S046-P002

2002年アラスカDenali地震の震源過程と強震動

Source Rupture Process and Strong Ground Motion of the 2002 Denali, Alaska, Earthquake

○浅野公之[1]・岩田知孝[1]・入倉孝次郎[2]　(1 京都大学防災研究所 / 2 京都大学)
○Kimiyuki ASANO[1], Tomotaka IWATA[1], and Kojiro IRIKURA[2]
(1 Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University/ 2 Kyoto University)

研究の目的

2002年11月3日にアラスカ中部のDenali断層系で発生した地震(M_S7.9)は，北アメリカ大陸では過去約150年間で最大規模の地震である。特に強震記録が得られた内陸巨大地震としては世界で初めてといってもよい。また，出現した地表地震断層も全長約300kmの長大なものである。このような発生頻度の低い内陸巨大地震の震源過程や強震動特性を調べることは地震学的にも重要な課題といえる。

結果

強震記録とGPS記録を用いた波形インバージョン解析によりDenali地震の震源過程が推定された。破壊伝播速度は局所的に震源域のS波速度を超えている。また，すべりの空間的な分布は不均質であり，破壊開始点から東側2箇所に特にすべりの大きい領域が見られる。

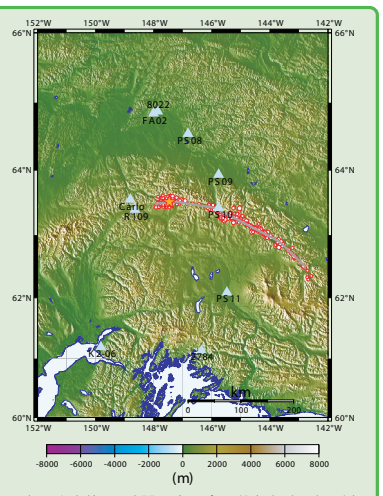
インバージョンで得られた震源モデルを仮定し，地震動シミュレーションを行った結果，断層の東側に地震動の大きな領域が見られた。これは，主に破壊が約300kmにわたってユニラテラルに進行した結果といえる。

地震の概要

本震の震央が余震域のほぼ西端であることから本震時の破壊が西から東にユニラテラルに進行したことが読み取れる。

発震時 2002/11/3 22:12:41.5 (UTC)
M_S .... 7.9 (アラスカ地震情報センター)
M_W .... 7.9 (Harvard Univ.)

出現した地表地震断層の例。この地震により地表地震断層が約300kmにわたって現れた。



本震発生後24時間以内の余震分布と強震観測点。余震分布はアラスカ地震情報センター(Ratchkovski et al., 2003)による。

強震記録とGPS水平変位記録を用いた震源インバージョン解析

本震時の震源における破壊過程を見るため，強震波形記録とGPS観測による静的水平変位記録を用いて震源インバージョン解析を行った。インバージョンの手法はSekiguchi *et al.* (2000)によるマルチタイムウィンドウを用いた線形波形インバージョン法を用いた。グリーン関数は水平成層構造を仮定し，離散化波数積分法(Bouchon, 1981)と透過反射係数行列法(kennett and Kerry, 1979)により計算した。インバージョンに際しては，解の安定を図るため，時空間の平滑化とすべり方向の拘束(Sekiguchi *et al.*, 2000)を行い，平滑化の強さと異なる種類のデータ間の相対的な重み付けはABICによって決めている。

データ

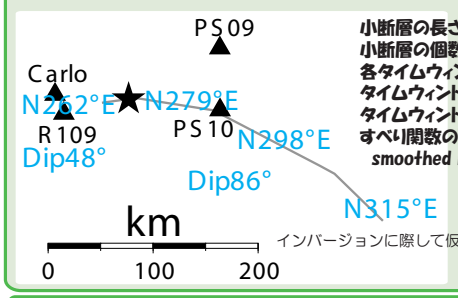
強震記録　速度波形3成分，0.05(または0.1)～0.5 Hz。10観測点。
GPS記録　Hreinsdóttir et al. (2003)による静的水平変位記録。25観測点。
観測点間の振幅の正規化はしていない。

地下構造モデル

Beaudoin *et al.* (1992)による広角反射・屈折法地震探査の結果を参照して1次元地下構造モデル(5層＋半無限)を作成した。

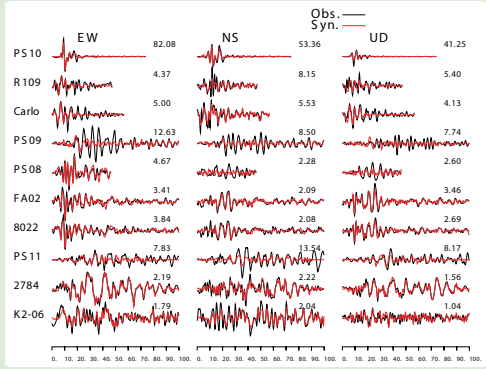
断層面

余震分布(Ratchkovski *et al.*, 2003)，初動による発震機構解，モーメントテンソ

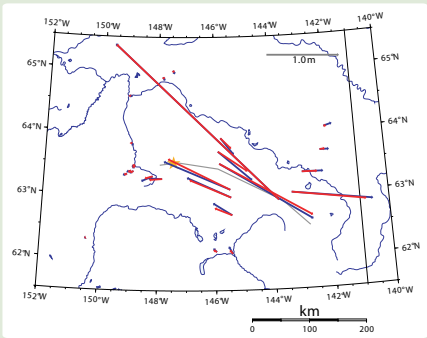


インバージョンに際して仮定した断層面。

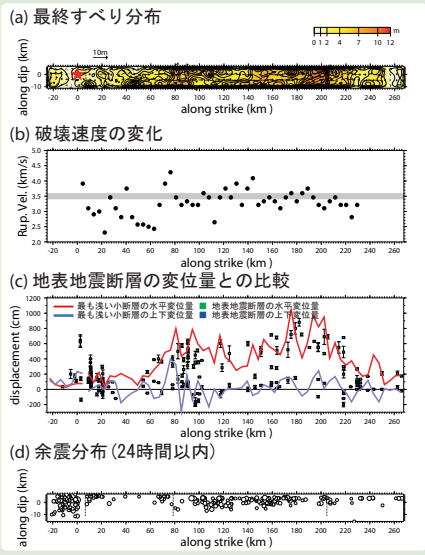
小断層の長さと幅：4.5 km× 4.5 km
小断層の個数：65 × 4
各タイムウィンドウの長さ：2.0 s
タイムウィンドウの数：6
タイムウィンドウの間隔：1.0 s
すべり関数の形状：
smoothed ramp function



各強震観測点での観測速度波形(黒)と合成波形(赤)。よく合っている。



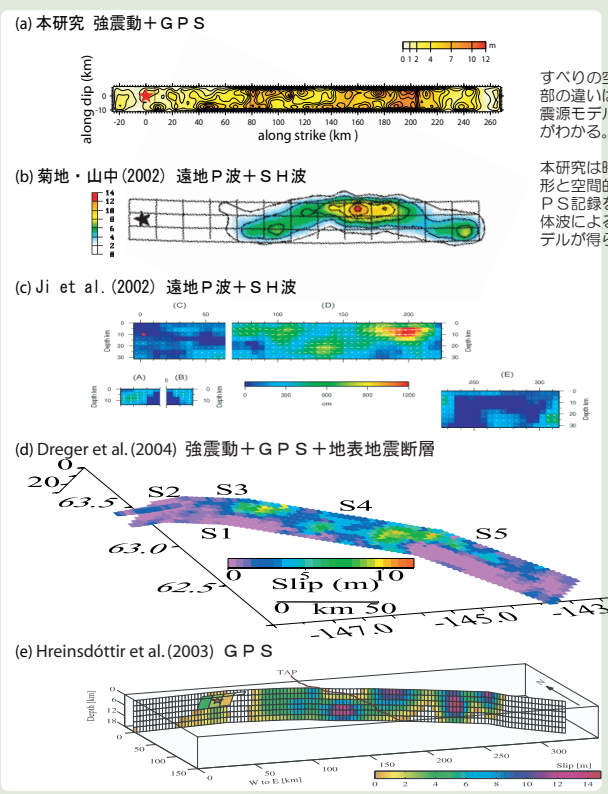
各GPS観測点での観測変位(青)と合成変位(赤)。よく合っている。



(a) インバージョンにより求められた最終すべり分布。すべりが不均質であること。Denali断層の主部にすべりが集中していることが分かる。
(b) 破壊速度の変化。ここではすべりが0.5 mに達した時刻を破壊時刻として，各章断層での局所的な時間差から破壊速度を求めている。部分的に破壊速度がS波速度を超えているように見える。
(c) 地表地震断層の変位量分布(Eberhart-Phillips et al., 2003)との比較。大局的には対応はよい。
(d) 余震分布。すべりの大きい領域と相補的のようにも見える。

震源モデルの比較

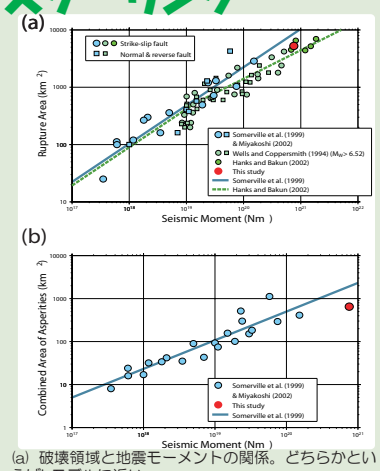
今回の地震は発生頻度の低い貴重な内陸巨大地震であった。そのため，既に多くの研究者が各種のデータセット及び手法を用いて，2002年Denali地震の震源モデルを構築している。ここでは，既に出版公表されているものなどを中心に紹介し，本研究の結果との比較を行った。



すべりの空間的な分布の特徴は，細部の違いはあるものの，それぞれの震源モデルはよく類似していることがわかる。

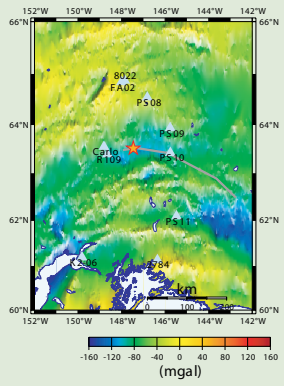
本研究は時空間の情報をもつ強震波形と空間的な長周期の情報を持つＧＰＳ記録を併用することで，遠地実体波による解析よりも詳細な震源モデルが得られている。

スケーリング



(a) 破壊領域と地震モーメントの関係。どちらかといえばLモデルに近い。
(b) アスペリティ総面積(宮腰，私信)と地震モーメントの関係。Somerville et al. (1999)の経験式から期待される大きさよりもやや小さめになった。

地下構造

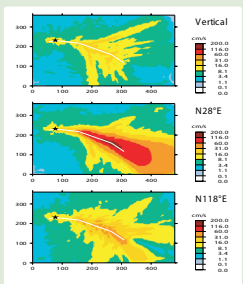


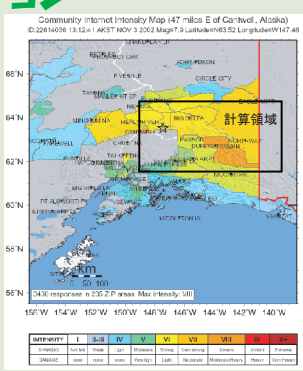
震源域周辺のBouguer異常(USGS)。波形の再現がよくないPS09では局所的な際と特性の影響がこの図からも伺えられるが，観測点周辺の地下構造に関するもっと詳細な情報が必要である。

地震動シミュレーション

今回のような長大な断層における不均質な破壊過程が空間的な地震動に与える影響を見るため，差分法による地震動シミュレーション(Pitarka, 1999)を実施した。

地下構造はインバージョン解析と同じ1次元構造を仮定している。





(左) 計算による最大速度の分布。断層直交成分が特に大きい。断層の東側に地震動の大きい領域が延びている。
(上) USGSによるアンケート震度。左図とは対象周期が違うことに注意する必要がある。

謝辞　本研究の実施に当たり，アメリカ合衆国地質調査所(USGS)，アラスカ大学フェアバンクス校，Alyeska Pipeline Service Companyの強震記録，アラスカ地震情報センターによる震源カタログを使用いたしました。標高及び重力のデータはUSGSによって公開されているものを使用しました。解析に使用したプログラムは独立行政法人産業技術総合研究所活断層研究センターの関口春子博士及びURS CorporationのArben Pitarka博士からお借りしました。また，アスペリティの特性化は財団法人地域 地盤 環境研究所の宮腰研博士のお世話になりました。東京大学地震研究所の工藤一嘉助教授及び津野靖士氏には観測点を訪問する機会を著者らに与えていただきました。以上，記して感謝いたします。また，一部の図の作成にはGMT(Wessel and Smith, 1995)を使用しています。

参考文献

Beaudoin *et al.* (1992). *J. Geophys. Res.*, **97**, 1921-1942.
Bouchon (1981). *Bull. Seism. Soc. Am.*, **71**, 959-971.
Dreger *et al.* (2004). *Geophys. Res. Lett.*, **31**, L04605.
Eberhart-Phillips *et al.* (2003) *Science*, **300**, 1113-1118.
Hanks and Bakun (2002). *Bull. Seism. Soc. Am.*, **92**, 1841-1846.
Hreinsdóttir *et al.* (2003). *Geophys. Res. Lett.*, **30**, 1670.
Ji et *al.* (2002). *EOS Trans AGU*, **84**(47), Fall Meet Suppl., Abstract S12A-0369.
Kennett and Kerry (1979). *Geophys. J. Roy. Astr. Soc.*, **57**, 557-583.
菊地・山中 (2002). EIC地震学ノート, No.129.
宮腰 (2002). 月刊地球 号外37, 56-61.
Pitarka (1999). *Bull. Seism. Soc. Am.*, **89**, 54-68.
Ratchkovski *et al.* (2003). *Seism. Res. Lett.*, **74**, 743-752.
Sekiguchi *et al.* (2000). *Bull. Seism. Soc. Am.*, **90**, 117-133.
Somerville *et al.* (1999). *Seism. Res. Lett.*, **70**, 59-80.
Wells and Coppersmith (1994). *Bull. Seism. Soc. Am.*, **84**, 974-1002.