

2009年10月12日に柳津町で発生した地震と地熱開発の関連性に関する調査結果

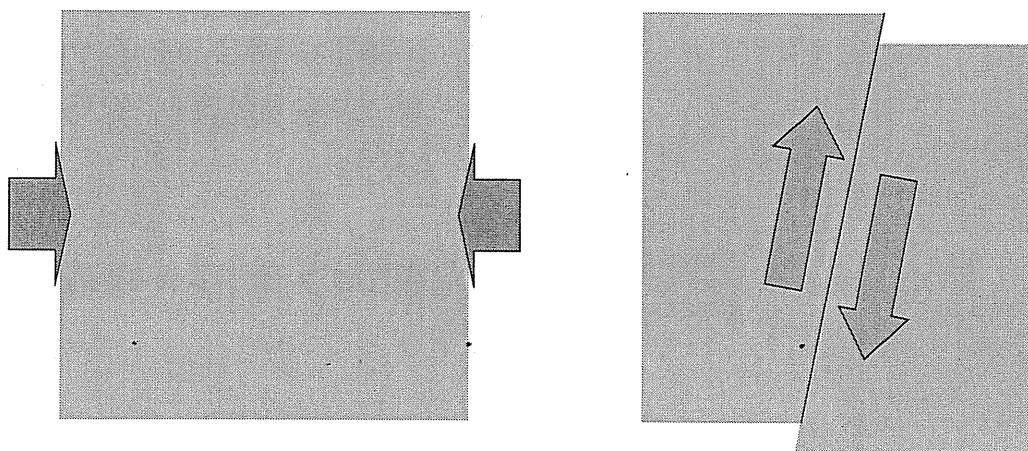
東北大学・大学院環境科学研究科
太陽地球計測学分野
浅沼 宏

Research Report on Earthquake, Yanaizu, March 23, 2009



1. 地震はどうして起こるか

地震：プレートの移動などにより地下に蓄えられた歪のエネルギーが解放される現象



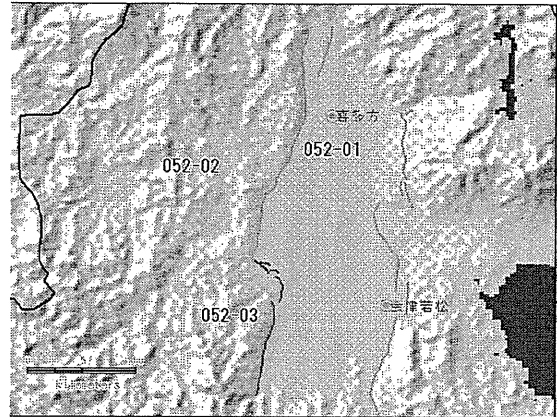
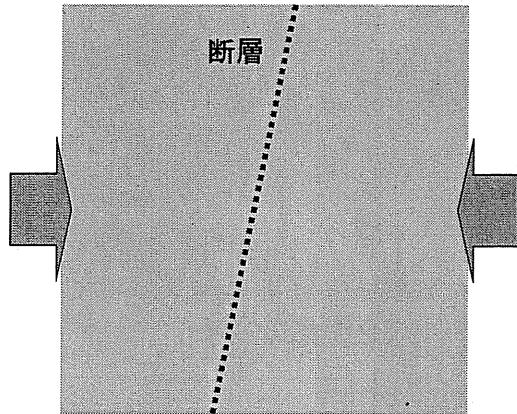
東北地方では1cm²あたり200kg重から
500kg重程度の圧力

Research Report on Earthquake, Yanaizu, March 23, 2009



1. 地震はどうして起こるか

どこで：岩の中の一番弱い構造（断層）



活断層：約260万年前から今までに地震活動を起こしたことがある断層

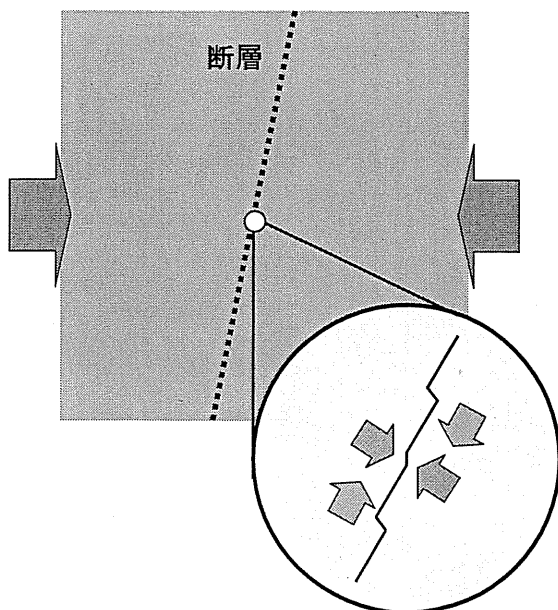
産業技術総合研究所

Research Report on Earthquake, Yanaizu, March 23, 2009



1. 地震はどうして起こるか

いつ、どのようにして：断層を滑らそうとする力が断層を固定しようとする力より大きくなった時、断層は滑ります(地震の発生)



大：断層を滑らせる力
小：断層を固定しようとする力

せん断力 > 摩擦 × 垂直力

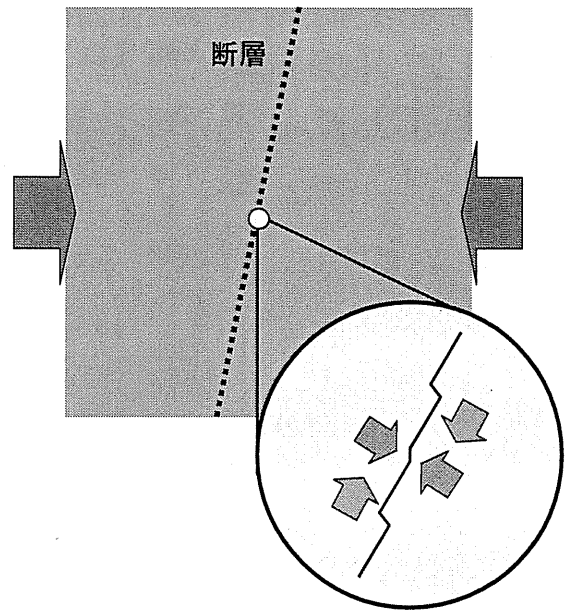
Research Report on Earthquake, Yanaizu, March 23, 2009



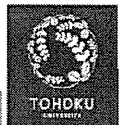
1. 地震はどうして起こるか

地震が起きる3つの条件

- ① 断層を滑らせる力の増加（日本ではどこでも増加中）
2. 断層を押し付ける力の減少（断層を広げようとする力（月の引力）、断層の加圧）
3. 断層の摩擦の低下（熱、水）



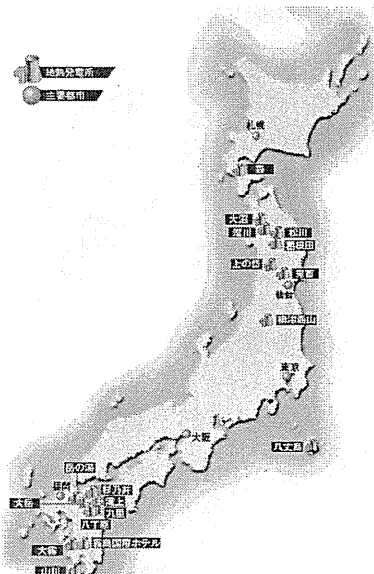
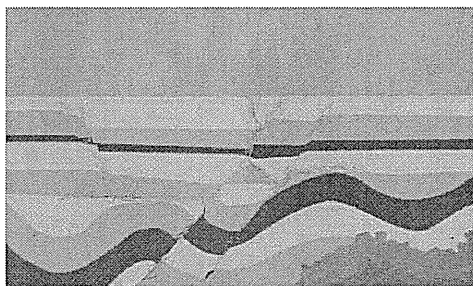
Research Report on Earthquake, Yanaizu, March 23, 2009



2. 地熱開発と地震の関連

地熱貯留層

地下水が岩の割れ目（き裂）を伝って地熱で熱せられ、それが破砕帯（断層）に溜まったもの。



地熱地帯は元々地震を発生しやすい傾向にあります。

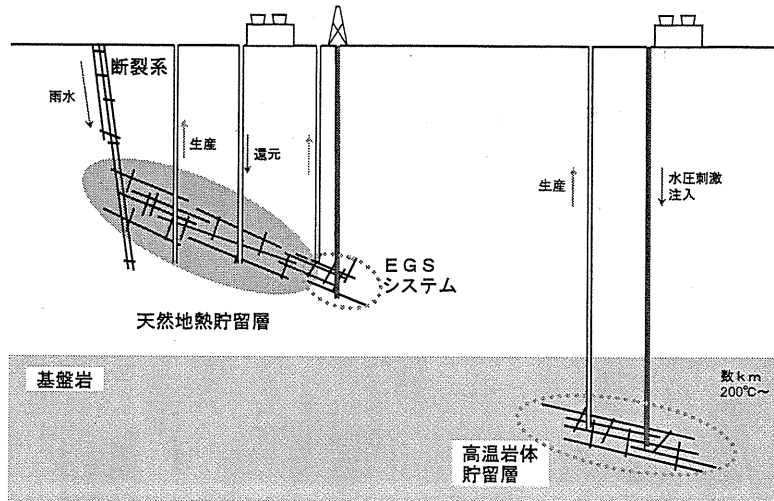


Research Report on Earthquake, Yanaizu, March 23, 2009

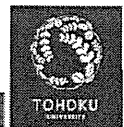
2. 地熱開発と地震の関連

地熱開発が微小地震を引き起こす原因

- * 地熱貯留層の圧力上昇(水圧刺激, 生産井の閉止)
- * 坑井の掘削(逸泥)
- * 還元による冷却(起こり得るが実例なし)

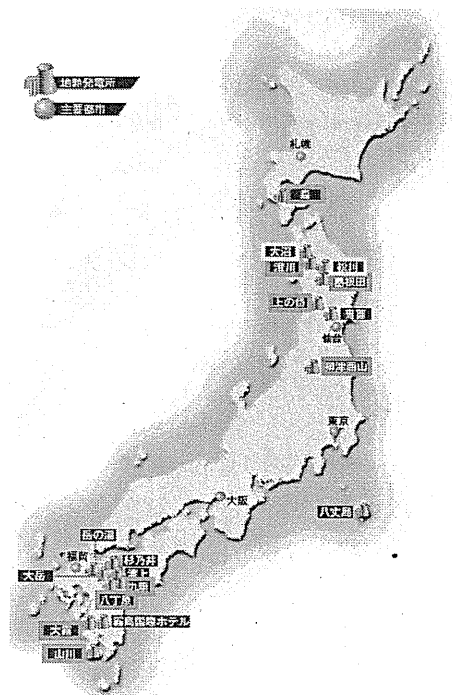


Research Report on Earthquake, Yanaizu, March 23, 2009



2. 地熱開発と地震の関連

国内の地熱発電所のほとんどで
微小地震モニタリングを実施(常
時または臨時)しています。

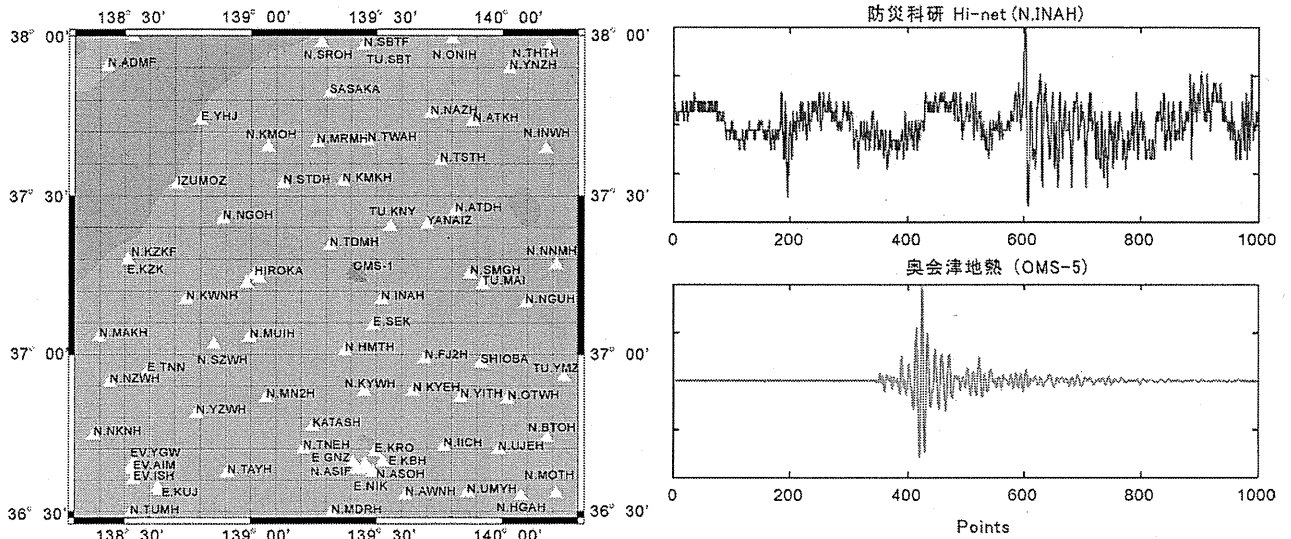


Research Report on Earthquake, Yanaizu, March 23, 2009



3. 西山地熱発電所付近で発生した地震の解析

国設地震観測ネットと奥会津地熱(株)のネット



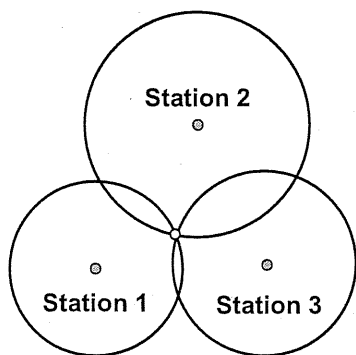
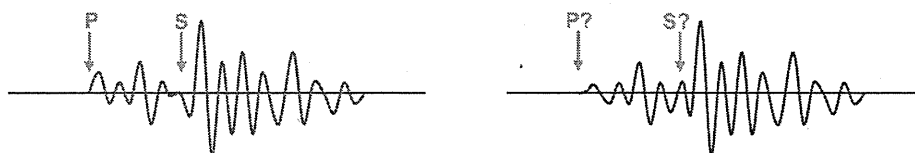
奥会津地熱(株)のネットは高感度, 高分解能, 小誤差です。

Research Report on Earthquake, Yanaizu, March 23, 2009

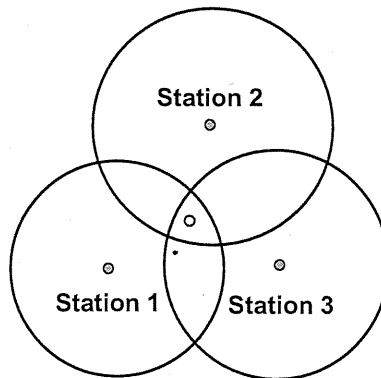


3. 西山地熱発電所付近で発生した地震の解析

地震波の震源位置決定法



理想的な状態



実際

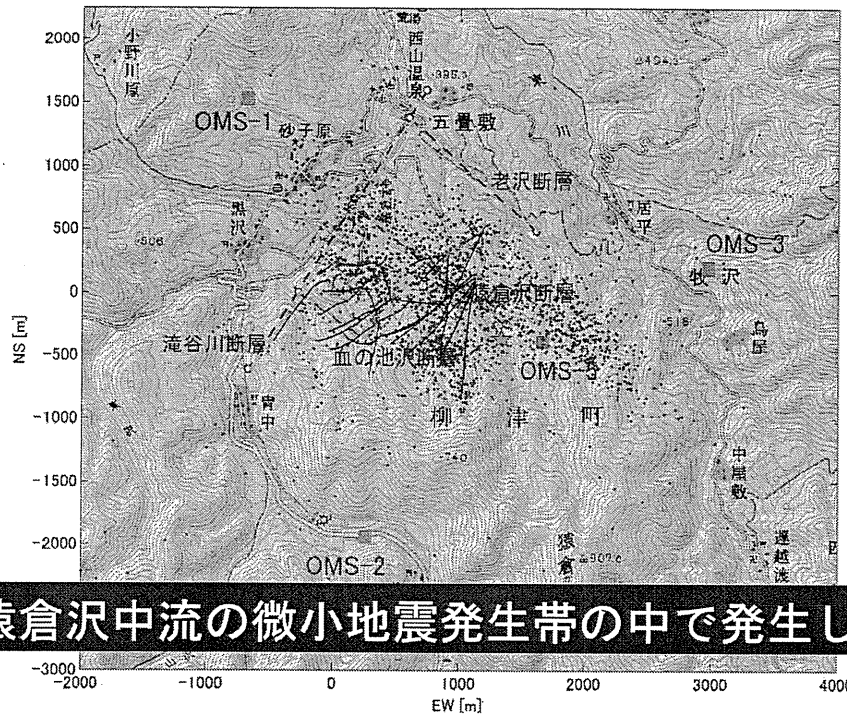
震源位置決定誤差の原因

1. 到達時刻
2. 速度モデル

Research Report on Earthquake, Yanaizu, March 23, 2009



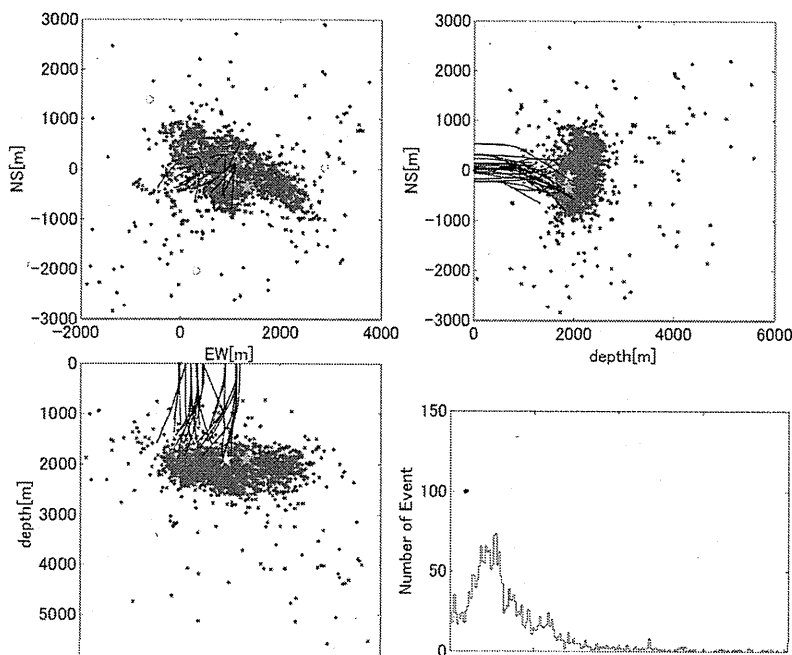
3. 西山地熱発電所付近で発生した地震の解析 震源位置決定結果 (DD)



Research Report on Earthquake, Yanaizu, March 23, 2009



3. 西山地熱発電所付近で発生した地震の解析 震源位置決定結果(DD)

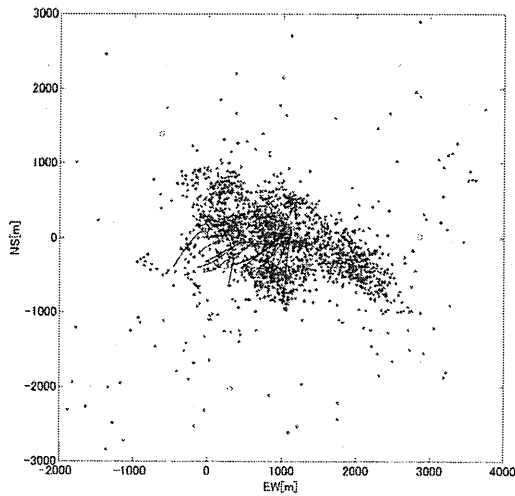


地震は猿倉沢中流の微小地震発生帯の中で発生しました。

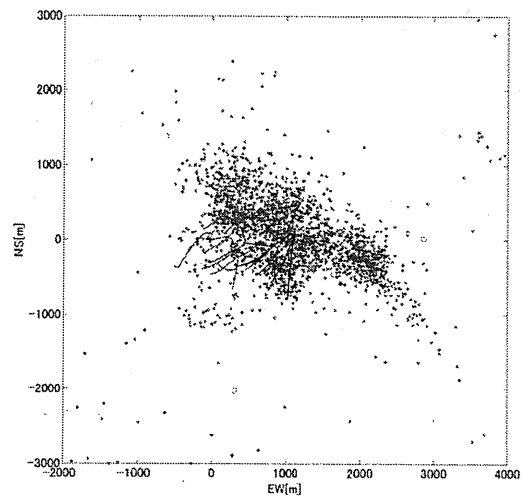
Research Report on Earthquake, Yanaizu, March 23, 2009



3. 西山地熱発電所付近で発生した地震の解析 震源位置決定結果



東北大学 (DD)



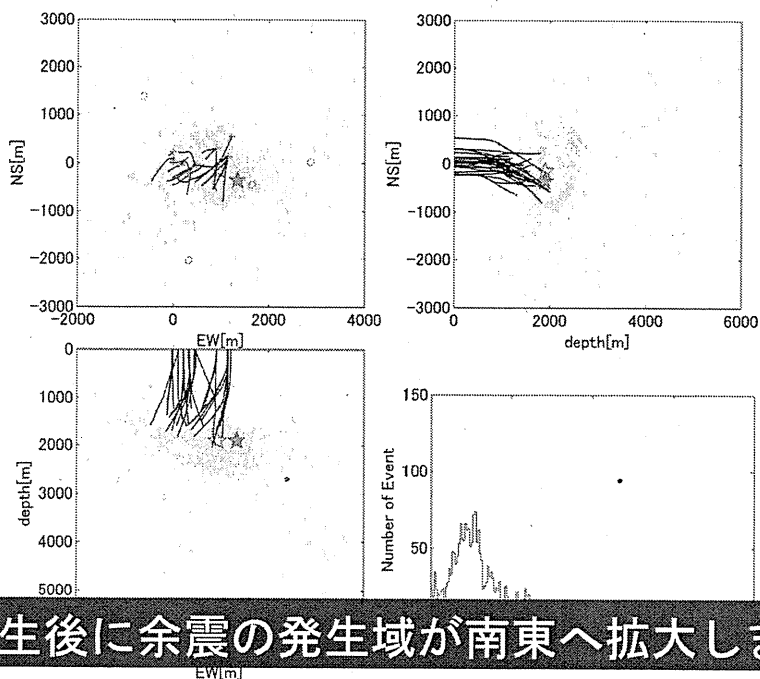
奥会津地熱

東北大学と奥会津地熱(株)の微小地震震源決定結果に大きな差はありませんでした。

Research Report on Earthquake, Yanaizu, March 23, 2009

TOHOKU UNIVERSITY

3. 西山地熱発電所付近で発生した地震の解析 震源位置決定結果



地震の発生後に余震の発生域が南東へ拡大しました。

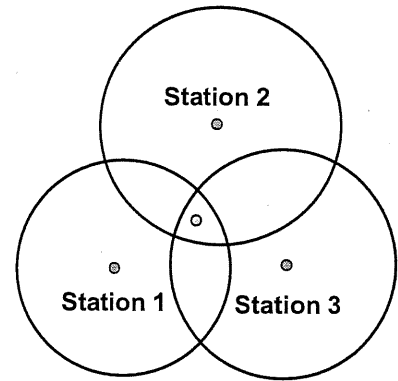
Research Report on Earthquake, Yanaizu, March 23, 2009

TOHOKU UNIVERSITY

3. 西山地熱発電所付近で発生した地震の解析

震源決定誤差の評価

原因：到達時刻検出のあいまいさ
速度モデルの不確かさ

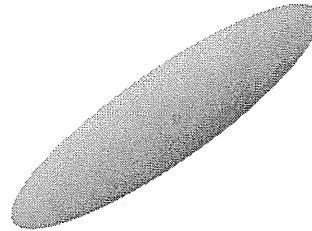


信頼楕円体 (99%の確率
で真の震源がこの中に
あることを示す)



決定した
震源位置

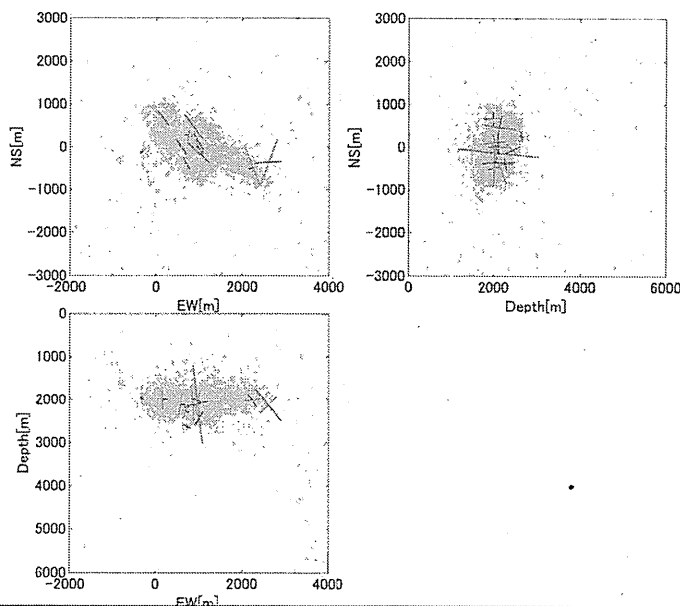
良好な震源決定



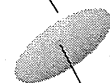
不良な震源決定

3. 西山地熱発電所付近で発生した地震の解析

震源決定誤差の評価



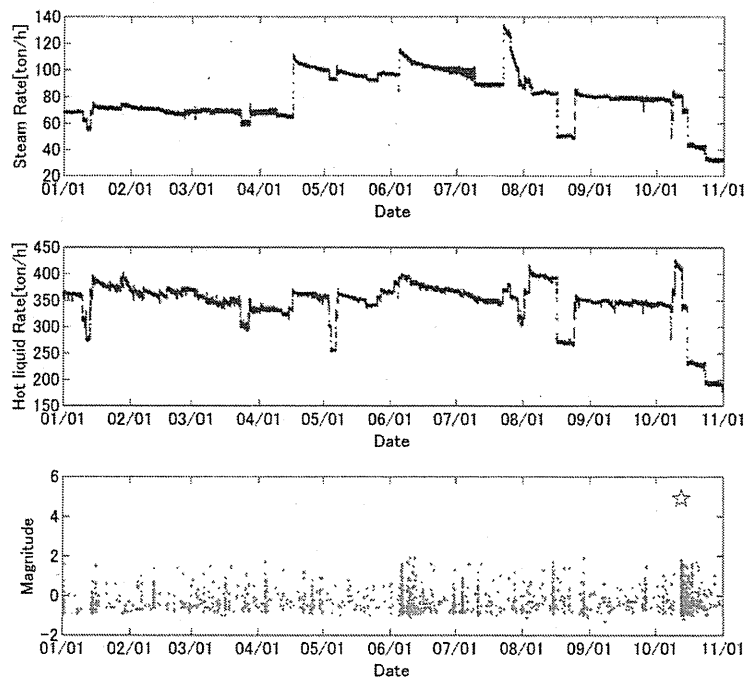
信頼楕円体 (99%の
確率で真の震源が
この中にあること
を示す)



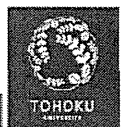
決定した
震源位置

微小地震の震源決定の誤差は数百メートルですが、
地震の方は1.7km程度の誤差があり得ます。

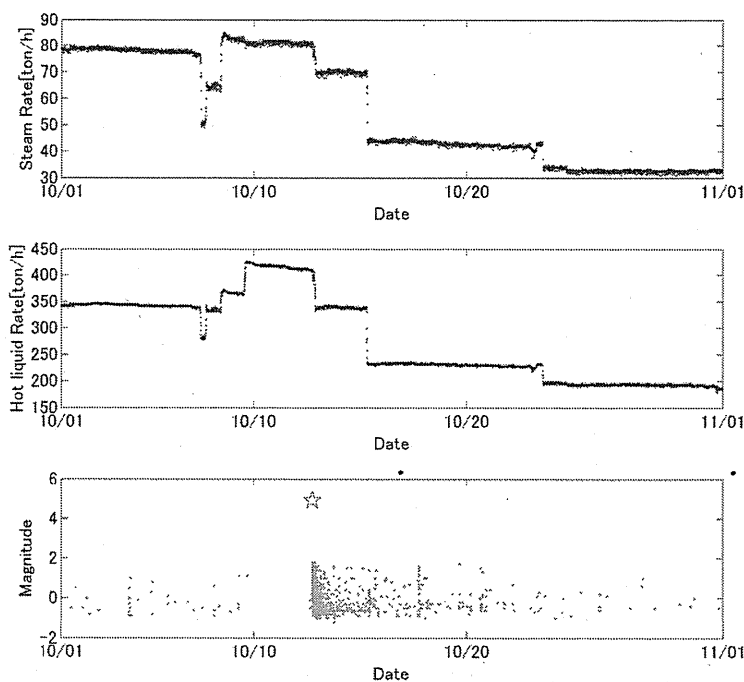
3. 西山地熱発電所付近で発生した地震の解析 地熱生産との関連性



Research Report on Earthquake, Yanaizu, March 23, 2009



3. 西山地熱発電所付近で発生した地震の解析 地熱生産との関連性

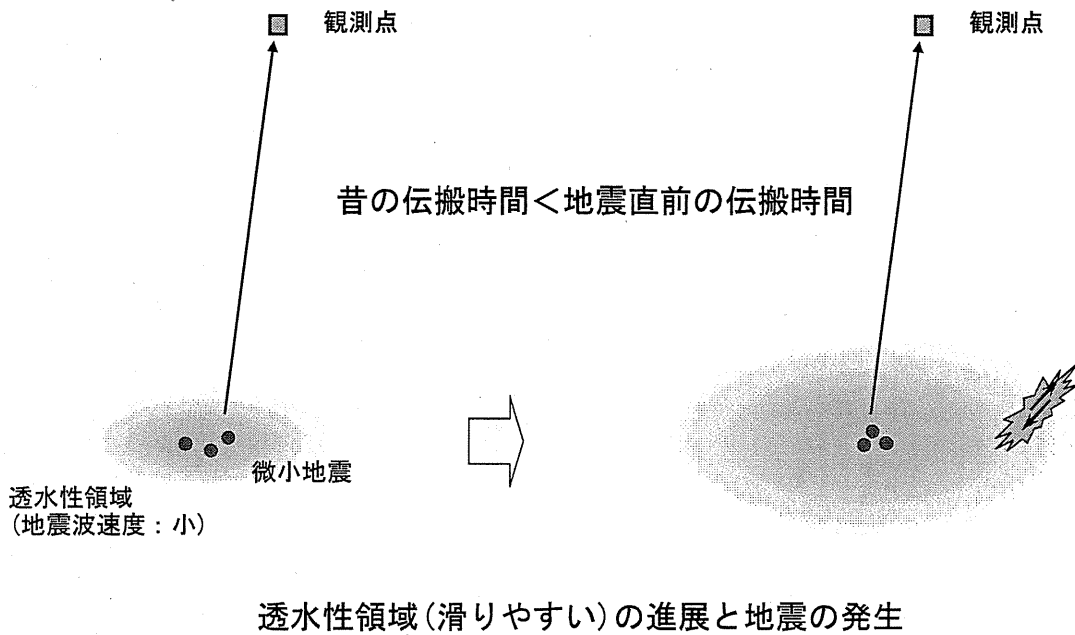


地熱生産工程と地震活動の間に関連性は見られません。

Research Report on Earthquake, Yanaizu, March 23, 2009



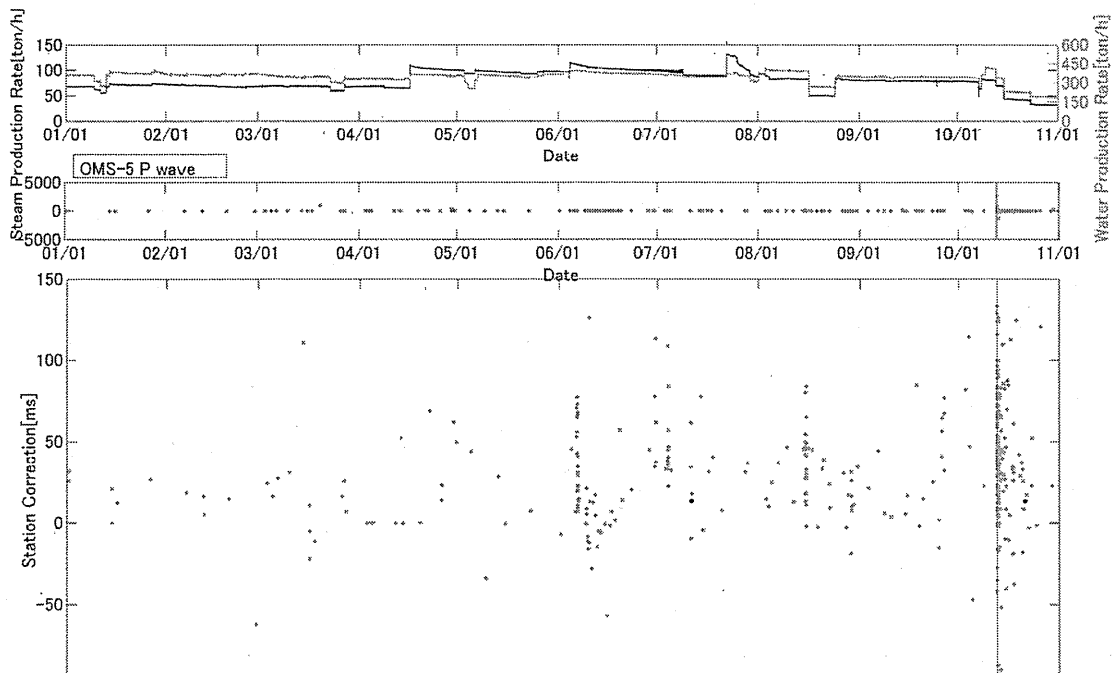
3. 西山地熱発電所付近で発生した地震の解析 速度補正值の時間変化



Research Report on Earthquake, Yanaizu, March 23, 2009



3. 西山地熱発電所付近で発生した地震の解析 速度補正值の時間変化

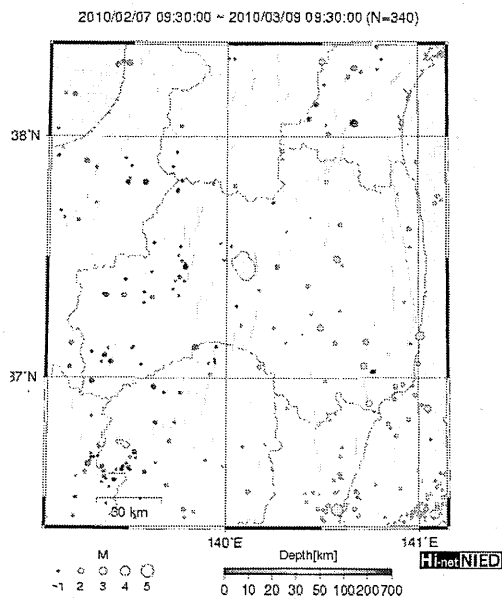


地震発生前には地熱貯留層が変動していないと考えられます。

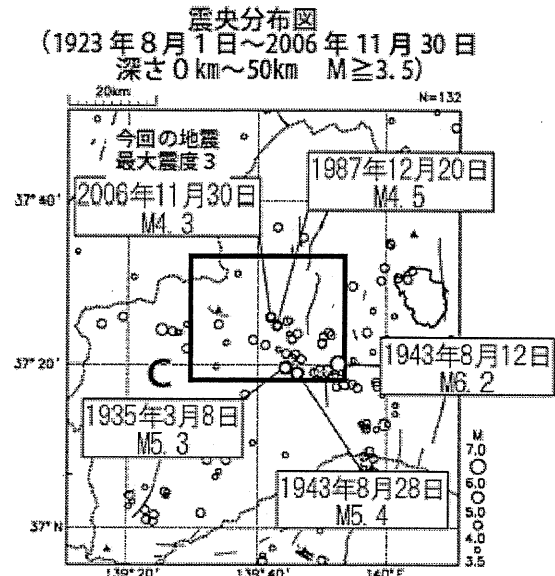
Research Report on Earthquake, Yanaizu, March 23, 2009



4. 会津地域での地震活動



防災科学技術研究所



気象庁

Research Report on Earthquake, Yanaizu, March 23, 2009



5. 結論：データから得られた事実

- ・ 奥会津地熱(株)が設置した微小地震ネットにより取得した信号は、信頼性の高い震源位置決定に用いることができる。
- ・ 地震は猿倉沢の中流域の微小地震発生帯内で発生した確率が高い。気象庁によると南東-北西に走向を持ち、45°程度傾いた面が正断層型の滑りを起こした。これは、この地域既存断層の方向と矛盾せず、また奥会津地熱のネットを取得した信号とも矛盾しない。
- ・ 地震発生後の余震域は南東方向へ約1.5km、および、北西域へ約1km進展した。余震に含まれるマルチプレットの一部は地震を起こした断層面と同じ向きの面が正断層で滑ったことを示している。
- ・ 地震発生前の微小地震活動はほぼ一定であり、震源域の拡大は見られなかった。
- ・ 余震活動は、地震発生後10日程度で収束した。
- ・ 本地域での微小地震マグニチュード分布によると、マグニチュード3程度の地震も発生しうる。

Research Report on Earthquake, Yanaizu, March 23, 2009



5. 結論：データから得られた事実

- ・ 地震・微小地震の発生と地熱生産工程の間に関連性は見られなかった。
- ・ 地震発生前1年半程度の間、微小地震震源域内の性状(地震波速度)は変化していなかった可能性が高い。



5. 結論：総合解釈

- ・ 地震を発生させた誘因(トリガ)は現時点では不明であるが、(a)地震は猿倉沢の中流域の生産ゾーンから外れた領域で発生した、(b)地震発生時に地熱生産工程に大きな変化は見られなかった、(c)西山地域の地熱貯留層は蒸気卓越型であり、地震学の理論によると、本地域での地熱生産行為は地震の発生を妨げる方向に寄与すると考えられることなどから、西山地熱発電所の操業とは直接的には関係していないと考えられる。
- ・ 西部会津地域は福島県内では地震活動が活発な地域であり、本地震もその活動の一環であり、地殻の変動にともない蓄えられた歪が開放されたと理解するのが妥当である。
- ・ 地熱貯留層は、元来、地震を発生しやすいと考えられるため、今後も本地域での地震活動モニタリングが重要である。
- ・ 本地震により、微小地震発生域ならびに地熱生産ゾーンが進展した可能性がある。

