

アナタハン島での長期オフライン地震観測 —一回収編—

渡邊篤志*†・森田裕一**

Long Term Off-line Seismic Observation in Anatahan Island, Northern Mariana —System Retrieving—

Atsushi WATANABE* and Yuichi MORITA**

はじめに

我々は、北マリアナ諸島に属す無人の火山島であるアナタハン島において5観測点からなる長期地震観測を実施した(図1, 図2). 機材の選定や設置作業については既に渡邊・森田(2008)あるいは渡邊ほか(2009)で報告したところである. その後2009年1月20日(UTC. 以降, 日時は全てUTCで表わす)にデータ回収を行い, 2009年7月3日に機材を回収して約1年間に亘る観測を終了した. ここでは, 設置後から回収までの動作状況について報告する.

観測機器の状況

観測期間中は台風の直撃を受けることや大きな噴火もなく, 装置が物理的に大きな被害を受けることはなかった. 台風被害がなかったことは幸いであるが, 地震・火山活動が低調であったことは誠に残念であった. データ回収時にANNEで機材を入れた箱が通気孔の口まで砂に埋まっていた(図3)ことと, かつて集落があったANNWでは機材回収時に機材を収納した箱の中がゴキブリの巣になっていたこと以外に, 観測機器の異状は全く認められなかった. 通気孔の口まで砂の埋もれたANNEでも, 蓋の隙間から大気が流通しており途中で装置が低電圧のために一時停止することはなかった.

データ収録率

1月に行った保守作業を除き, 観測開始から電池切れに

2009年10月13日受付, 2009年10月19日受理

† atsushi@eri.u-tokyo.ac.jp

* 東京大学地震研究所総合観測室,

** 東京大学地震研究所地震火山噴火予知研究推進センター.

* Technical Supporting Section for Observational Research, Earthquake Research Institute, the University of Tokyo,

** Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions, Earthquake Research Institute, the University of Tokyo.

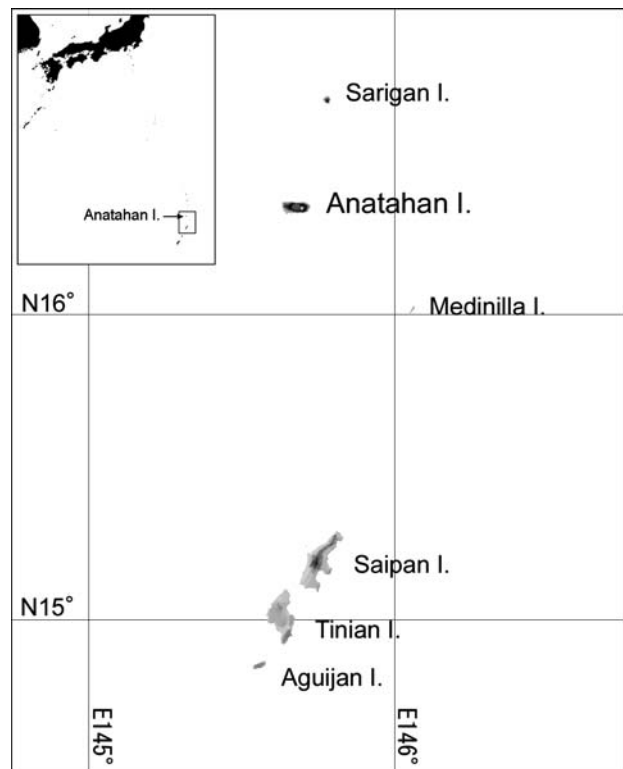


図1. アナタハン島とその周辺の島々の位置
(渡邊・森田, 2008).

よると思われる装置停止までの間の地震波形データの欠測は, AFOKにおいて9月2日6時1分からの4分弱の間だけであった. これは, 後述するようにファームウェアの仕様によりA/Dコンバータが再起動したものである. 図4に各観測点でのデータ収録状況を示す. 装置停止までのデータ収録率は99.99986%(2,164,642/2,164,645 files)で, 連続データ取得の目的をほとんど達成することができた.



図 2. アナタハン島内に設置した観測点分布図 (渡邊・森田, 2008).



a



b

図 3. 観測点近景 (ANNE). (a) 設置時. (b) データ回収時.

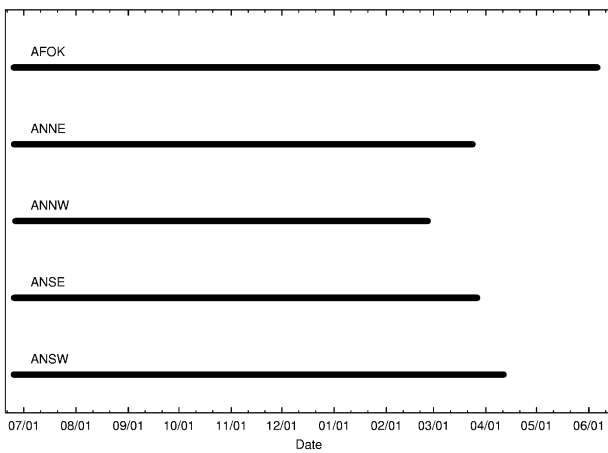


図 4. データの収録状況.

動作ログ

使用した HKS-9500 は、地震波形データの他に各種動作状況をログファイルに書き出す。書き出すタイミングは起動時、時刻較正時、CF カードにデータを書き込む時の 3 つである。起動時に記録される情報は、A/D コンバータの設定 (基本サンプリング周波数、プリアンプゲイン、フィルターの種類)、CF カード全容量、CF カード空き容量、機種名、ファームウェアバージョン等である。また、時刻較正時に記録される情報は、GPS モジュールのステータス、単独測位結果とジオイド高、測位完了時の位置精度劣化度 (PDOP, HDOP, VDOP)、毎秒の内部時計誤差、6 秒おきのバッテリー電圧と内部温度である。さらに、CF カードにデータを書き込む時に記録される情報は、書き込む 1 分

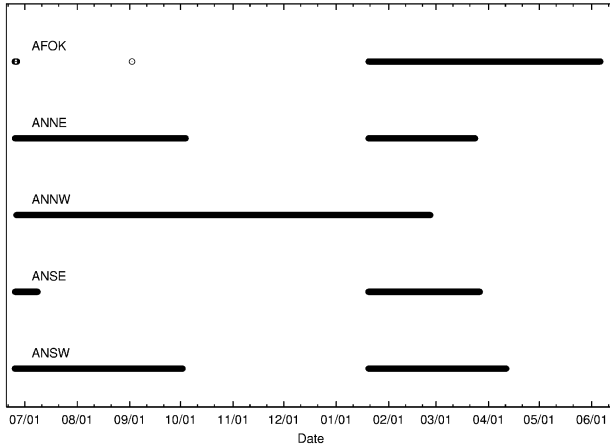


図 5. 動作ログの収録状況.

データ毎のリングバッファ上のアドレスとデータの先頭時刻, 6秒おきのバッテリー電圧と内部温度である. CF カードへのデータ書き込みは定期的ではなく, ある程度リングバッファにデータが蓄積されると書き込みを開始する. データ量にもよるが, その間隔は 100 Hz サンプリング 24 bit A/D で概ね 20 分間である.

前節で述べたように地震波形データの収録率がほぼ 100% であったのに対し, 2009 年 1 月 20 日のデータ回収時に動作状況のログファイルを最後まで記録しているロガーは 1 台のみであり, 他の 4 台はログファイルの書き込みエラーを起こしていた. 1 月 20 日以後は全てのロガーで最後までログファイルを記録している. 図 5 にログファイルの収録状況を示す. 次節で述べるコネクタの入れ替え以外は何も変更点はなかったため, 何故観測期間前半の途中からログファイルの記録に失敗したのか今のところ不明であり, メーカーでログの検証作業が進行中である.

次節から, ログファイルに残された大量の情報の中から電源電圧, 内部温度, 内部時刻誤差を取り上げて見ていく.

電 源 電 圧

図 6 は各観測点のバッテリー電圧の変化をプロットしたものである. 消費電力が約 660 mW の装置に対し, 動作電圧 10.4 V, 容量 350 Ah の空気アルカリ電池を 2 台並列にして電源としたので, 計算上は一年以上電力を供給できるはずであった. しかし, メモリカードに記録されたデータは 272.3 日分から 346.2 日分で, 平均して 299.1 日分であった. 事前の消費電力測定は比較的静かな地震研究所内で行ったのに対し, 実際の設置場所は太平洋の荒波が打ち寄せる海岸の崖上やカルデラ縁であったので, 設置翌日は快晴で波も荒くなかったにも関わらずノイズレベルが $1.5 \sim 9.6 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ と所内よりも 1 桁高かった. これに加えて, ノイズレベルが高い観測点ではデータ収録期間が短い傾向にあるので, 雑微動により LE-3Dlite の消費電力が幾分増

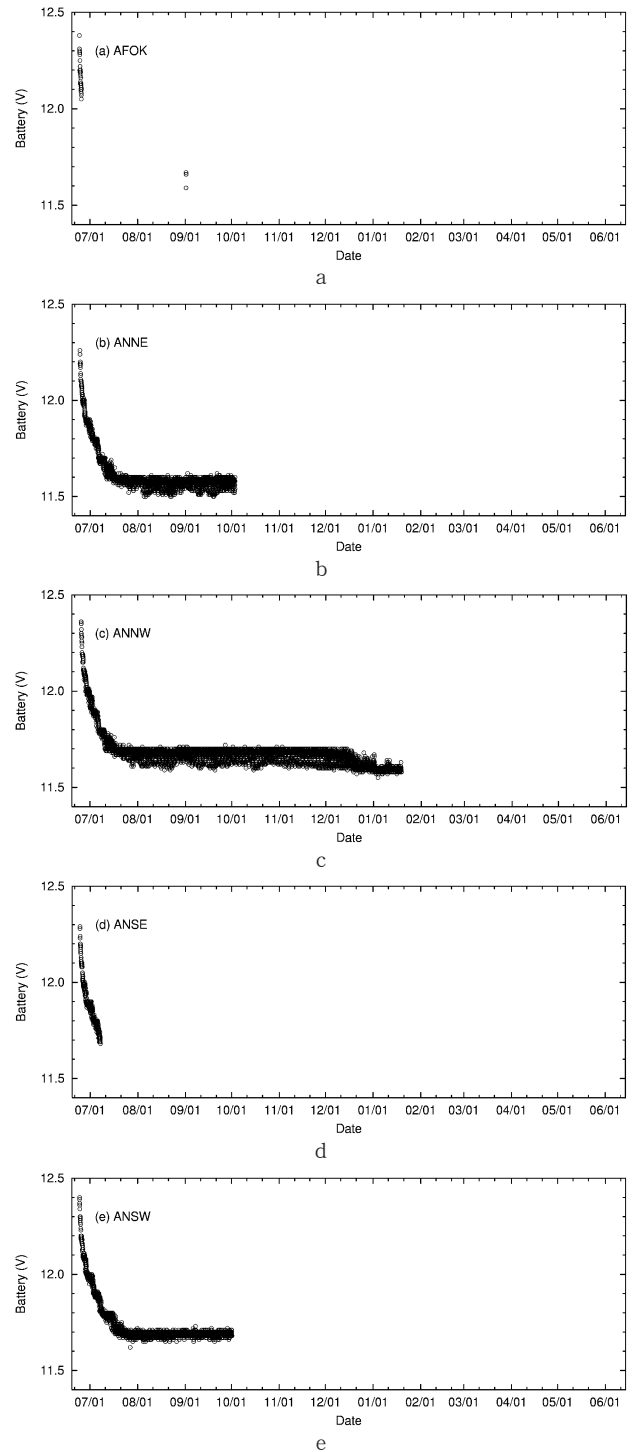


図 6. (a)~(e) 各観測点での観測期間全体の 1 時間平均した電源電圧 ((a) AFOK, (b) ANNE, (c) ANNW, (d) ANSE, (e) ANSW).

えていると思われる. また, この電池は電解液に水酸化カリウム水溶液を使用しているため, 大気中の酸素と共に二酸化硫黄等の酸性の火山ガスを取り込んで電解液が中和してしまい, 発電能力が低下したのかもしれない.

ここで, 非常に残念なことに 2009 年 1 月 20 日にデータ

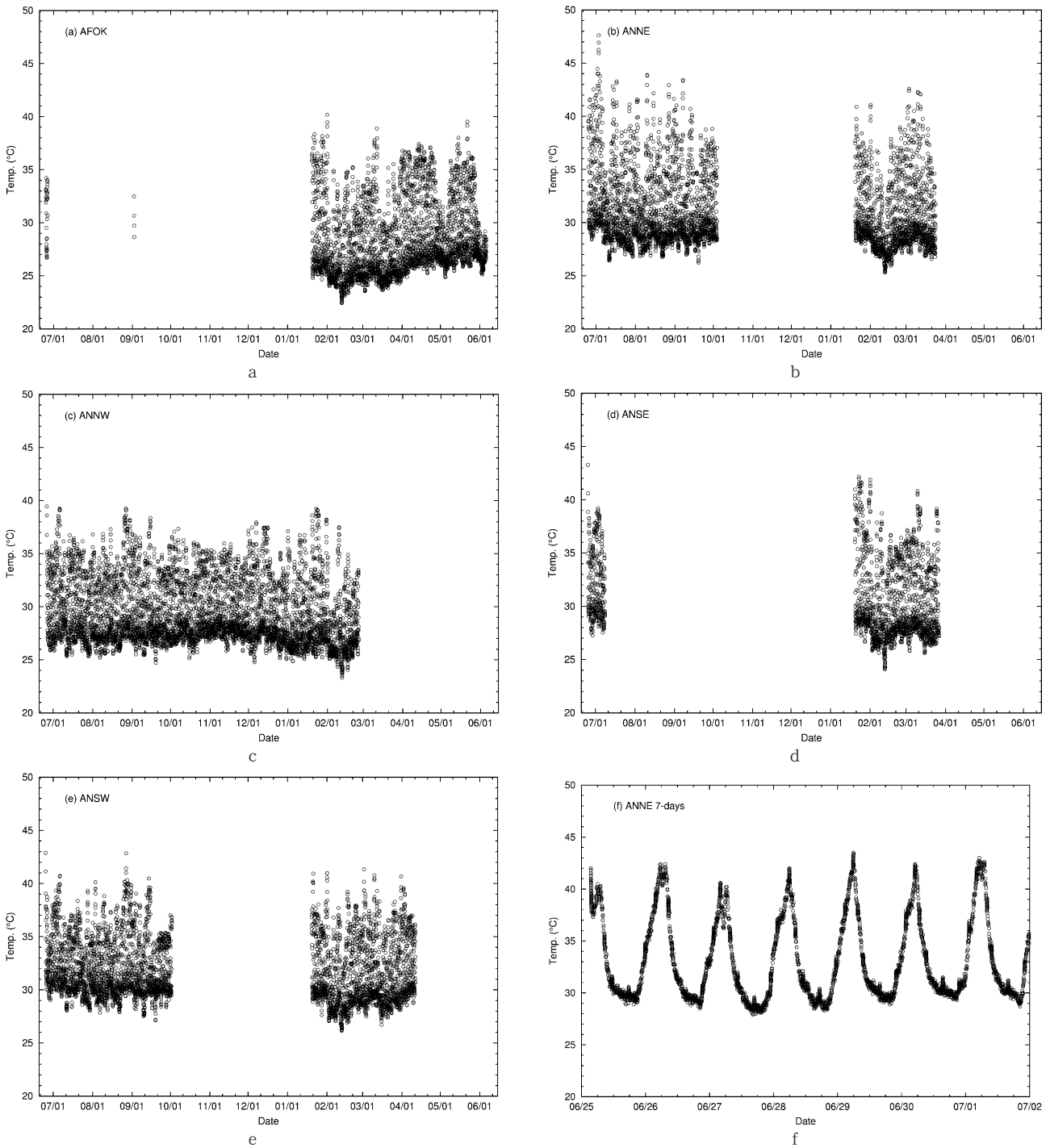


図 7. (a)~(e) 各観測点での観測期間全体の 1 時間平均した筐体内部温度 ((a) AFOK, (b) ANNE, (c) ANNW, (d) ANSE, (e) ANSW). (f) ANNE での設置から 7 日間の筐体内部温度.

回収した際にロガー筐体内部にて AC アダプタからの電源線とバッテリーからの電源線のコネクタを入れ替えたため、それ以降はバッテリー電圧の記録が残っていない。HKS-9500 の前面パネルには AC アダプタとバッテリーの電源コネクタがあり、バッテリー電源コネクタ側の供給電圧を監視し、動作ログに書き込んでいる。また、設定値を下回ると停止する

機能を備えているが、電圧が回復しても再起動はしない。一方、AC アダプタコネクタ側は電圧の監視や記録を行っていない。今回は一次電池を使用しているため電池を過放電から守る必要が無いので、酸欠等で一時的に発電能力が低下した場合を考慮して電源線のコネクタを入れ替えた。従って、2009 年 1 月 20 日以降はバッテリー電圧データが記録

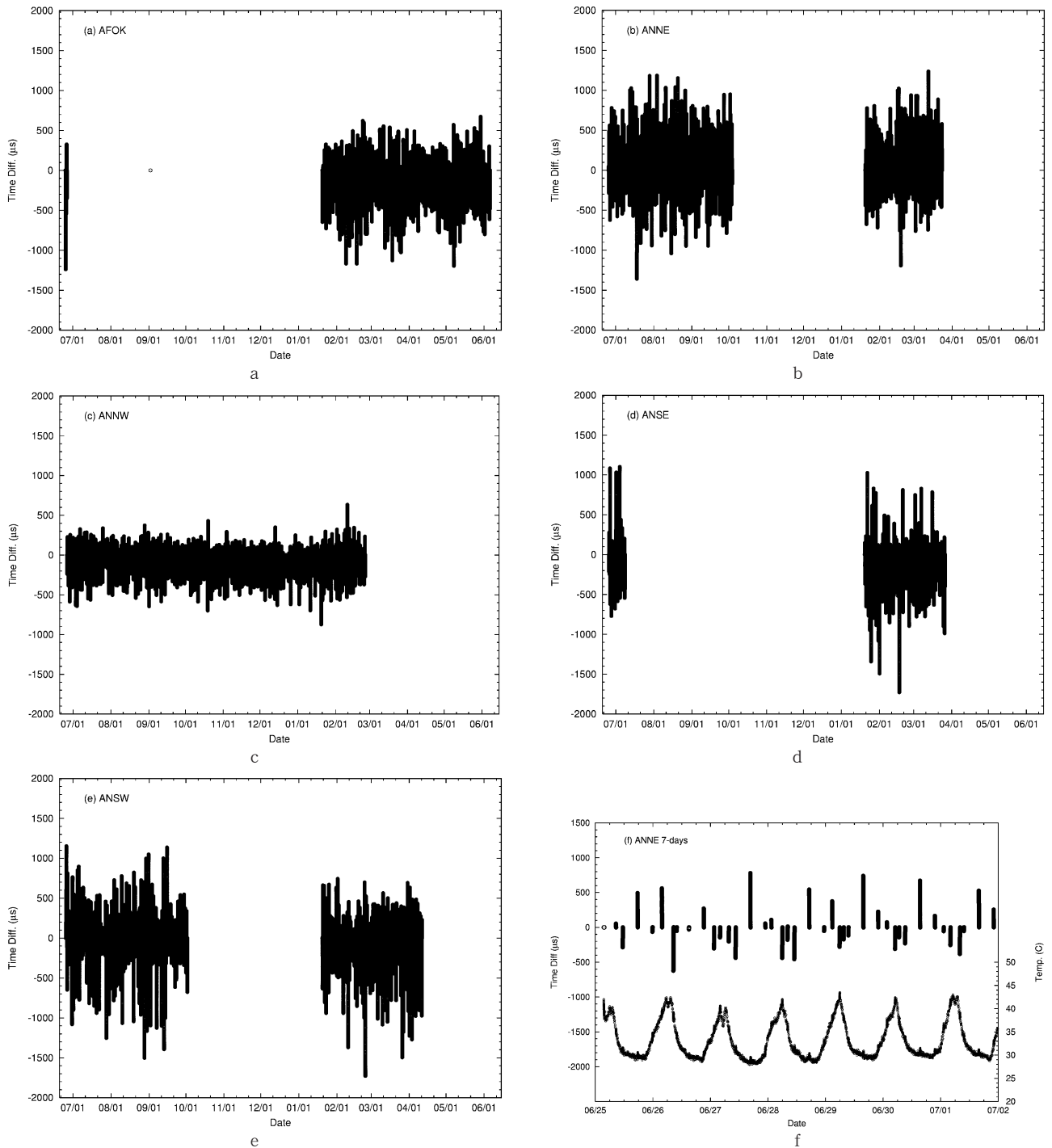


図 8. (a)~(e) 各観測点での観測期間全体の内部時計誤差 ((a) AFOK, (b) ANNE, (c) ANNW, (d) ANSE, (e) ANSW). (f) ANNE での設置から 7 日間の内部時計誤差 (上段) と内部温度 (下段).

されていないが、使用開始直後の急激な電圧降下が収まった後の電圧はほぼ一定で、約半年間順調に発電している。

内部温度

アナタハン島は北回帰線より赤道側に位置し、年間を通して日差しが強い。また、日中の日差しを遮る物がないの

で昼夜の気温差が大きい。図 7f は ANNE における設置後 1 週間までの内部温度の生データをプロットしたものである。内部温度が日の出と共に上がり始め、日が高い時間帯を過ぎると下がり始めるという日照による 1 日の温度変化が見て取れる。

直射日光で機器を取めている箱内の温度が上昇してロ

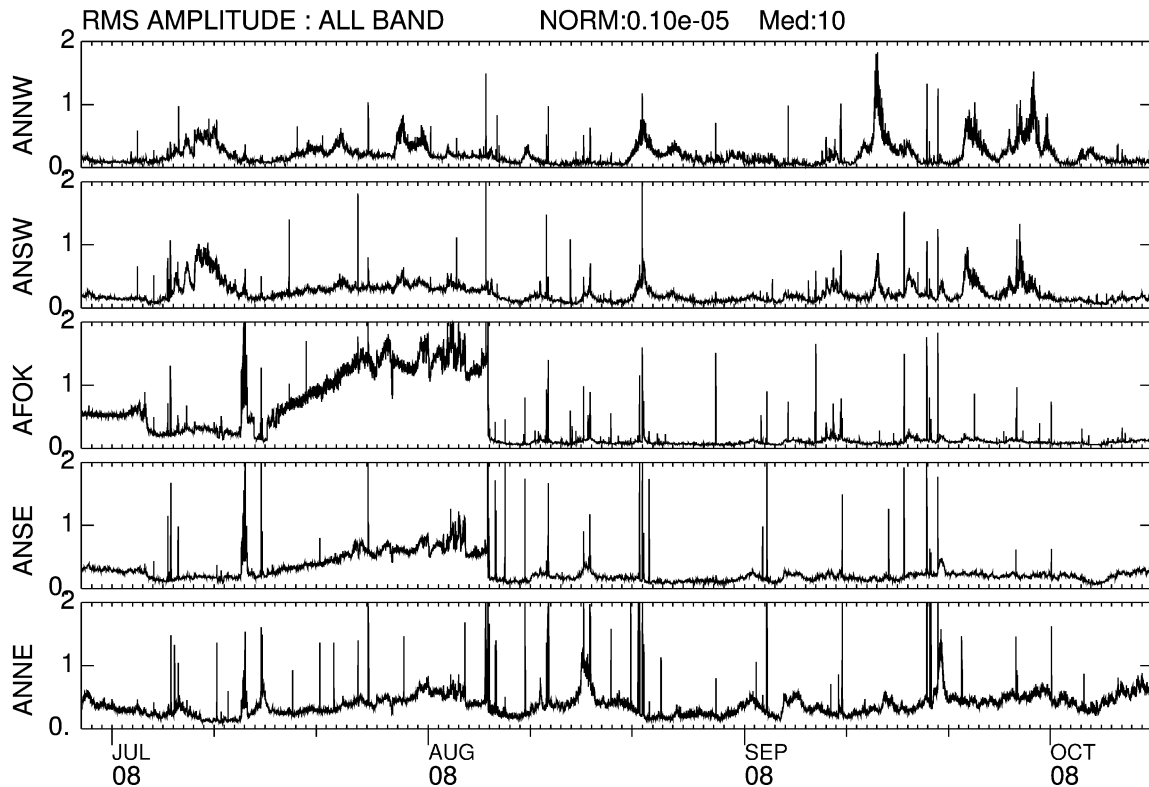


図 9. 2008年6月20日から8月31日までの各観測点における上下動成分のRMS振幅変化(森田ほか, 2009). AFOK, ANSE, ANNEで7月14日頃から8月5日まで徐々に微動の振幅が大きくなり, 突然収束している.

ガーが熱暴走しないように, 箱の蓋の表と裏にはそれぞれアルミ蒸着シートと発泡スチロール板を貼り太陽光による熱を防ぐ努力をしていた(渡邊・森田, 2008). これが功を奏したのか, 図7a~eに示した1時間平均温度の通りロガーの内部温度は本機使用条件である50°C以下に抑えられている.

時刻精度

GPSによる内部時計の較正は3時間毎に行うよう設定した. 昼夜の気温差が激しいため, 朝夕は時計のずれが大きくなると予想されたが, 図8a~eに示す通り内部時計誤差はほぼ1ms以内に保たれている. 図8fはANNEにおける設置後1週間の内部時計誤差と内部温度を上下にプロットしたものである. 概ね気温が高い時間帯には内部時計が遅れ, 気温が低い時間帯には内部時計が進む傾向にあることが分かる.

データ収録率の節でAFOKにて2008年9月2日6時1分にA/Dコンバータが再起動したと述べたが, これはGPSと内部時計が1.8ms以上ずれたためにその誤差を解消するためのファームウェアの仕様である. しかし, 100Hzサンプリングで1.8msまでの時刻ずれしか許さないのは, 許容範囲が狭すぎる感がある.

まとめ

アナタハン島における長期オフライン地震観測は, 予想より電池の消耗が早かった事を除き, 当初の目的を無事に達成することができた. 観測期間中の火山活動は低調であったが, 20日間も継続する特異な連続微動(図9)が観測されるなど興味深いデータが得られている(森田ほか, 2009).

陸上における長期オフライン観測用収録器にはDAT型レコーダー(篠原ほか, 1997)等があるが, 電池や記録媒体の容量の制約から, 低予算かつ少人数で簡単に運搬・設置できて1年もの間保守作業無しで運用することは困難であった. 離島等でアクセスが困難な地域や火山山頂域のように人力で機材運搬をしなければならない領域, あるいは積雪等で冬期のアクセスが不能である地域において長期間に亘り連続データを取得する場合には, 今回のシステムが1つのモデルケースになるであろう.

謝辞: この報告を執筆するにあたり, 査読者の酒井慎一准教授と飯高隆准教授には本稿を改善する上で有益なご指摘を頂きました. ここに記して感謝致します.

文献

森田裕一・渡邊篤志・中田節也・前野深・松島健・田部井隆

- 雄・J.T. Camacho, 2009, アナタハン火山で観測された地震活動, 火山性微動, 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, V159-004.
- 篠原雅尚・平田 直・松田滋夫, 1997, DAT を用いた GPS 時計付き低消費電力大容量デジタルレコーダ, 地震 2, 50, 119-124.
- 渡邊篤志・森田裕一, 2008, アナタハン島での長期オフライン地震観測点の設置, 震研技報, 14, 53-57.
- 渡邊篤志・森田裕一・松島 健・田部井隆雄・中田節也・前野深, 2009, 北マリアナ諸島アナタハン火山での地震観測, 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, V159-003.