

ニュージーランド南島北部における地震観測

Seismic Observation in the Northern Part of the South Island in New Zealand

三浦勉・飯尾能久・Richard H. SIBSON⁽¹⁾・岡田知己⁽²⁾・松本聡⁽³⁾・Jarg PETTINGA⁽⁴⁾
Stephen BANISTER⁽⁵⁾・平原聡⁽²⁾・中山貴史⁽²⁾・中元真美⁽³⁾・山田真澄・大見士朗
米田格・濱田勇輝・高田陽一郎・深畑幸俊・小菅正裕⁽⁶⁾・John TOWNEND⁽⁷⁾
Martin REYNERS⁽⁵⁾・Francesca C. GHISSETTI⁽⁴⁾

Tsutomu MIURA, Yoshihisa IIO, Richard H. SIBSON⁽¹⁾, Tomomi OKADA⁽²⁾, Satoshi MATSUMOTO⁽³⁾
Jarg PETTINGA⁽⁴⁾, Stephen BANISTER⁽⁵⁾, Satoshi HIRAHARA⁽²⁾, Takashi NAKAYAMA⁽²⁾
Manami NAKAMOTO⁽³⁾, Masumi YAMADA, Shiro OHMI, Itaru YONEDA, Yuki HAMADA
Yoichiro TAKADA, Yukitoshi HUKAHATA, Masahiro KOSUGA⁽⁶⁾, John TOWNEND⁽⁷⁾
Martin REYNERS⁽⁵⁾ and Francesca C. GHISSETTI⁽⁴⁾

(1)ニュージーランド, オタゴ大学

(2)東北大学

(3)九州大学

(4)ニュージーランド, カンタベリー大学

(5)ニュージーランド, GNS SCIENCE

(6)弘前大学

(7)ニュージーランド, ビクトリア大学

(1) University of Otago, NZ

(2) Tohoku University

(3) Kyusyu University

(4) University of Canterbury, NZ

(5) GNS SCIENCE, NZ

(6) Hirosaki University

(7) Victoria University of Wellington, NZ

Synopsis

We observe the seismic activity in the northern part of the South Island in New Zealand since Nov. 2009. New Zealand is located at the border between the Pacific plate and the Australian plate and the Alpine Fault runs along the boundary from southwest to northeast in the South Island. A lot of earthquakes occurred there, e.g., 1929 Murchison (M7.7), and 1968 Inanghua (M7.2). We observed aftershocks of the 2011 Christchurch earthquake for 2 years since Mar. 2011. Now, We expand the observation network with about 40 seismometers in northern part of the South Island.

キーワード: 地震観測, 余震観測, 海外での観測, 満点システム

Keywords: Seismic observation, Aftershocks observation, Overseas observation, Manten System

1. はじめに

本研究は、ニュージーランド南島北部の地震活動を調査・研究するために2009年11月にマーチソン周辺に2カ所の観測点を設置することから始められた。調査・研究の目的は、沈み込む海洋プレートから脱水した水が上昇して地殻に達し、下部地殻を局所的にやわらかくすることにより形成されると考えられている不均質領域の実態を明らかにして、内陸地震の発生過程のモデルを確立することである。ニュージーランドは、太平洋プレートとオーストラリアプレートの境界に位置し、日本と同じように地震活動が活発な場所である。日本では、東北地方において、太平洋プレートの沈み込みに伴う深い地震を活用できるが、火山がある為か得られた構造が複雑で解釈は簡単ではなく、西南日本では深い地震があまり起こっておらず十分な結果が得られていない。ニュージーランド南島は、活火山がなく、地質構造も比較的単純であり、固い基盤岩が広く露出しているために人工的なノイズも極めて小さく、上述の目的を達成させるためには非常に良い場所である。

また南島内、南西から北東にかけて2つのプレートの境界にアルパイン断層(Fig. 1)が走っており、北東部ではいくつかに分岐している。

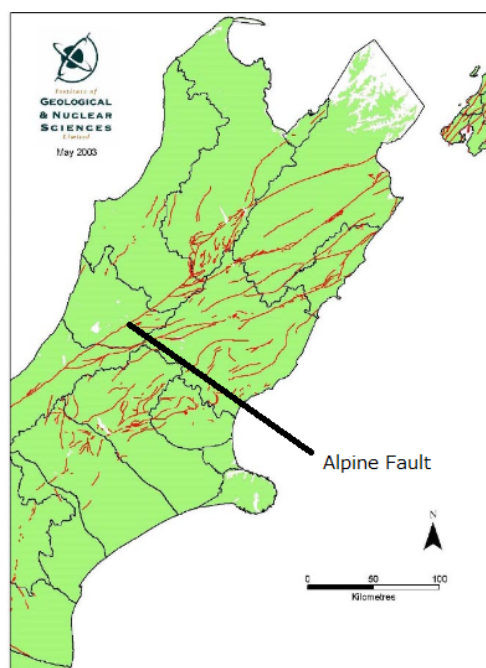


Fig. 1 Active Fault map in the Northern part of the South Island in New Zealand (From NZ GEOLOGICAL NUCLEAR & SCIENCE)

ここ100年の間にアルパイン断層の西側で、1929年マーチソン地震(M7.7)、1968年イナングア地震

(M7.2)等が起こっている(Fig. 2)。また、2010年9月にダーフィールド地震、2011年2月、6月には、クライストチャーチ地震が起こっている。この研究では、その余震活動の観測も行った。余震観測は、クライストチャーチ周辺に地震計を29カ所設置し、北部の地震活動の観測には、余震観測後に50カ所になるように地震計を設置している。

2013年に起こったクック海峡での地震では、Victoria University of Wellington (以下、VUW) が観測を行った。我々は、機材の貸与により観測に協力し、そのデータを我々の観測データにマージした。また、この地震を受けて、2013年12月にこの周辺の観測点を増設した。

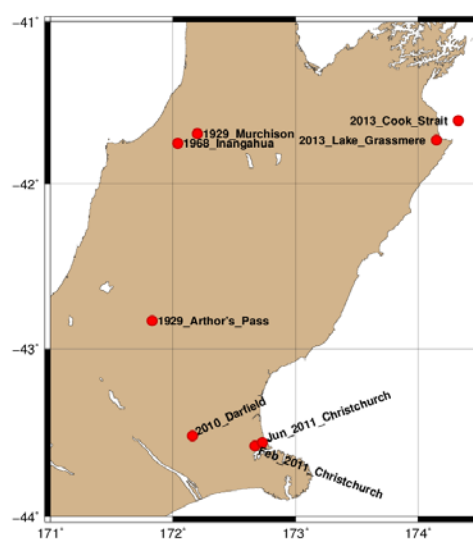


Fig. 2 Epicenters of recent large earthquakes

2. 観測システムと観測

本章では、観測システムと観測アレイの展開について述べる。また、2011年2月に起こったクライストチャーチ地震の余震観測についても述べる。観測においては、カンタベリー大学のポスドク、大学院生や学部生が設置およびメンテナンスに参加した。現地の人が観測に参加することで、土地交渉やメンテナンスにおいてトラブルがある時に非常に助かっている。

2.1 観測システム

観測システムは、京都大学と株式会社近計システムが中心となって開発した「満点システム」を使った。「満点システム」とは、地震データの量と質を飛躍的に上げるために、多点で高精度かつ容易に地震を観測できる安価な次世代型の地震観測システム(地震計: KVS-300(以下、地震計)、記録装置:

EDR-X7000(以下、ロガー) Photo 1)である。バッテリーは、単一乾電池を使った。当初消耗品などは、品質や入手性に問題があると考えられたので、日本からその他機材を含め、飛行機で持ち込むことにした。しかしながら、1回のメンテナンスにつきおよそ1600個の電池を空輸せねばならず、持ち込み時の重量や危険性の件で、トラブルになる可能性があったので、現地でバッテリー販売業者を探した。また、機材のカバーをはじめとした消耗品は、現地にDIYの店が多数あり、そこで調達することが可能であることが分かった。

このシステムの仕様を簡単に述べる。地震計の固有周波数は2Hz、感度は約0.8V/kine以上、サイズは、104×104×104mmの1.5kgである。地震計には、設置固定用のビスが付属しており、岩盤にも設置がしやすい設計となっている。また、防水仕様(IP65相当)なので、観測点によっては埋設設置も行っている。特にカンタベリー平野は、堆積層なので、埋設観測が大半である。ロガーの記憶容量は、コンパクトフラッシュメモリーの4Gbyteを6枚挿入、GPS時計を内蔵し、時刻精度は、1ms以下、電源はDC12V 0.08w(typ.)、サイズは、230(W)×181(D)×68(H)の約1.2kgである。このロガーをRVボックスに収納し、観測点に設置する。



Photo 1 Manten System

サイトによっては、入場禁止期間が8カ月に及ぶ地域もある為、メンテナンスのタイミングは、8カ月と4カ月に分割することで行うことにした。これまでに単一乾電池を直列で8本繋いだものを並列で4セットつなぎ、CFカードを6枚設置して9カ月の観測を維持した実績もあるので、8カ月にわたる長期間の観測も十分可能である。

2.2 マーチソン周辺の地震観測

2009年11月からマーチソン周辺に2点の観測点(Fig. 3)を設営し、観測を行っている。また、並行して観測点アレイを構築するためのサイトサーベイを行ってきた。

この観測とサイトサーベイを2010年3月、10月の3回で行った。その後、クライストチャーチ周辺で地震が起こり、余震観測を行った。この余震観測については、次項で詳細を述べる。この余震観測を行うために、用意していた機材のほとんどを使ったので、マーチソン周辺の地震観測は、2012年3月まで既存2点のみの観測を継続した。2012年3月に、19点の機材を移設あるいは新規導入した。これによりマーチソン周辺の観測点数は21点になった(Fig. 4)。

さらには、クライストチャーチの余震が東側に移動している傾向が見られたので、2013年4月には残っていた機材も東部以外は、マーチソン周辺の観測アレイに移設することを行った。これにより、マーチソン周辺の観測点数は、35点となった(Fig. 5)。

2013年夏にクック海峡付近でMw6.5の地震が起こり、それをVUWが臨時観測を行った。期間は8月下旬から11月上旬にかけてであった。この地震をうけて、我々も南島北東部の観測アレイを構築すべく、2013年12月に2点増設を行った。これにより37点の観測アレイとなった(Fig. 6)。

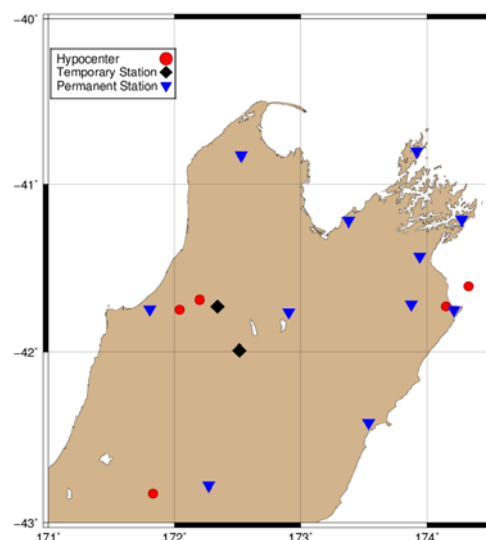


Fig. 3 Locations of seismic stations in 2009 and the recent large earthquakes shown in Fig. 2

これらの観測点の地震計は、それぞれ人口ノイズの少ない露岩のあるサイトに設置している。一部の観測点では、強風で飛ばされる等のトラブルにあったが、これまでデータは良好に記録されている。観測点の1例を Photo 2 に示す。被写体は、現地ヘルパーの Jason-san である。現地のヘルパーが同行してくれることでニュージーランドでの野外観測に関する注意事項を示してくれる。

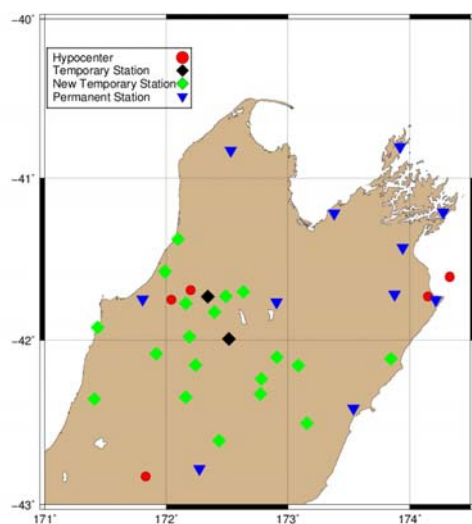


Fig. 4 Stations after 2012/03

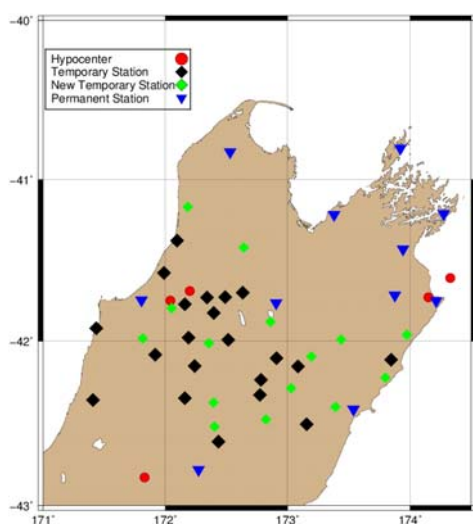


Fig. 5 Stations after 2013/4

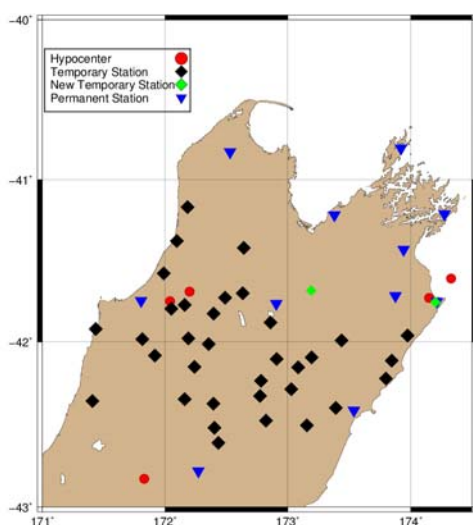


Fig. 6 Stations after 2013/12



Photo 2 Installed seismometer

2.3 余震観測

2010年10月に起こったダーフィールド(クライストチャーチの西方)での地震や2011年2月のクライストチャーチ地震を受けて、同年3月に緊急に余震観測を行うことにした。設置点は29点で設置場所は、Fig. 7に示す。クライストチャーチ周辺は、流砂土が地質的に優位だったので、地震計を埋設して設置した(Photo 3)。バンクス半島でも地震活動が活発であったのでここにも設置を行った。観測点の配置は、ニュージーランドが定常点として設置している箇所に重ならないように行った。このときのニュージーランドは夏時間であり、朝は6時から夜は20時ころまで明るく、設置作業は長い1日のおかげで順調に行うことができた。また、同行したニュージーランドのヘルパーのおかげで、地震観測に難色を示す地主もいなかった。むしろ協力的であったといえる。中には、我々日本人が同行していることで神戸の地震を話題に出す地主もいた。



Photo 3 Station in Canterbury

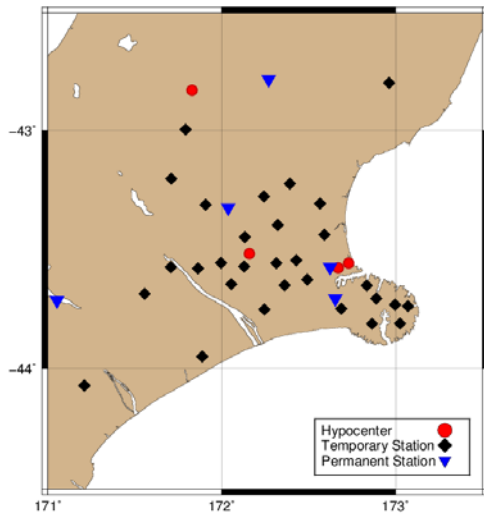


Fig. 7 Stations for the aftershock observation

長期間にわたる観測により、地主が変わってしまい観測の継続が困難になったことや、農繁期の作業中に壊れてしまったとかの事情で観測点は減少した。また、後述するように余震観測域が、全体的に東へシフトしてきており、今でも活発な地震活動を呈している付近以外は、すべてマーチソン周辺の観測へ移設したため、2013年12月以降のクライストチャーチ周辺の観測点アレイは、Fig. 8に示す10点となっている。

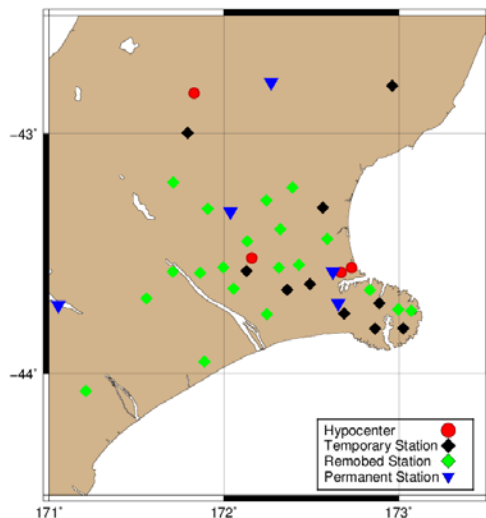


Fig. 8 Moving of seismic stations for the aftershock observation

3. 海外の観測について

いままでに、ニュージーランドへの渡航を11回行った(Table 1)。ニュージーランドのカウンターパートとのやり取りはもちろん英語である。国内での準備は、ほとんどのことはメールでやりとりができる

が、ごく稀に電話による口頭連絡などもありうる。文化の違いや発音の違いによる聞き取り方によっては、何度か意思疎通が困難なことがあった。

Table 1 History of maintenance

No.	Years	Member
1	2009/11	Iio,etc
2	2010/03	Miura,etc
3	2010/10	Iio,etc
4	2011/03	Miura,etc
5	2011/06	Miura,etc
6	2012/02	Miura,etc
7	2012/03	Miura,etc
8	2012/10	Miura,etc
9	2013/04	Miura,etc
10	2013/04	Iio,etc
11	2013/11	Yoneda,etc

資材調達は、非常に困難である。調達コストの削減や期待通りの仕様の資材を調達するためには、ニュージーランドの品質を試すしかない。特に乾電池は、1回あたり1600個も購入するので、品質の良いものを、可能な限りディスカウントして購入する必要がある。上手くディスカウントできてもクレジット払いの為に現地に行き、直接現物引き取りをしなければならないなどの制約を課せられたこともあって、簡単には購入できなかった。最近では、これらすべて現地のヘルパーに任せ、資材は調達できるようになった。しかし、まれに意思疎通が不完全でディスカウントができてなかったということもあった。

最近まで我々とヘルパーの関係は、雇い主と観測のお手伝いであった。しかし、優秀な学生と会うことができて、且つ、クライストチャーチの復興も順調に進んでいるようで今までお手伝いだった現地の業者が、本格的に技術的協力をしてくださることになった。今までの資料やメンテナンス記録をつけたログは、この時のためにすべて英文で作成してきたので、業務の依頼については、それほど労力を払うことはなかった。今後は、より一層の技術面のフォローが必要になってくることが考えられるので、言語の壁は非常に高いが、継続する価値のある研究である。

4. データ処理について

データは、近計システムの独自フォーマットから日本国内でのデファクトスタンダードであるWIN Systemフォーマットに変換し全点のデータ処理を行

っている。また、ニュージーランドは夏時間が設けられており、時間管理が煩雑になるのでUTCを基準時刻とした。このデータとニュージーランドの定常点のデータをマージして解析を行っている。

また、データ処理の為に、日本の観測と同様、点の記の作成、地動モニタ(Fig. 9)やノイズレベルモニタ(Fig. 10)の作成・確認を行いつつ、GPSファイル(GPSと内部時計の時刻ずれ、温度変化とバッテリー電圧の変化が記録されたファイル)のグラフ化(Fig. 11)も行い、関係者に閲覧できるようにweb公開している。点の記とは、観測点のプロフィール情報をまとめた資料で、地主情報、地図情報、設置している計測機器情報や観測点のメンテナンスログを時間順

に記載したものである。この情報を作成することにより、第3者がメンテナンスを行うことが容易になると考えられる。特に地図情報は、ニュージーランドの広大な土地で観測を行う上で非常に有効な資料となっている。また、解析時にデータ不良等があった場合に、状況を把握することが可能となる。地動モニタやノイズレベルは、地震計やロガーの故障診断ツールとして有効である。この画像ファイルを作成・確認し、メンテナンスを行うことで、データのクオリティが上がると考えている。また、これらの情報の一部は現時点でエクセルベースの情報としてまとめているが、機材管理情報などとともにデータベース化を進めている。

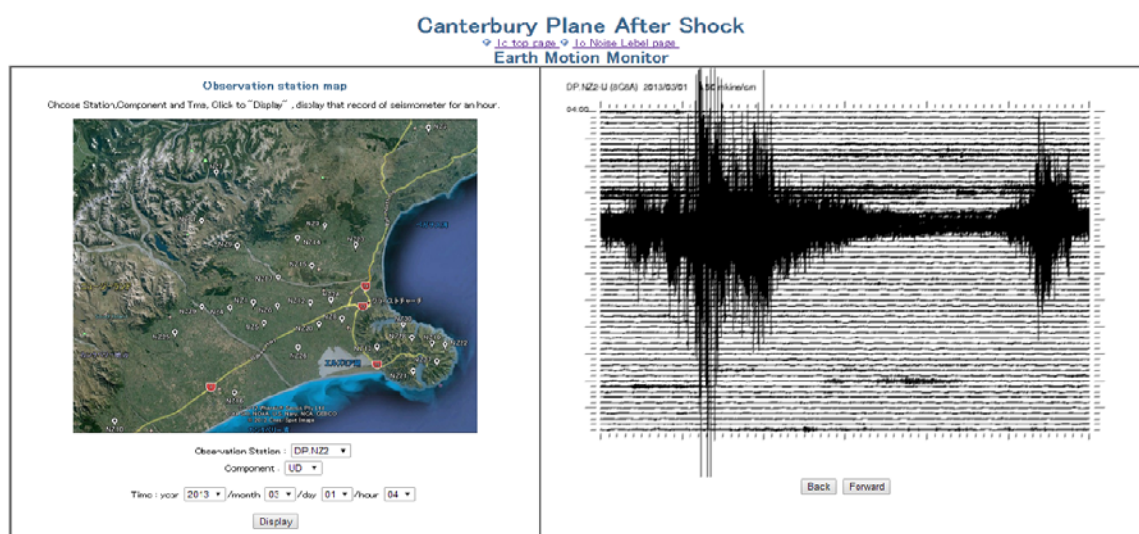


Fig. 9 Ground motion monitor

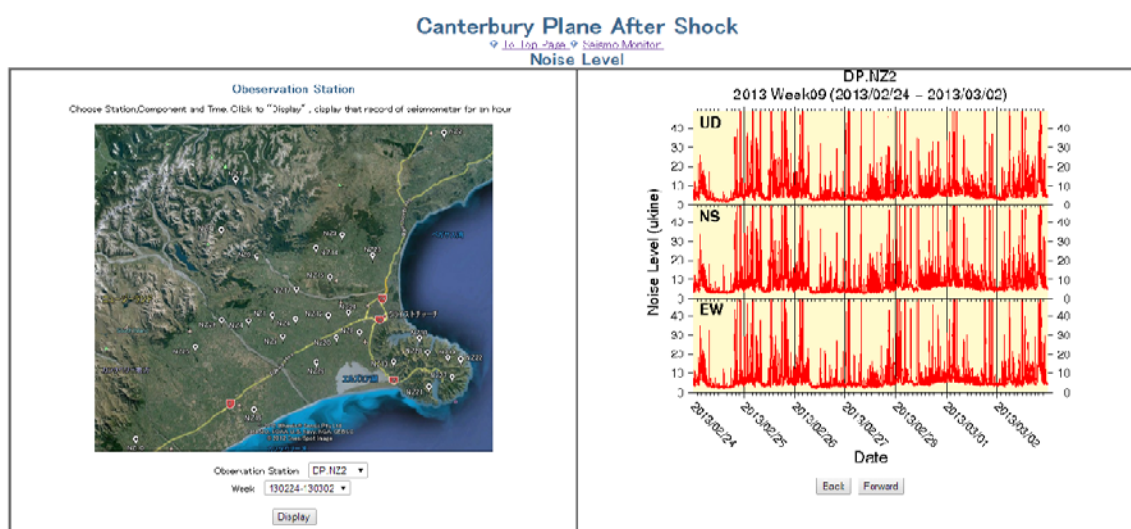


Fig. 10 Ground noise level monitor

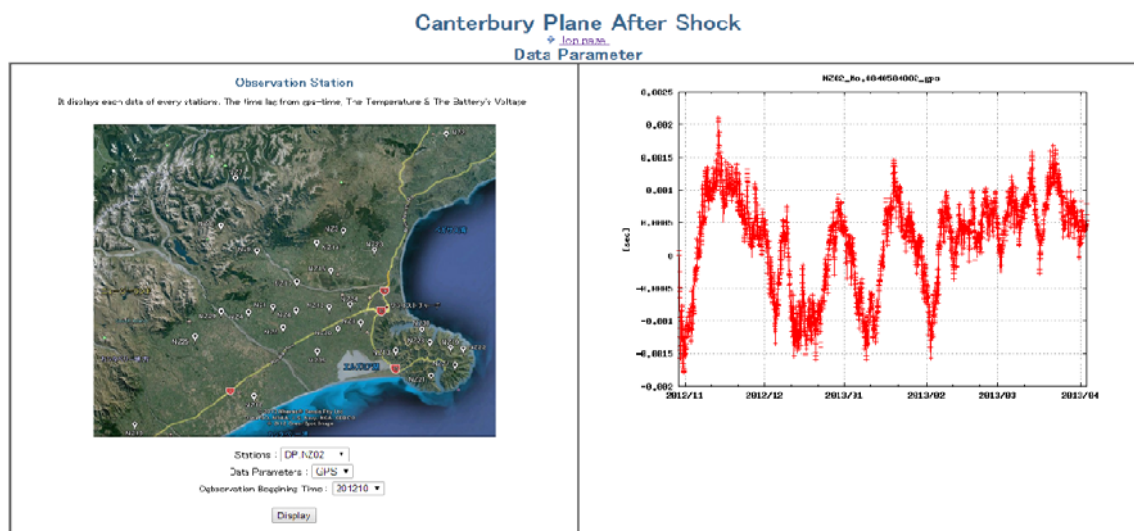


Fig. 11 Internal clock data monitor

5. 解析結果

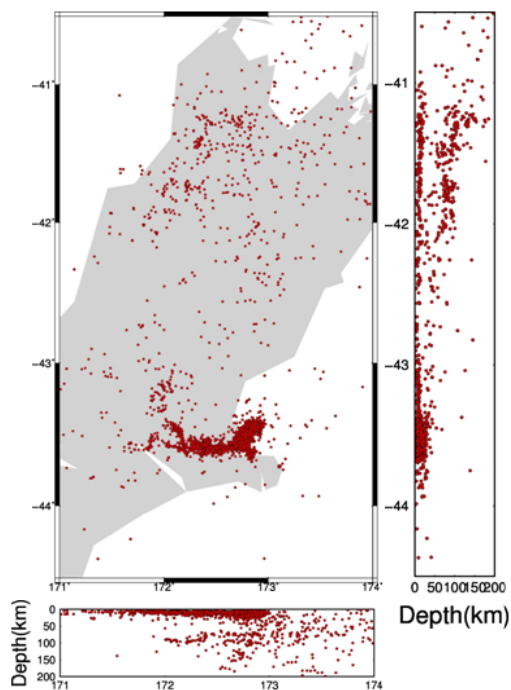


Fig. 12 Distribution of epicenters

Fig. 12, 13は堀内(2013)から引用した図で、Double Diffence Tomography法により求めた地震の震央分布を示した結果である。データ期間は、2012/3/1～2012/9/30まで、観測点数は73点(臨時観測点(51か所)、定常観測点(22か所))で地震は2895個ある。到着時刻はP波について27027個、S波については20936個を用い、2888個の震源が決定された。

Fig. 13は、クライストチャーチ周辺の震央分布である。震源をドットで表し、深い地震ほど青く、浅い地震ほど赤く色分けしている。灰色の線は、Syracuse et al. (2013)によって推定された断層面を重ねあわせたものであり、今回の余震分布からも確認できることが分かる。唯一断層面に震源が存在しないクライストチャーチ北部の断層は、クライストチャーチ地震に先行し地震活動が活発だった場所である。一方で、Syracuse et al. (2013)のデータ期間には地震があまり見られなかった領域にも余震が発生している。Fig. 13の赤丸の部分である。

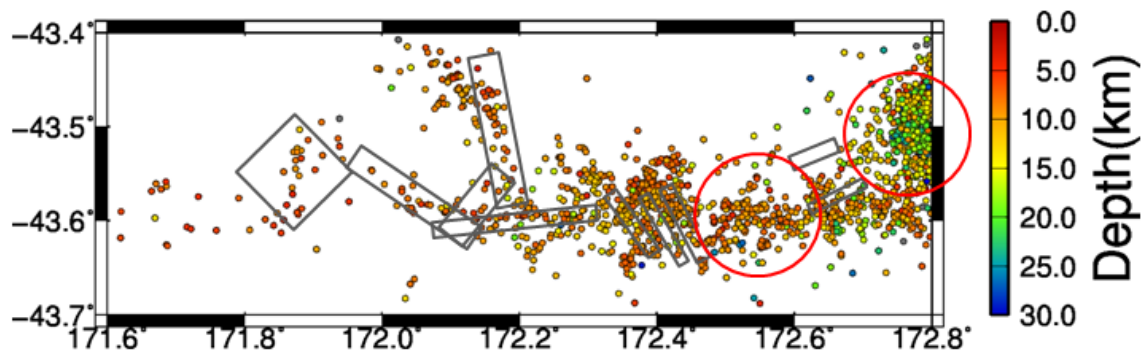


Fig. 13 Re-located hypocentral distribution near Christchurch

Fig. 14 は、これらの結果を時系列でまとめたものである。これらの図から、クライストチャーチ東部において、新たな余震活動が活発になっている領域が確認できる。

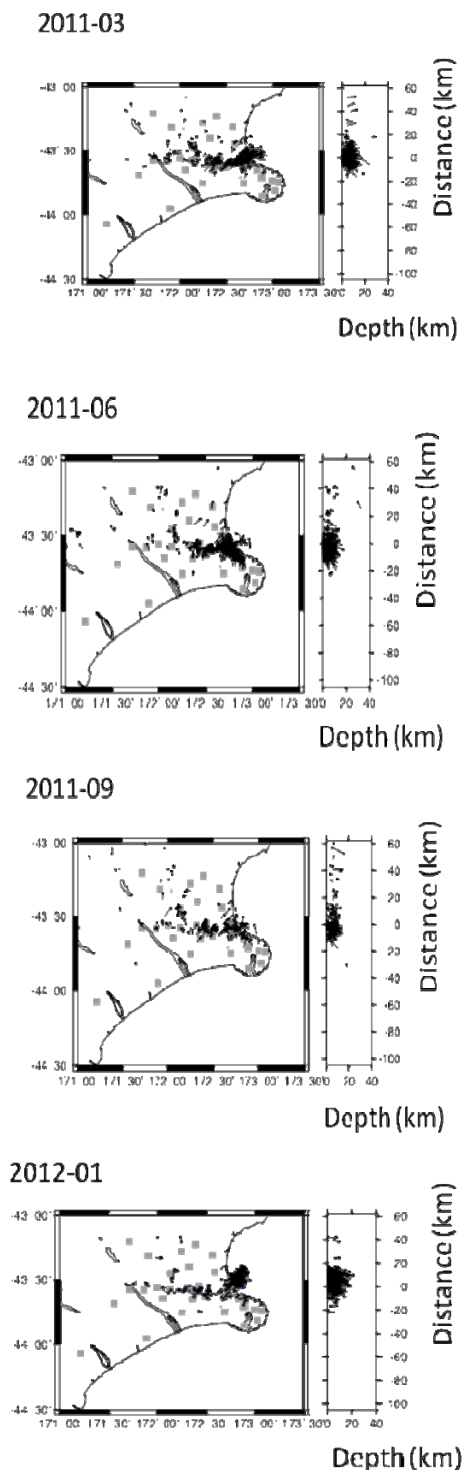


Fig. 14 Seismicity in Canterbury

6. おわりに

2009年からの観測は、現在軌道に乗っており、現

地での強力なヘルパーを見つけることも出来た。また、何回かの渡航、および機材の輸出入を通して、如何にすればスムーズな輸出入ができるかについてもわかってきた。

今後もニュージーランドにおける観測を継続予定であるが、この観測の継続を通して、課題の理解に努めたい。

謝 辞

観測に際しては、ニュージーランドの地主の方々の理解と協力をいただいている。DOC(Department of Conservation)には地震観測に便宜を計っていただいている。在日ニュージーランド大使館には色々とお世話になっている。Southern Geophysical LimitedのMike Finnermore氏には観測の遂行全般にわたって暖かいサポートをいただいている。ニュージーランドのヘルパーの方々には言語の壁・文化の違いを越えて、非常に適切なアドバイスをいただき、トラブル解決に向けて多大な尽力をいただいた。ここに感謝する。本研究はJSPS科研費23253004の補助を受けたものである。

参考文献

- 堀内 慎太郎 (2013) : ニュージーランドにおける稠密地震観測で得られた震源分布, 東北大学卒業論文.
- GNS, Major fault in New Zealand (2003) : <http://www.gns.cri.nz/Home/Learning/Science-Topics/Earthquakes/Major-Faults-in-New-Zealand> (access 2 Feb 2014)
- GNS, Where were New Zealand's largest earthquakes?(2014) : <http://www.gns.cri.nz/Home/Learning/Science-Topics/Earthquakes/New-Zealand-Earthquakes/Where-were-NZs-largest-earthquakes> (access 2 Feb 2014)
- Syracuse, E. M., C. H. Thurber, C. J. Rawles, M. K. Savage, and S. Bannister (2013) : High-resolution relocation of aftershocks of the Mw 7.1 Darfield, New Zealand, earthquake and implications for fault activity, Jour. Geophys. Res., 118, 4184-4195.

(論文受理日 2014年6月11日)