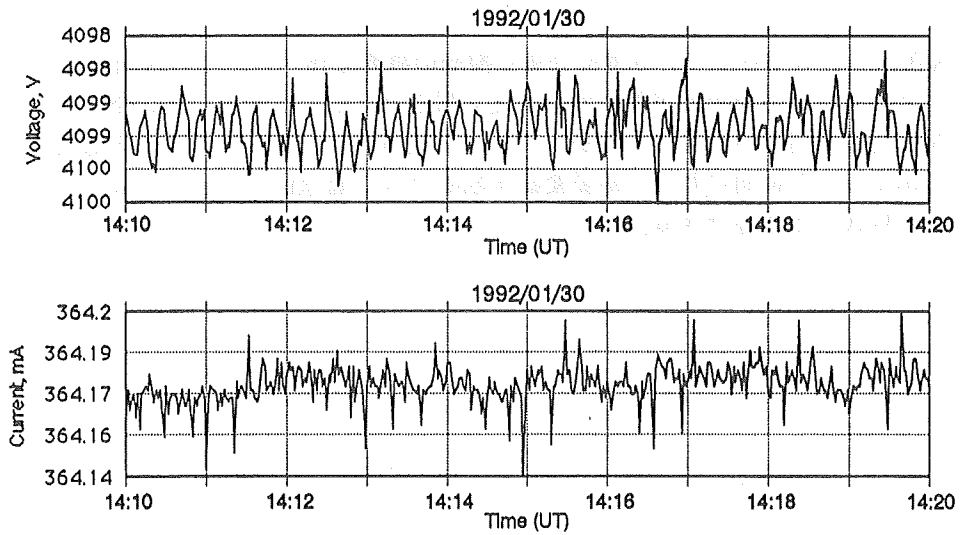


図6 1992年1月30日14時10分から14時20分の電圧と電流の変動

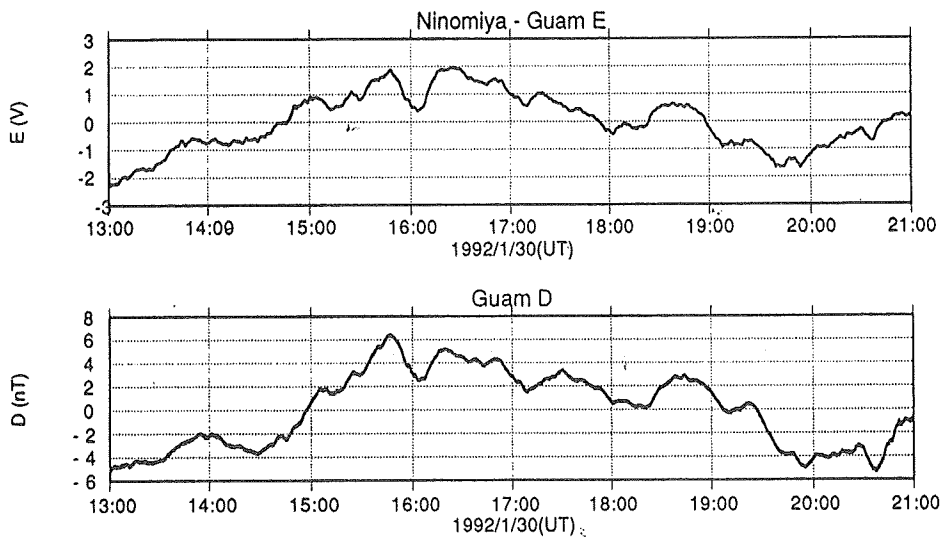


図7 フィルターによってノイズをカットした電圧変動(上)とグアムにおける磁場の東西成分の変動記録。期間は1992年1月30日13時から21時。

5. おわりに

現在、グアムで行っている電位差変化観測の概要を述べた。この観測によってグアムと二宮の間の電磁場変動が極めて精度良く測定できることを示した。今回示したのは8時間程度の短期間の記録であるが、長期的な観測結果が得られれば、2地点の間の海流の変化やもっと長期にわたる磁場変動が観測でき、地球化学の目的にももっと有用な結果が得られると期待できる。



図1: 電位差変化観測の記録 (08/12 - 08/21)

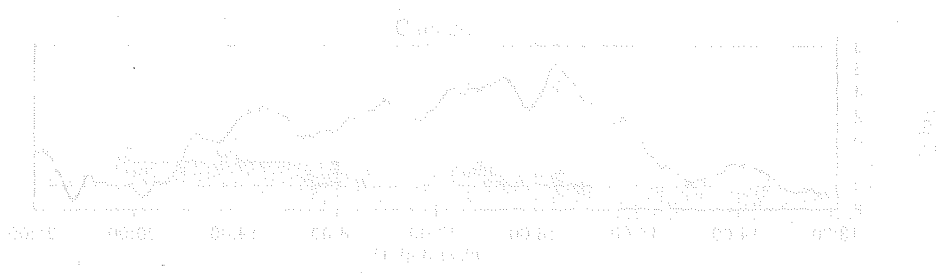


図2: 電位差変化観測の記録 (08/12 - 08/21)