

3. 3. 4 過去地震の類別化と長期評価の高度化に関する調査研究

(1) 業務の内容

(a) 業務の目的

1943年鳥取地震などの活断層で発生した地震、1993年釧路沖地震などの、深発地震や、やや深発地震についてクーロン応力変化(Δ CFF)と現在の地震活動とを対比することで、現在の微小地震活動から首都直下の過去の地震について情報が得られる可能性を明らかにする。首都圏M7級地震をプレート境界地震とスラブ内地震に類型化し、それぞれの平均再来間隔の推定や規模予測を行うとともに、最新活動時期から確率予測を試みる。首都圏の古地震年表、歴史地震年表により、震源間の相互作用の有無を検討する。また、プレート構造調査、地殻構造調査の成果等を踏まえた解析を行うことにより、首都直下の地震について再評価し、地震調査研究推進本部、地震調査委員会が「その他の南関東の地震」としてまとめて評価を行ったM7程度の地震の震源域の位置(プレート境界地震、スラブ内地震)、繰り返しの有無等を推定する。

(b) 平成19年度業務目的

地域によっては、長期間余震活動が続くと推定されている一方で、南関東の過去の大地震について、余震分布を詳しく調べた研究はこれまで少ない。余震と考えられる現在の微小地震活動から、150年以上も前に発生した地震のメカニズムや断層面などを Δ CFFを用いて推定することも試みられている。図1に、1811年から1812年にNew Madridで発生した地震系列の震源過程を現在の微小地震活動から推定したMuller et al. (2004)の結果を示す。平成19年度にはまず、1943年鳥取地震など、現在も余震活動がみられ、かつ震源過程が解析されている地震を用いて、 Δ CFFを用いた推定の有効性の調査から始め、続いて深発地震である1993年釧路沖地震の余震についての調査を行う。また南関東のやや深い地震について、余震の減衰を調査する。これらから、現在の微小地震活動から首都直下の過去の地震について情報が得られる可能性を明らかにする。

(c) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
東京大学地震研究所	教授	島崎邦彦	
東京大学地震研究所	産学官連携研究員	石辺岳男	

(2) 平成19年度の成果

(a) 業務の要約

1943年鳥取地震、1948年福井地震など内陸活断層で発生し、現在も余震活動がみられ、かつ震源過程が解析されている地震を用いて、 Δ CFFを用いた過去の地震のメカニズム推定の有効性の調査を行った。また、深発地震である1993年釧路沖地震の余震についても同様の調査を行い、現在の微小地震活動を用いることで過去の地震について情報が得られる可能性についての検討を行った。その結果、対象とした地震によって現在の微小地震活

動と Δ CFFの対応の様相は大きく異なるが、地震によっては適用の可能性があることがわかった。

(b) 業務の成果

1) 1943年鳥取地震による応力変化と現在の微小地震活動度の対応

1943年（昭和18年）9月10日に鳥取県東部を震源として発生した鳥取地震（M7.2）は鳥取市を中心に死者1083名、全壊家屋7485棟の被害をもたらした。地震学的に推定されている震源断層パラメータは3例が佐藤（1989）²⁾に記載されているが、ここでは測地測量、地震波解析及び余震分布と最も多種類のデータを用いて解析を行った Kanamori（1972）³⁾のモデルを採用した。その主要な断層パラメータを表1に示す。クーロン応力変化の計算には Coulomb⁴⁾を使用した。本震と同じメカニズムを仮定した場合の断層中央の深さでのクーロン応力変化 Δ CFFと1997年10月～2006年10月の一元化気象庁震源カタログによる震央分布（M \geq 1.45、震源の深さ20km以浅）との対応を図2に示す。実効的な摩擦係数として0.4を与えたが、摩擦係数を変えても結果に大きな相違は見られない。一元化後の微小地震活動は1943年鳥取地震断層の東西延長部分および南に分布しており、本震によってクーロン応力が増加した領域と良い対応を示す。しかしながら、この震源域の西部においては1943年鳥取地震の震源断層とは共役の関係にある北西-南東走向の左横ずれ断層において鳥取県西部地震（M7.3）が2000年に発生している。鳥取県西部地震⁵⁾による応力変化（図3）から大山～鳥取県中部の地震活動が活発化されていることが考えられるため、2000年以降のこの領域について1943年鳥取地震による応力変化のみと微小地震活動の対応について議論することは難しい。

2) 1948年福井地震による応力変化と現在の微小地震活動度の対応

1948年福井地震（M7.1）は1948年6月28日に福井県嶺北地方から石川県加賀地方にかけての一带を襲った地震で福井県では震度7を観測した。1倍強震計の波形記録を用いてインバージョン震源過程解析を行った菊地・他（1999）⁶⁾による断層メカニズムや主な震源パラメータを表2に列挙する。概ね北北西-南南東の走向を持つ左横ずれ断層で、断層面はやや西傾斜で正断層成分（西落ち）をもつ。本震と同じメカニズムを余震メカニズムとして仮定した場合の、クーロン応力変化 Δ CFFと近年の微小地震活動（1997年10月～2006年10月、M $>$ 1.45、震源の深さ20km以浅）との対応を図4に示す。ここでは見かけ上の摩擦係数を0.1、0.7にした場合も示してある。現在の微小地震活動との対応は見かけ上の摩擦係数が高いほうが、断層から南東側の地震活動が説明でき良い。これは、見かけ上の摩擦係数が地震発生直後には低く、地震発生からの十分な時間が経過すると流体の拡散・再平衡により大きくなっていくとした Jaume and Sykes⁷⁾と調和的である。 Δ CFFと現在の微小地震活動との対応は比較的良くみられ、本震による静的クーロン応力変化が現在の微小地震活動に影響を与えている可能性を示唆している。

3) 1945 年三河地震による応力変化と現在の微小地震活動度との対応

東南海地震から 1 ヶ月後に三河地震 (M6.8) が発生し、気象庁マグニチュード 6.8 で規模としてはそれほど大きなものでないにもかかわらず、2306 名の死者、7221 棟の全壊家屋という甚大な被害を出した。ここでは、低倍率の地震計記録をデジタル化して震源過程インバージョンを行った Kikuchi et al. (2002) ⁸⁾ の震源パラメータを採用した。その主な断層パラメータを表 3 に示す。同様に、余震のメカニズムが本震と同様であると仮定して、断層中心の深さにおけるクーロン応力変化と近年の微小地震活動度 (M>=1.45) との対応を調べた結果を図 5 に示す。深さごとに Δ CFF と地震活動との対応を見ると、若干の対応は見られるものの、1943 年鳥取地震や 1948 年福井地震に比べて 1945 年三河地震によるクーロン応力変化は現在の微小地震活動にほとんど影響を与えていないように見える。

4) 1993 年北海道釧路沖地震と近年の地震活動との対応

これまで、活断層において過去に発生した地震を対象にしてきたが、ここでは沈み込むスラブ内地震として 1993 年北海道釧路沖地震を対象とする。1993 年釧路沖地震は 1993 年 1 月 15 日に北海道釧路沖の深さ 101km を震源とした気象庁マグニチュード 7.5 の地震であり、震源メカニズムおよび震源の位置から沈み込む太平洋プレート内の二重地震面の間で発生したプレート内地震であるとされている ⁹⁾。ここでは、Takeo et al. (1993) ⁹⁾ の断層パラメータを用いた。50km から 150km まで 20km 刻みで深さを分類し、その中央の深さで計算した Δ CFF と一元化後の地震活動 (M>3.0) との対応を図 6 に示す。深さ 60km における Δ CFF と震源の深さが 50km から 70km の地震活動からは、これまで報告されてきた負の Δ CFF による地震活動の抑制が認められる ¹⁰⁾。沈み込むプレート内あるいはプレート間で発生する地震の活動度は深さによって大きく制約され、今後の定量的な議論には背景的地震活動度を定義する必要があるだろう。

5) 議論

1943 年鳥取地震や 2000 年鳥取県西部地震が発生した領域はきわめてせん断歪速度が遅いことが指摘されている ¹¹⁾。余震活動継続期間 (固有緩和時間 t_a) は、摩擦構成則における構成パラメータ A 、断層面にかかる全法線応力 σ 、せん断歪速度 $\dot{\epsilon}$ を用いて以下のように書き表すことができる ¹²⁾。

$$t_a = \frac{A\sigma}{\dot{\epsilon}}$$

従って、1943 年鳥取地震の震源域など、せん断歪速度が遅い領域では余震活動継続時間が長くなり、大地震によって発生した応力変化が長期にわたって地震活動に影響を与えることが予想される。その一方で、せん断歪速度が大きい可能性が考えられる 1945 年三河地震の震源域では余震活動は長く継続せずに、本震による応力変化はほぼ緩和され、現在の

微小地震活動に反映されないと考えられる。

(c) 結論ならびに今後の課題

1943年鳥取地震や1948年福井地震について、本震による静的クーロン応力変化と現在の微小地震活動から、その震源メカニズム等を推論することができる可能性が示唆された。その一方で、1945年三河地震については明瞭な相関が認められなかった。余震活動から過去の大地震の情報が得られるかどうかは、背景的地震活動度や余震の時間減衰特性に大きく依存するため、その適用限界を十分に把握した上で行う必要がある。

(d) 引用文献

- 1) Muller, K., Susan, E. Hough and R. Bilham: Analysing the 1811-1812 New Madrid earthquakes with recent instrumentally recorded aftershocks, *Nature*, 429, 285-288, 2004.
- 2) 佐藤良輔: 日本の地震断層パラメータハンドブック, 鹿島出版会, 390p, 1989.
- 3) Kanamori, H.: Determination of effective tectonic stress associated with earthquake faulting, The Tottori earthquake of 1943, *Phys. Earth. Planet. Interiors.*, 5, 426-434, 1972.
- 4) Toda, S., R. S. Stein, K. Richards-Dinger and S. Bozkurt: Forecasting the evolution of seismicity in southern California: Animations built on earthquake stress transfer, *J. Geophys. Res.*, B05S16, doi:10.1029/2004JB003415, 2005.
- 5) EIC 地震学ノート No93s
- 6) 菊池正幸, 中村操, 山田眞, 伏見実, 菅樹, 吉川一光: 1948年福井地震の震源パラメータ-1倍強震計の解析, *地震第2輯*, 52, 121-128, 1999.
- 7) Jaume, S. C. and L. R. Sykes: Changes in state of stress on the southern San Andreas fault resulting from the California earthquake sequence of April to June, 1992, *Science*, 258, 1325-1328, 1992.
- 8) Kikuchi, M. M. Nakamura, and k. Yoshikawa: Source rupture process of the 1944 Tonankai earthquake and the 1945 Mikawa earthquake derived from low-gain seismograms, *Earth Planet and Space*, 55, 159-172, 2003.
- 9) Takeo, M., Ide, S. and Yoshida, Y.: The 1993 Kushiro-Oki, Japan, earthquake: A high stress-drop event in a subducting slab, *Geophys. Res. Lett.*, 20, NO23, 2607-2610, 1993.
- 10) R. A. Harris and R. W. Simpson: In the shadow of 1857 – the effect of the great Ft. Tejon earthquake on subsequent earthquakes in Southern California, *Geophys. Res. Lett.*, 23, 229-232, 1996.
- 11) Sagiya, T., Miyazaki, S. and Tada, T.: Continuous GPS array and present-day crustal deformation of Japan, *Pure Appl. Geophys.*, 157, 2303-2322.
- 12) Dietrich, J. H.: A constructive law for rate of earthquake production and its application to earthquake clustering. *J. Geophys. Res.*, 99, 2601-2618, 1994.

(e) 学会等発表実績

学会等における口頭・ポスター発表
なし

学会誌・雑誌等における論文掲載
なし

マスコミ等における報道・掲載
なし

(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成 20 年度業務計画案

引き続き、余震活動と Δ CFFとの対応について調査し、より定量的な議論を行う。首都直下の5地震（長期評価で指摘された、1894年6月20日M7.0、深さ80kmの地震；1895年1月18日M7.2、深さ40–80km；1921年12月8日M7.0、深さ53km、1922年4月26日M6.8、深さ71km；1987年12月17日M6.7、深さ58km）について、余震分布を推定する。このため過去の地震記象と現在の地震観測記録との対比、古い地震の観測記録等に基づく震源再決定や最近の地震の精度良い相対的震源決定などを行う。現在の知識に基づく、第一次余震モデルを構築する。プレート境界地震については、相似地震に対して相似則を適用することにより、マグニチュード別の地震の平均繰り返し間隔、特に首都圏に多大な被害を与えるM7級程度の地震の発生間隔を推定する。スラブ内地震については、コストロフ式を適用し歪速度から地震モーメント放出率を推定する手法を開発する。

表 1 1943 年鳥取地震の断層パラメータ ³⁾

STRIKE (degree)	N80° E
DIP (degree)	90
Rake (degree)	180
Length (km)	33
Width (km)	13
Average Slip (m)	2.5

表 2 1948 年福井地震の断層パラメータ ⁶⁾

STRIKE (degree)	N170±5° W
DIP (degree)	70±5
Rake (degree)	-10±10
Length (km)	30
Width (km)	10
Average Slip (m)	2.3

表 3 1945 年三河地震の断層パラメータ ⁸⁾

STRIKE (degree)	N135° E
DIP (degree)	30
Rake (degree)	65
Length (km)	20
Width (km)	15
Average Slip (m)	1.1

表 4 1993 年釧路沖地震の断層パラメータ ⁹⁾

STRIKE (degree)	N69° E
DIP (degree)	11
Rake (degree)	90
Length (km)	40
Width (km)	20
Average Slip (m)	5.5

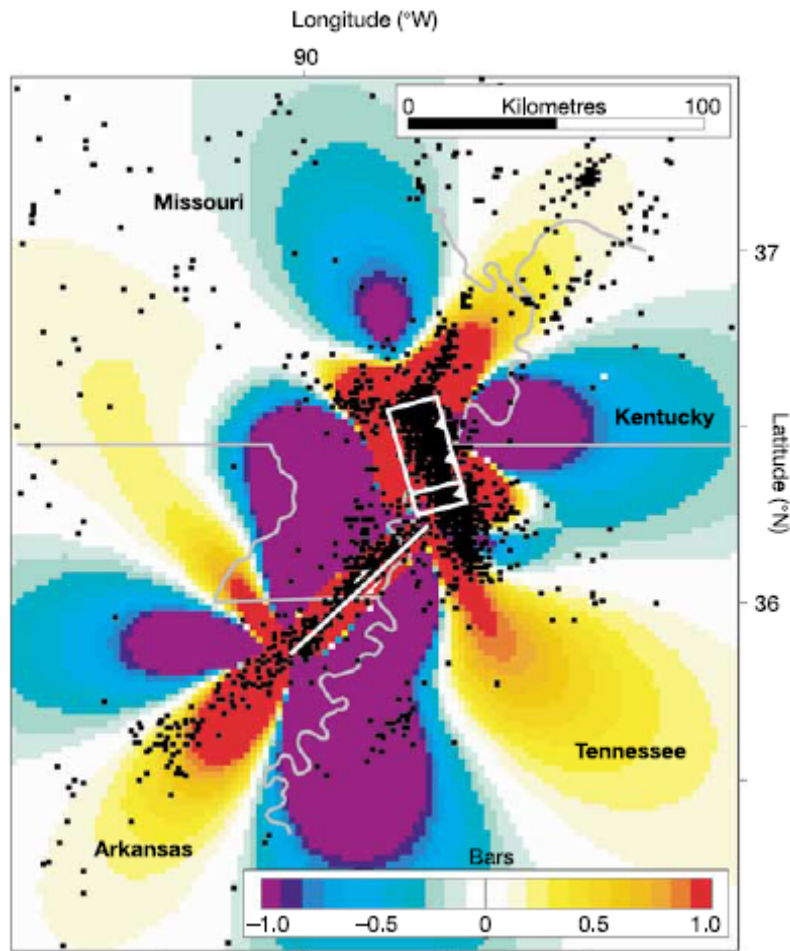


図 1. 近年の微小地震活動から推定される 3 つの大地震の断層モデルと、それによって推定される静的クーロン応力変化¹⁾。

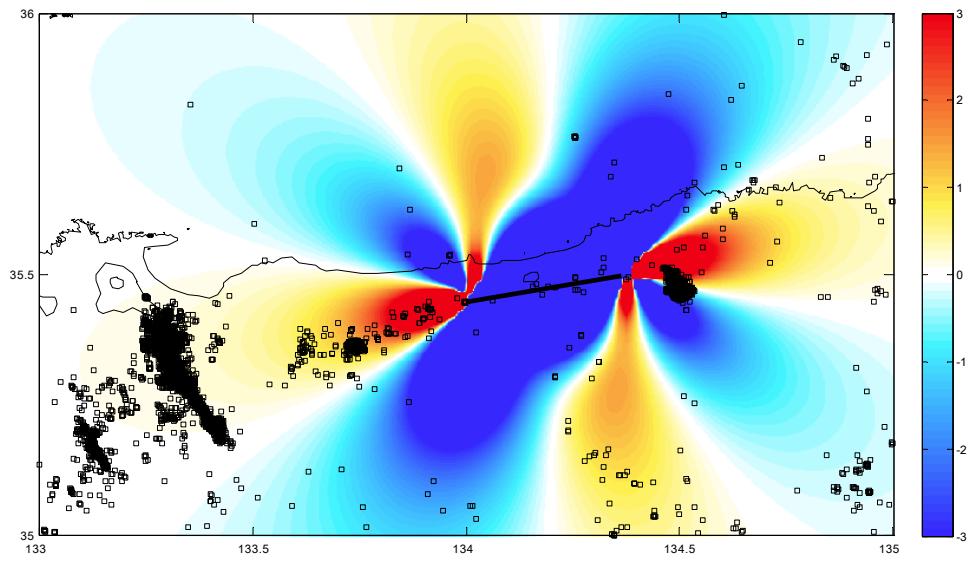


図 2. 1943 年鳥取地震によるクーロン応力変化と近年の地震活動（1997 年 10 月～2006 年 10 月、 $M \geq 1.5$ 、震源の深さ 20km 以浅）。

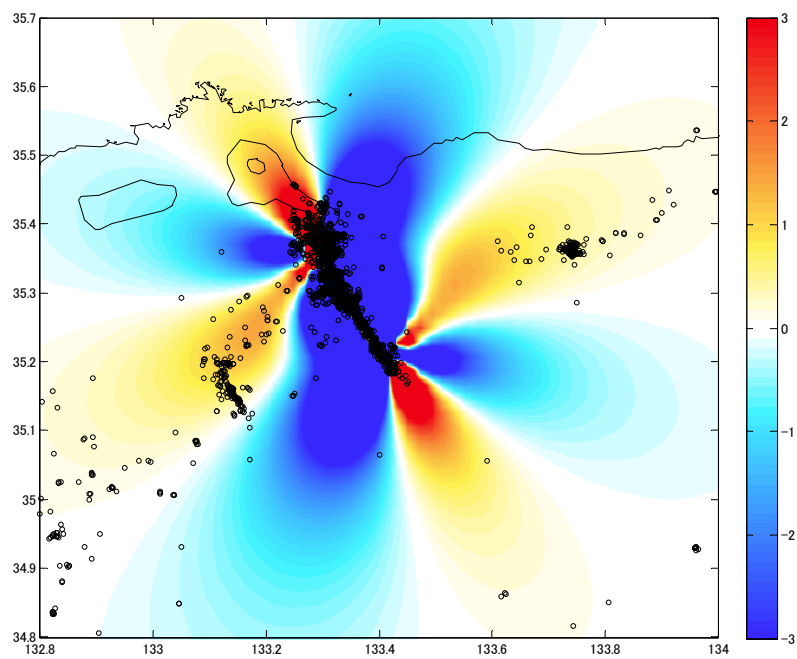


図 3. 2000 年鳥取県西部地震によるクーロン応力変化と地震活動。

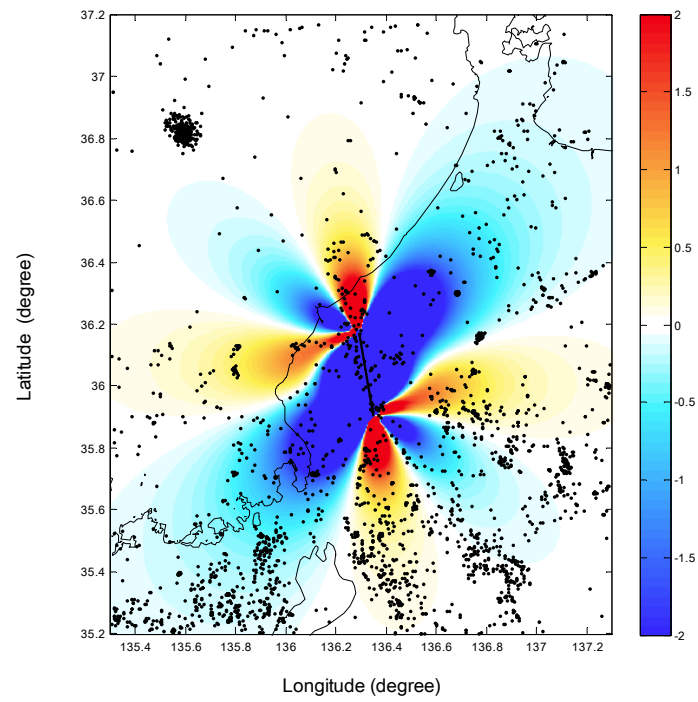
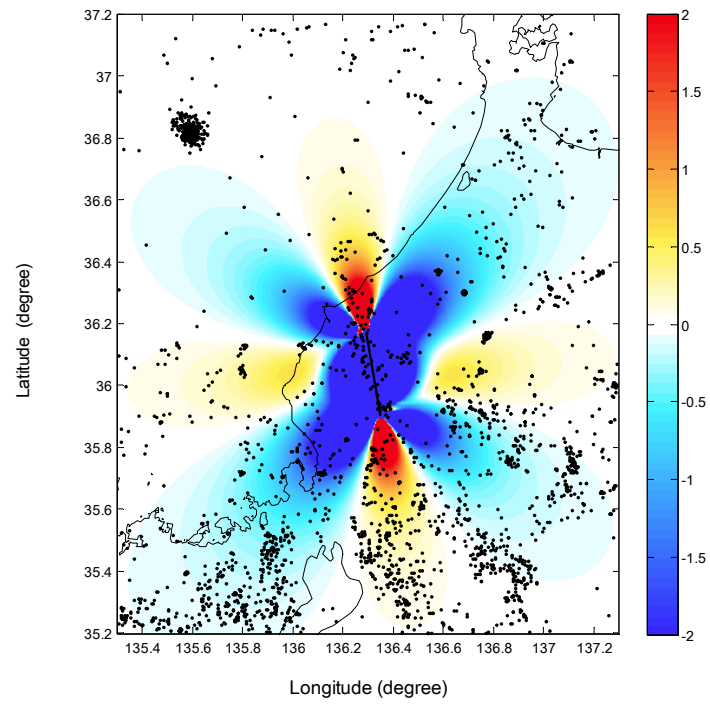


図 4. 1948 年福井地震によるクーロン応力変化と近年の地震活動（上から見かけ上の摩擦係数が 0.1、0.4 の場合）。

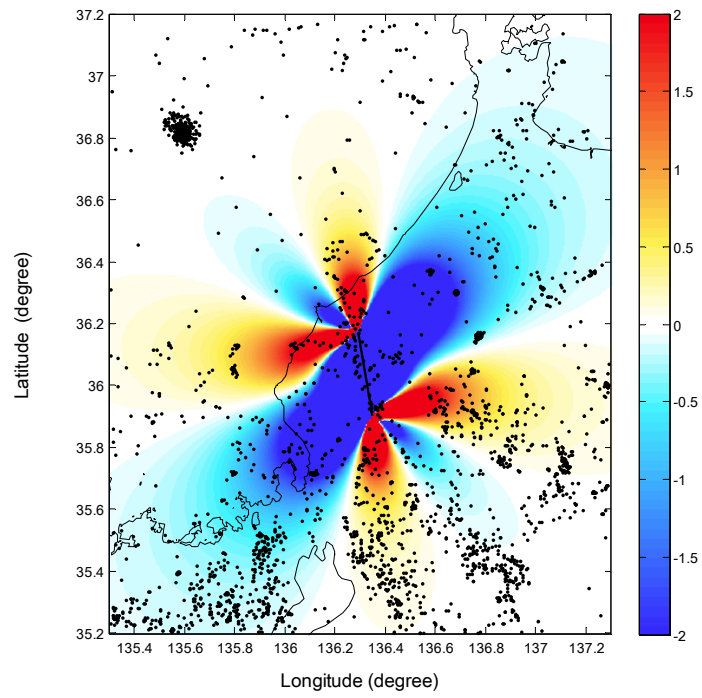


図 4 (続き). 1948 年福井地震によるクーロン応力変化と近年の地震活動 (見かけ上の摩擦係数が 0.7 の場合)。

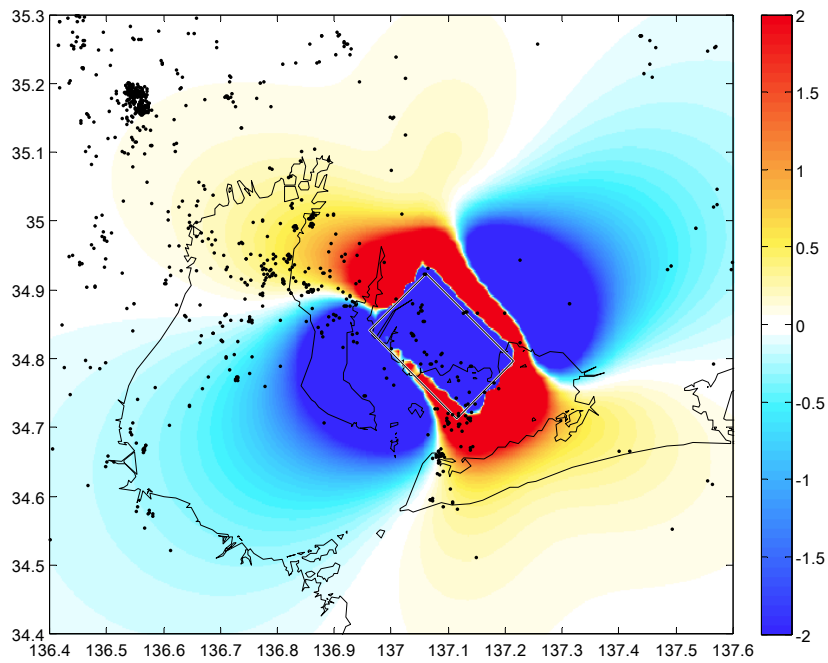


図 5. 1945 年三河地震によるクーロン応力変化と近年の地震活動。

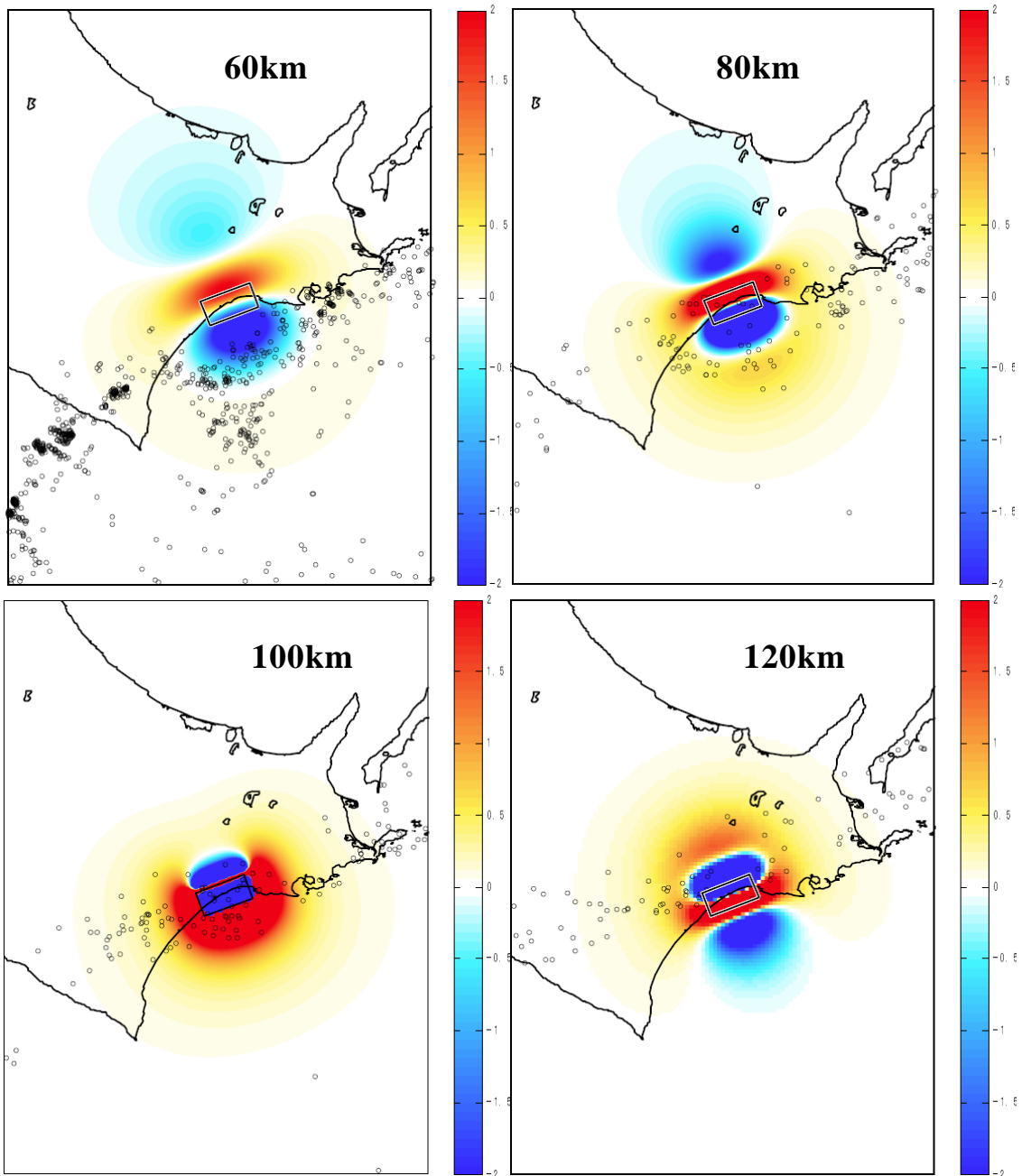


図 6. 1993 年釧路沖地震による Δ CFF と、近年の地震活動との対応。図中の深さは Δ CFF を計算した深さを示し、 ± 10 km の深さ範囲の M3+ の地震をプロットしてある。