

## 岩手火山周辺域の1926年から2005年の地震－火山活動

土井 宣夫\* ・ 菅野 正人\*\*

(2015年8月27日受付, 2015年12月25日受理)

### 1. はじめに

岩手山 (2038m) は、東西約13km に配列する岩手火山群東部に位置する大型の成層火山で、ほぼ東経141度線を境に、西側の西岩手山と東側の東岩手山に分かれている。

岩手山は、1998年を中心に活発な地震・火山活動を示した。このイベントは、1997年の地下浅所の地震活動にはじまり、1998年2月には火山体の地殻変動も加わって、活発な地震・地殻変動となった (浜口, 2006)。1999年3月以降、西岩手山で広域の噴気活動が生じた。また、1998年9月3日岩手山南西麓を震源とした「岩手県内陸北部の地震」(気象庁マグニチュード M6.2 ; 速報値M6.1) は、岩手山西方の三ツ石山付近を中心とする火山性隆起が進行するなかで、近接する活断層が変位して生じた地震として注目された。こうした1997年以降続いた地震・火山活動 (以下1998年イベントと略) を受けて、植木・三浦 (2002) は、岩手山周辺域を含むやや広い範囲で種々の地震活動が同時に活発化した事実から、そのメカニズムの解明が課題であると指摘した。

この課題を検討する一手法として、1998年イベントで岩手山に発生した種々の事象を、過去に岩手山で発生した事象と比較して解析する方法が考えられる。そこで本論では、気象庁「地震カタログ」に着目し、これに掲載されている1926年から2005年までの地震をもとに、地震発生の特徴を整理し、岩手山の噴気記録と合わせて解析した。

その結果、岩手山周辺域で発生する地震の発生時期、発生領域とその推移等が明らかになり、1998年イベントと類似の現象が過去にも発生していたことが見出された。これにより、噴火に至らないマグマ貫入の存在と地震発生のメカニズムが推定された。本内容は、岩手火山の地震－火山活動のメカニズムを示すものとして重要と考えられるので報告する。なお、本論は2006年10月開催の日本火山学会で発表した内容 (土井・菅野, 2006) に、新たな考察を加筆したものである。

---

\* 岩手大学教育学部自然地理学研究室 〒020-8550 岩手県盛岡市上田3丁目18番33号

\*\* 福島地方気象台 〒960-8018 福島県福島市松木町1-9

## 2. 岩手山周辺域の地震と噴気の記録

本章では岩手山周辺域で発生した地震と噴気の記録の整理法を述べる。

### (1) 地震記録

今回解析した地震記録は、気象庁が日本付近で発生した地震の震源とマグニチュードとを取りまとめた「地震カタログ」（以下カタログと略）に掲載された地震のうち、もっとも古い1926年1月から1998年イベントの主要な事象が終了した2005年12月までの岩手山周辺域の地震である。震源やマグニチュードの決定方法、震源決定に用いる速度構造と走時表、震央地域名などが時代によって異なるため、カタログはこれまで何度か改訂されている。また、地震観測網の変遷により、地震観測データの品質や量も時代によって変化している。このため、本解析では、震源精度がより高いと考えられるマグニチュード (M) 3.0以上の地震を用いた。

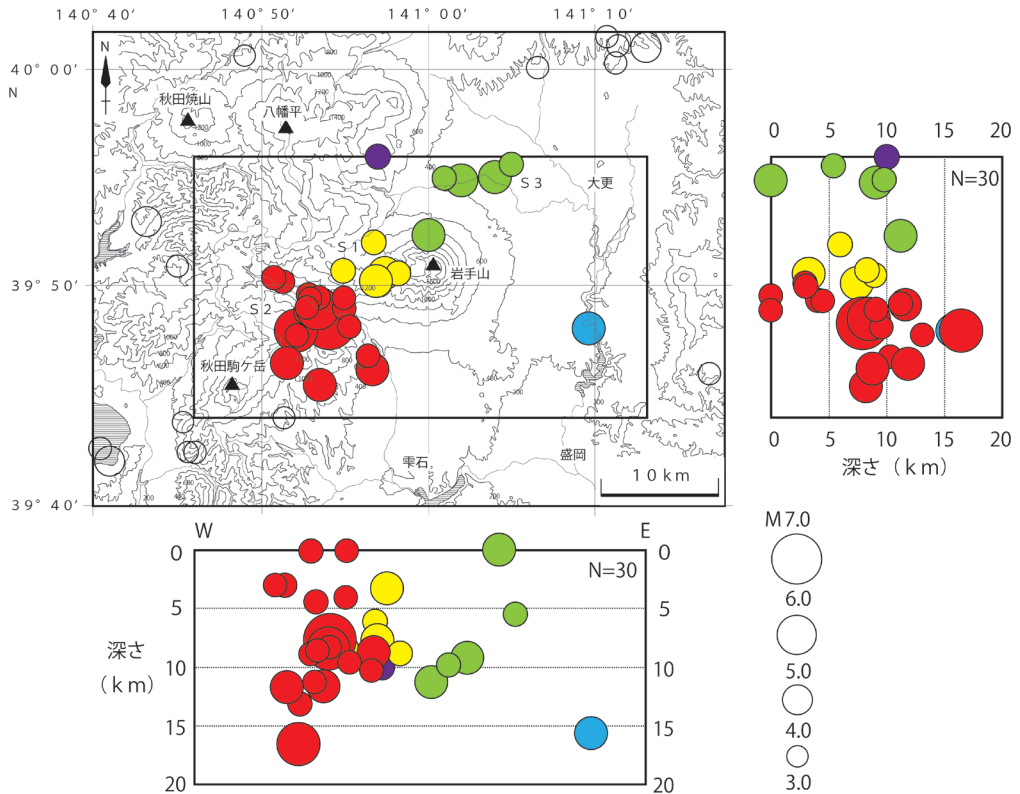


図 1 1926年から2005年に岩手山周辺域で発生した M3.0以上の地震の分布

気象庁「地震カタログ」掲載の地震を示す。岩手山周辺域の地震は主に3つの領域に分布する。領域S1の地震(黄色)は岩手山の山体下の地震、領域S2の地震(赤色)は岩手山南西麓の地震、領域S3の地震(黄緑色)は岩手山北～北東麓の地震である。領域S2とS3の地震の深さの下限は、東から西へ深くなる傾向がある。気象庁震源の深さは、1998年イベントの地震を用いて比較すると、東北大学震源より深めに決定されている。

岩手火山周辺域の1926年から2005年の地震-火山活動

地震の検討範囲は、1998年イベントで発生し、詳細に決定された震源分布を考慮して、岩手山を含む北緯39度44分～39度56分の南北22km、東経140度46分～141度13分(日本測地系)の東西39km、海面下0～20kmとした(図1)。この範囲に記録されているM3.0以上の地震数は30である(表1)。図1はこれより広い範囲の地震を含めて分布を図示している。

表1 気象庁「地震カタログ」に掲載された1926年から2005年の岩手山周辺域のM3.0以上の地震一覧

マグニチュード値のJは気象庁マグニチュード、Vは速度マグニチュード、Dは変位マグニチュードを示す。

地震番号	地震発生年月日時刻			震源位置			マグニチュード	領域	地震活動期	活動期の長さ
	年	月日	時刻	北緯	東経	深さ(km)				
1	1930	06 01	18:17 26.3	39° 48.0'	141° 09.6'	15.7	4.7J	その他	(単発)	—
2	1960	02 03	10:01 49.3	39° 56.0'	140° 57.0'	10.0	3.9J	その他		
3	1960	12 09	15:22 39.1	39° 52.0'	140° 56.7'	6.0	3.6J	S1		
4	1962	12 10	06:16 59.2	39° 48.0'	140° 52.1'	16.5	5.0J	S2	I 期	3年
5	1962	12 10	06:27 25.3	39° 46.5'	140° 51.5'	11.8	4.0J	S2		
6	1962	12 12	20:29 34.5	39° 49.2'	140° 53.6'	11.6	4.4J	S2		
7	1963	02 26	05:18 53.0	39° 55.6'	141° 05.0'	5.4	3.9J	S3		
8	1981	08 22	06:25 46.0	39° 49.0'	140° 55.0'	0.0	3.0J	S2	II 期	8ヶ月
9	1982	04 27	15:50 49.5	39° 55.0'	141° 04.0'	0.0	4.2J	S3		
10	1982	04 27	16:10 09.0	39° 55.0'	141° 01.0'	10.0	3.0V	S3		
11	1987	12 18	00:09 54.5	39° 46.8'	140° 56.4'	10.2	3.9V	S2	(単発)	—
12	1993	05 23	02:54 26.9	39° 49.4'	140° 53.1'	4.4	3.0V	S2	III 期	1年4ヶ月
13	1993	10 26	06:03 51.9	39° 48.9'	140° 54.0'	8.0	4.2J	S2		
14	1994	09 22	20:20 04.8	39° 52.4'	141° 00.0'	11.2	4.1J	S3		
15	1994	10 05	11:37 49.5	39° 47.8'	140° 52.1'	13.1	3.3V	S2		
16	1997	06 05	04:11 20.1	39° 49.3'	140° 53.0'	11.2	3.0V	S2		
17	1998	07 05	17:28 48.8	39° 50.6'	140° 58.2'	8.7	3.9D	S1	IV 期	7年1ヶ月
18	1998	08 28	09:23 43.5	39° 50.8'	140° 54.9'	8.3	3.2D	S1		
19	1998	09 03	46:58 17.2	39° 48.4'	140° 54.1'	7.9	6.2D	S2		
20	1998	09 03	17:10 21.0	39° 45.5'	140° 53.5'	8.3	4.3D	S2		
21	1998	09 03	17:18 48.0	39° 48.9'	140° 52.8'	8.9	3.4D	S2		
22	1998	09 03	17:43 56.2	39° 49.6'	140° 52.8'	0.0	3.0V	S2		
23	1998	09 03	21:25 36.3	39° 46.2'	140° 56.7'	8.7	4.0D	S2		
24	1998	09 03	21:57 37.0	39° 48.2'	140° 55.2'	9.4	3.3D	S2		
25	1999	05 22	19:09 04.4	39° 50.3'	140° 56.8'	7.5	4.0D	S1		
26	1999	06 13	17:59 23.9	39° 49.5'	140° 54.9'	4.0	3.3V	S2		
27	2000	03 07	17:10 03.5	39° 50.9'	140° 57.4'	3.2	4.3D	S1		
28	2002	05 04	08:24 27.1	39° 50.4'	140° 50.8'	3.0	3.2V	S2		
29	2003	05 24	07:51 36.2	39° 50.3'	140° 51.3'	2.9	3.2V	S2		
30	2004	07 09	19:54 12.9	39° 54.9'	141° 02.0'	9.2	4.4D	S3		

(2) 噴気記録

岩手山の噴気記録には、1919(大正8)年大地獄谷で発生した水蒸気噴火以降、1934～1935年と1959～1974年の2回の東岩手山の噴気活動がある(土井, 2000ほか)。この後、1998年イベントにおける1999年以降の西岩手山の噴気活動がある。

そこで、1919年以降に公表された論文、報告、気象庁の測定記録や「岩手日報」などの新聞記事から、噴気温度・地温の測定値(測定条件を含む)を収集して温度変化図として図2 Aにまとめた。

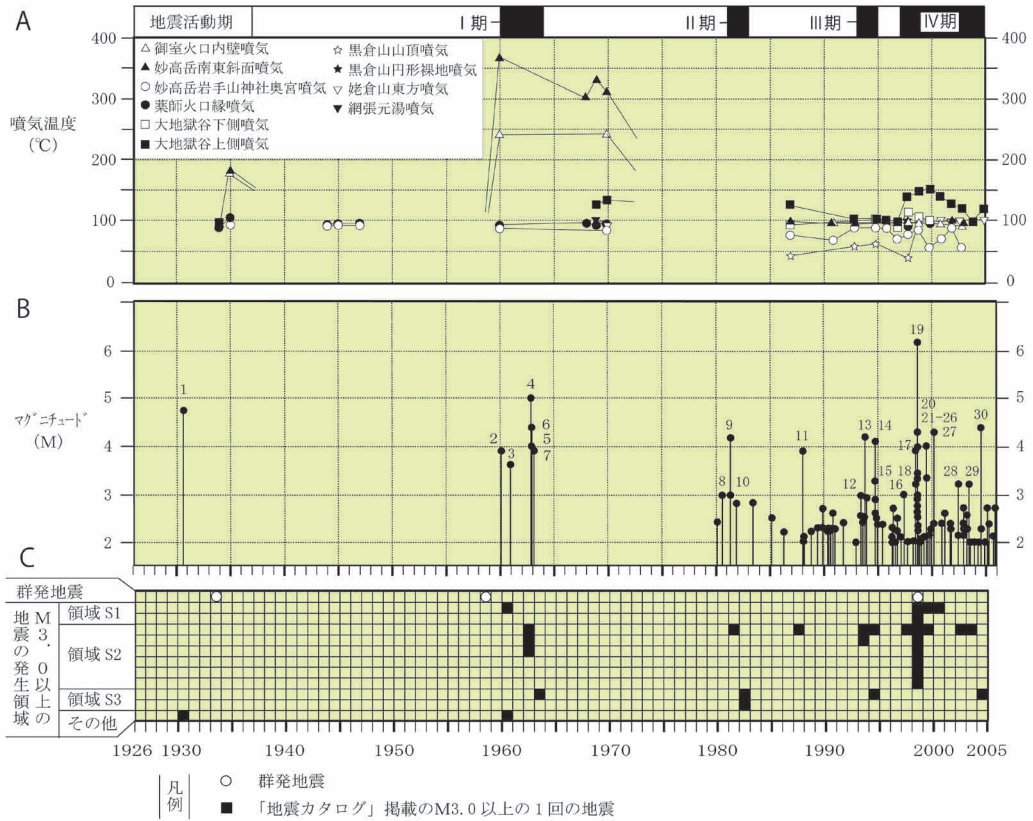


図2 1926年から2005年に岩手山周辺域で発生したM3.0以上の地震と噴気活動の関係

A：岩手山の10地点の噴気温度の変化。温度測定値は平林ほか（2005）、岩手山測候所（1944,1946,1947）、気象庁地震課（1972）、関根（2005）、鈴木ほか（1970）等による。B：M2.0以上の地震のマグニチュードの時間変化。M3.0以上の地震に表1の地震番号を付けている。C：群発地震の発生期とM3.0以上の地震の発生領域の時間変化。

### 3. 地震記録の解析

本章で、気象庁カタログに掲載されたM3.0以上の地震の活動期、分布、発生順序、最大地震の発生場所と大きさ等、地震の特徴を述べる。

#### (1) 地震活動期の区分

図2Bにカタログに掲載された検討範囲内の地震マグニチュードの時間変化を示す。1997年（地震no.16；表1）以降に発生したM3.0以上の地震の発生間隔は、1例を除いて約1年以内である。地震間隔が約1年以上であったのは、地震no.27とno.28の間の約2年2ヶ月である。しかし、これらの地震の間には、図2BのようにM3.0未満の地震が多数発生しており、2つ

の地震が一連の地震活動の中で発生していることがわかる。

そこで、約1年以内に発生したM3.0以上の地震は一連の地震活動と考えると、30回の地震は、Ⅰ期（1960年2月～1963年2月）、Ⅱ期（1981年8月～1982年4月）、Ⅲ期（1993年5月～1994年10月）およびⅣ期（1997年6月～2004年7月）の地震群と、2回の単発地震に分けられる（表1）。

4つの地震活動期と岩手山の噴気温度変化の関係をみると、Ⅰ期とⅣ期は噴気温度が上昇した時期にあたり、Ⅱ期とⅢ期は噴気温度が低い静穏な時期にあたる（図2A）。ただし、1934年7月から1935年3月には東岩手山の山頂薬師火口で噴気活動が活発になったが、これに先行して1933年に地震が群発し、1934年9月には盛岡市で「ドーンという爆音」をとまなう微震が合計4回観測されている（中田, 1935）。しかし、これらの地震はカタログに掲載されていない。また、1959年にはじまる薬師火口の噴気活動に先立っても地震が群発した（諏訪, 1968）。この地震もまたカタログに掲載されていない。しかし、これらの地震活動は、噴気の出現に先立つ地震であり、地震と噴気発生の関係を解析するうえできわめて重要である。そこで図2Cには噴気活動に先行して発生した群発地震を合わせて記載している。

## (2) 地震の分布

Ⅳ期の地震は、東北大学が設置した高密度で高精度の地震観測網（植木, 2006）により、詳細に震源決定されている（例えば、田中ほか, 1999；Tanaka et al., 2002）。これによると、岩手山の火山活動に関係する地震は、岩手山とその周辺のごく限られた地域で発生している。Ⅰ～Ⅲ期の地震もまた、Ⅳ期の地震とほぼ同じ地域で発生しているのが明らかである（図1）。

そこで、岩手山とその周辺域で発生する地震の発生領域をS1からS3に3分する。領域S1の地震は、岩手山（岩手山頂から西方大松倉山まで）の山体下（海面下8km以浅）の地震、領域S2の地震は、岩手山頂の南西8～15km、高倉山付近から葛根田溪谷までの海面下16km以浅の地震、領域S3の地震は、岩手山頂の北から北東3～10kmの山麓で、海面下11km以浅の地震である（図1）。

このほか、岩手山頂の北西麓と東南東麓に各1回の地震がある（図1）。なお、岩手山北方の七時雨山付近で群発する地震は、Ⅰ～Ⅳ期の地震とは分布が離れており、今回の解析からは除いている。

## (3) 地震の発生順序

Ⅰ期からⅣ期の地震の発生順序をみると、噴気温度が上昇していたⅠ期とⅣ期では、地震は領域S1で発生した後、領域S2、領域S3の順に発生している（図3）。一方、噴気温度が低く静穏なⅡ期では、領域S2から領域S3の順に、Ⅲ期では領域S2から領域S3の順に発生した後、再び領域S2で発生している（図3）。

これらの地震発生順序をまとめると表2のようになり、4つの時期の地震は、領域S2で発生した後、領域S3に移動して活動を終了する傾向がある。

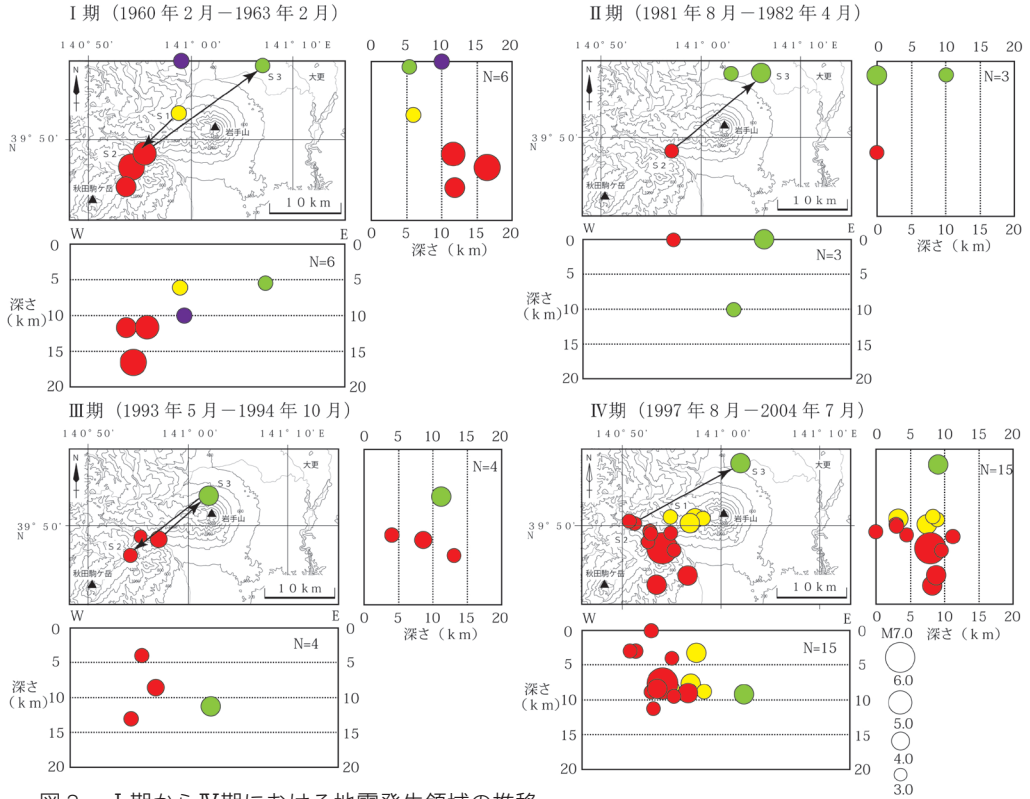


図3 I期からIV期における地震発生領域の推移

各期における末期の地震の発生順序を矢印で示す。地震は領域S1, S2, S3の順に発生する傾向がある。

表2 岩手山周辺の地震が発生する領域の順番

地震発生の有無を○と×で示す。矢印は地震が発生する領域の順番を、両矢印は地震が領域間を行き来して発生したことを示す。

地震活動期		地震が発生する領域の順番				
区分	期間	領域S1		領域S2		領域S3
I期	1960年2月－1963年2月	○	→	○	→	○
II期	1981年8月－1982年4月	×		○	→	○
III期	1993年5月－1994年10月	×		○	←	○
IV期	1997年8月－2004年7月	○	↔	○	→	○

(4) 最大地震の発生場所と大きさ

地震活動期の最大地震は領域S2または領域S3で発生している。噴気温度が上昇して活発な噴気活動をともなうI期とIV期の最大地震は、いずれも領域S2で発生しており、Mはそれぞれ5.0 (no.4) と6.2 (no.19) で、余震をともなっている。no.19の岩手県内陸北部の地震で、地表地震断層（篠崎断層；越谷ほか，1998）が出現した。この断層は雫石盆地西縁の活断層北部が変位したと考えられる（土井ほか，1998；後述）。

これに対して、噴気温度が低く静穏なⅡ期とⅢ期の最大地震は、領域S2または領域S3で発生し、Mはともに4.2 (no.9とno.13)である。このように噴気活動が活発な時期の最大地震は、噴気活動が静穏な時期のそれと比較してMが大きい。

#### 4. 考察

本章で、Ⅰ期とⅣ期の地震－火山活動の類似と、両期の活動が岩手山マグマの浅所貫入と葛根田花崗岩マグマの膨張によることを考察する。また、地震発生には岩手山南西麓（領域S2）と北麓（領域S3）の西傾斜の逆断層が関係していること、岩手山の1732年噴火時の地震も同様の活動と考えられることを考察する。

##### 4-1 Ⅰ期とⅣ期の地震－火山活動の類似とマグマの浅所貫入

Ⅰ期とⅣ期の地震はともに岩手山の噴気温度が上昇した時期の地震である。Ⅰ期は、カタログにはない地震が1958年に群発した後、1959年から東岩手山頂薬師火口で噴気活発になり（図4）、1960年からM3.0以上の地震が発生するようになった。一方、Ⅳ期では、1997年からM3.0以上の地震が発生し、1998年の活発な地震活動と地殻変動の後、1999年から西

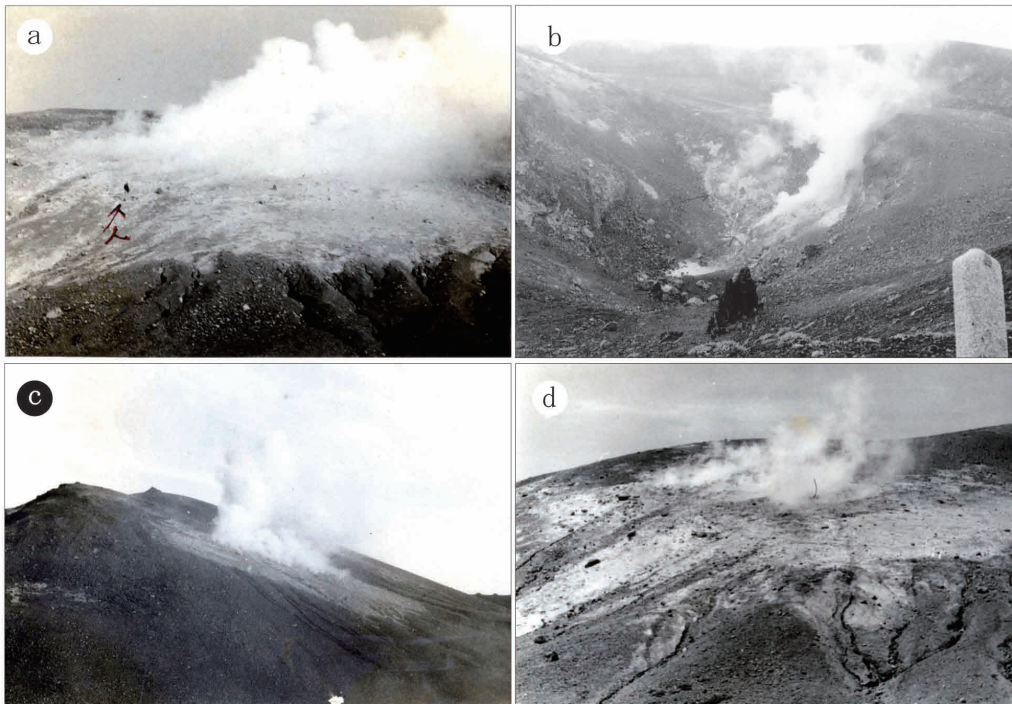


図4 Ⅰ期の噴気活動

a : 東岩手山薬師火口内妙高岳南東斜面の噴気, 「人」の文字の記入がある (1962年撮影)。b : 御室火口の噴気 (1962年撮影)。c : 妙高岳南東斜面の噴気 (1962年撮影)。d : 妙高岳南東斜面の噴気 (1970年撮影)。1962年撮影のcと比較して、噴気は弱まっている。写真はいずれも盛岡地方気象台撮影。



図5 IV期の噴気活動

- a : 溶融硫黄を噴出する大地獄谷噴気。その周辺は黄色を呈する (1998年岩手県撮影)。
- b : 姥倉山北斜面の林中に発生した噴気。その周辺で樹木は枯死している (2004年土井宣夫撮影)。
- c : 黒倉山頂からあがる高さ 300m 以上の噴気 (2000年土井小枝子撮影)。
- d : 写真cの黒倉山頂の噴気の拡大 (2000年土井小枝子撮影)。

岩手山大地獄谷とその西方黒倉山－姥倉山稜線部の東西約2kmわたる範囲で噴気は始まり、2000～2001年にもっとも活発化した(土井ほか, 2002; 図5)。

また、I期とIV期の地震は、領域S1(火山体下)の地震の後、領域S2から領域S3へ発生領域が移って、それぞれ3年、7年1ヶ月の地震活動を終えた。両期とも最大の地震(M5.0とM6.2)は領域S2で発生し、余震をともなっている。このようにI期とIV期の地震活動は、噴気が出現した場所は異なるものの、活動経緯はよく類似している。

IV期の領域S1の地震は、東北大学による高精度・多項目で高密度の火山観測と解析によって、1998年2月以降、東岩手山下に上昇した板状マグマ(岩脈)が、西方の山体浅所(海面下2kmからそれ以深)に貫入した時に生じた火山性地震であることが明らかになっている(Miura et al., 2000; Tanaka et al., 2002; Sato and Hamaguchi, 2006など)。西岩手山の噴気活動は、この岩脈を熱源として約1年後(1999年3月頃)に出現したものである。

一方、I期の地震活動が始まった1960年頃の東岩手山薬師火口内の噴気活動は、360℃以上の温度を示す活発な状態にあり(図2A)、塩化水素ガスをともなう噴気から塩化アンモニウムの昇華物が多量に生成していた(野口ほか, 1961)。このような高温の火山ガスをともなう活発な噴気活動は、1958年の群発地震の後に出現しており、東岩手山浅所にマグマが貫



入して生じたと推定される。したがって、IV期の地震活動と噴気との活動経緯の類似から、1960年に始まるI期の領域S1の地震は火山性地震と考えられる。

#### 4-2 領域S2の構造性地震と火山活動の関係

領域S2の地震はI～IV期にそれぞれ発生している。ここでは領域S2における地震活動が顕著なI期とIV期の地震を考察する。

I期とIV期では領域S2で最大地震が発生している。本震と余震を含めた震源の深さの下限は、東から西に向かって深くなる傾向がある(図1)。

IV期の最大地震no.19(M6.2)は、震源の深さが7.9km、発震機構は圧縮軸が東西の逆断層型である(気象庁)。西根断層群(雫石盆地西縁断層群)は南北走向、西傾斜の逆断層で、活断層として知られていた(図6)。地震時にはこの断層の北部が変位して地表に篠崎地震断層

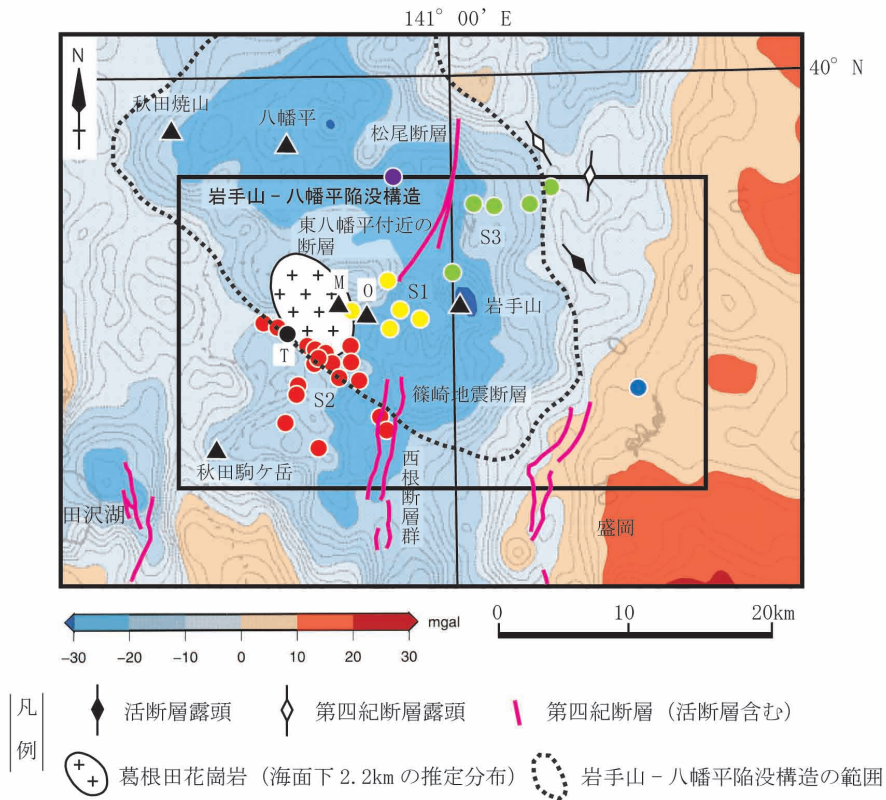


図6 岩手山周辺の地震発生領域のブーゲー異常と地質構造

ブーゲー異常図は Yokoyama et al. (2011) による。仮定密度は  $2.65\text{g/cm}^3$ 、重力線の間隔は 2mgal、波長100km以下の異常を示す。活断層を含む第四紀断層は、活断層研究会 (1991), 土井 (2000), 中田・今泉 (2002) より編集。断層露頭は大上・土井 (1978), 土井 (2000) による。断層露頭の凡例の線は断層の走向を示す。葛根田花崗岩の分布は Doi et al. (2000) による。地質構造の記載は本文参照。O: 大松倉山, M: 三ツ石山, T: 滝ノ上温泉

が出現した（越谷ほか，1998；土井ほか，1998）。

一方，I期の最大地震no.4（M5.0）の震源は，IV期の最大地震no.19の震源に近く，その西側のやや深い地点（深さ16.5km）にある。西根断層群が西傾斜であることを考慮すると，この地震もまた西根断層群北部の断層深部が変位したと考えられる。なお，この最大地震と余震は，地震動が激しかった秋田県乳頭温泉郷の名称をとって「乳頭地震」（山下ほか，1964）とよばれている。

IV期の最大地震no.19の発生に関して，Nishimura et al.（2001）は，干渉SARで検出された岩手山西方の広域的な隆起にもとづいて，三ツ石山付近の地下に推定される火山性力源の膨張による応力が西根断層群に加わり，断層変位が発生したとした。これに対してMiura et al.（2000）と植木・三浦（2002）は，岩手山西方の山岳地帯を除く地域に展開した稠密GPS観測で検出された変位ベクトルの解析にもとづいて，大松倉山付近の地下に推定される火山性力源の膨張と西根断層群の変位は無関係とした。

このように相反した結論が導かれたのは，地殻変動の観測範囲が異なることにより，火山性力源の推定深度に違いが生じたことが主な原因である（植木・三浦，2002）。すなわち，Miura et al.（2000）とNishimura et al.（2001）による地殻変動像を比較すると，干渉SARを用いたNishimura et al.（2001）では，西方に広がる山岳地帯の地殻変動が検出されていることから，茂木モデルによる解析で力源が深く計算されたと予想される。火山性力源の解析深度は，Nishimura et al.（2001）が海面下7.9km，Miura et al.（2000）が海面下3～4kmである。火山性力源の深さと水平位置の違いが，力源の膨張で生じる応力が西根断層群に与える効果を相反した値にしているのである。

ここで，火山性力源の伏在が推定される三ツ石山から大松倉山付近の地下地質をみると，隆起を引き起こした火山性力源は，滝ノ上温泉から三ツ石山，大松倉山付近の地下に伏在する第四紀の葛根田花崗岩（主構成岩はトーナル岩と花崗閃緑岩）と考えられる（Doi et al.,1998,2000；図6）。滝ノ上温泉（高度660m）の地下約2.2km以深で分布が確認された葛根田花崗岩の岩体温度は，海面下約3.0km（地表下3.7km）で500～510℃，岩体内の地温勾配は約32℃/100mである（Ikeuchi et al.,1998）。この地温勾配が維持された場合，海面下約4.3km（地表下約5km）の温度は800℃以上で，湿潤状態の花崗岩の溶融温度に達すると推定される（Doi et al.,1998）。

一般に，高温領域では地温勾配が低下する傾向にあることを考慮すると，葛根田花崗岩の完全な溶融状態（マグマ）が出現するのは，海面下5kmないしそれ以深と推定される。つまり，三ツ石山から大松倉山付近の地下にマグマが出現し始める深度は，Miura et al.（2000）とNishimura et al.（2001）で解析された2つの力源深度の間の深度と推定される。

一般に，茂木モデルで解析された力源がマグマ溜りのどこにあるかは明らかでないが，マグマ溜りの上部に相当するらしいと考えられている（中村，1989）。今これが正しいとすると，想定される力源は海面下5km以深となる。このことは，Nishimura et al.（2001）の力源深度がより妥当であることを示唆する。

このように，火山性力源（葛根田花崗岩マグマ）と西根断層群北部の変位が関係している場合，西根断層群北部で発生したI期の最大地震もまた，三ツ石山付近の地下に伏在する葛根田花崗岩マグマの膨張に起因して発生した可能性が高い。

また，土井ほか（1998）によれば，西根断層群の垂直変位量は，IV期の最大地震no.19（M6.2）

時に出現した篠崎地震断層の南方で最大で、変位量はこの地点から北（岩手山）に向かって連続的に小さくなる。篠崎地震断層が現れた断層部分の変位量が特に大きいわけではない。したがって、西根断層群北部は、西根断層群の断層セグメントに属するとともに、岩手山マグマと葛根田花崗岩マグマの活動に関係してM5～6クラスの地震を繰り返し引き起こしてきた「火山性活断層」の性質をも有する断層セグメントと考えられる。

#### 4-3 領域S3の構造性地震と火山活動の関係

I～IV期の地震が発生している領域S3の震源は、東岩手山頂の北～北東3～13km、海面下11km以浅にある。また、震源の深さの下限は東から西に深くなる傾向がある（図1）。地震no.30（表1）の発震機構は、東西方向の圧縮軸を有する逆断層型である（気象庁）。

岩手山北麓の活断層は、平館盆地西縁に推定される松尾断層と、その南方の東八幡平付近の断層がある（活断層研究会、1991）。このほか第四系を変位させる2つの断層露頭（土井、2000）と岩手山東麓の活断層露頭（大上・土井、1978）が確認されている（図6）。これらの断層はいずれも西傾斜の逆断層である。

図6によると、岩手山付近には、N40～45°W方向に長辺を有する長方形の陥没構造が存在する。この陥没構造（岩手山－八幡平陥没構造と仮称）の大きさは、長辺約35km、短辺約20kmで、秋田・岩手・宮城県境付近の三途川カルデラの大きさ（N50°Wにのびた約40km×20kmの陥没構造）に匹敵する。2つの陥没構造の陥没量は、周辺地域の重力値との差で見ると、ともに20～30mgal相当である。岩手山－八幡平陥没構造の中には岩手山と八幡平があり、縁辺部には秋田焼山と葛根田花崗岩が位置する。岩手山－八幡平陥没構造の東縁部は、南北に近い方向の境界を有する。また、この東縁境界の東側を南流する北上川に沿って、重力傾度の大きい地帯が南北に並走している。岩手山－八幡平陥没構造の形成史については今後の検討が必要であるが、本地域の地質状況から、新第三紀中新世から第四紀に形成された複数の陥没構造が連なって構成されているようにみえる。

領域S3は、岩手山－八幡平陥没構造東縁の南北境界付近の深部にあたり、ここに陥没を引き起こした西傾斜の正断層群が存在すると推定される。この推定正断層群の東側にあたる地表では、活断層を含む第四紀断層露頭が確認されており、いずれの断層も西傾斜の逆断層である。また、これらの断層の走向は、露頭地点における等重力線の方角とほぼ平行する（図6）。これらのことから、日本海拡大時の引張応力場で形成された推定正断層群の一部が、鮮新世以降の圧縮応力場への転換によるテクトニックインバージョン（tectonic inversion）によって、第四紀に逆断層として変位し、断層の一部が地表に到達していると考えられる。このような事例は、岩手山が位置する北上低地帯の南部においても、数地域で確認されている（例えば、Kato et al., 2004）。

一方、領域S1の岩手山頂の東1.5km付近の海面下5～12kmでは、“やや深部”の低周波地震が発生している（Nakamichi et al., 2002）。この低周波地震は、垂直パイプ状の震源分布を示し、震源が上方へ移動することがあることや発震機構から、震源域に複雑なマグマ系が存在することを示唆している（Nakamichi et al., 2003）。この低周波地震の震源は、領域S3の地震の震源とほぼ同じ深度範囲にあり、両者の水平距離は3～10kmである。したがって、東岩手山下のマグマ溜りの膨張と収縮で生じる局地的な応力場と、領域S3の地震すなわち西傾斜の逆断層群との関係が注目される。

ところで、東岩手山では、江戸時代の1686（貞享3）年と1732（享保16-17）年にマグマ噴火が発生している。このうち1732年噴火は、東岩手山の北東山腹に生じた長さ約700mの噴火割れ目に5個の火口が開き、「焼走り溶岩」を噴出した側噴火である（土井，2000）。この噴火時に発生した地震は、江戸時代の文書『花印』に記録されている（文部省地震予防評議会編，1941；細井ほか，1993；伊藤，1998）。『花印』は享保16年の項に次のように記している。

「一 十二月二十三日夕より岩鷲山震動 同二十五日丑刻より御山鳴事夥也 山北之方二十里斗崩れ候由 依之為見分別当大勝寺御徒目付古木庄左エ門被遣  
一 同二十三日山鳴 二十五日火見ゆる 二十七日より二十九日迄大火ニ成 後段々消る 正月三日四日迄火煙見ゆる 田頭平笠村震動夥敷百姓逃去也 震動する事都合五十三日<sup>1)</sup> 子ノ八月十六日迄御山近処へ行ハ煙立見ゆる」

この記録によれば、溶岩噴出後に発生した地震は、北東山麓の旧田頭平笠村の住民が避難行動を起こすほど強い地震動をとまっていた。地震の震源は平笠村のある岩手山北東麓と推定され、領域S3の地震と考えられる。また、この地震は噴火から「都合53日」続く活発な活動であった。

領域S3におけるⅠ・Ⅳ期の地震と1732年噴火時の地震を比較すると、1732年噴火時の地震は大きく、発生日数も長い。1732年噴火で噴出したマグマ量は $6.4 \sim 10 \times 10^6 \text{m}^3$ である。この側噴火のマグマ溜りの位置は不明であるが、いま東岩手山の山体付近の地下にあると考えると、噴火前後のマグマ溜り付近の応力変化は大きく、近接した領域S3の西傾斜の逆断層に応力増加をもたらし、活発な地震活動を引き起こしたと推定される。

## 5. まとめ

岩手山の1998年イベントで発生した事象のメカニズムを明らかにするため、気象庁「地震カタログ」に掲載され、1926年から2005年に岩手山周辺域で発生したM3.0以上の地震と岩手山の噴気活動を合わせて解析した。その結果、地震の活動期は4期（Ⅰ～Ⅳ期）に、発生域は3領域（領域S1～S3）に区分され、次の事実が確認されて、それらの発生メカニズムが考察された。

①Ⅰ期（1960～1963年）とⅣ期（1997～2004年）の地震活動と噴気の発生状況は良く類似している。地震は岩手山下（領域S1）で発生した後、岩手山南西麓（領域S2）、岩手山北麓（領域S3）へと推移し、領域S2で最大地震が発生した。噴気の発生に先行して群発地震が発生しており、Ⅳ期同様、Ⅰ期にも東岩手山の浅所にマグマが貫入したと推定された。

②Ⅰ期とⅣ期に領域S2で最大地震（それぞれM5.0とM6.2）が発生した。これらの地震は、葛根田花崗岩マグマの膨張で生じた局地的な応力場が西根断層群北部（西傾斜の逆断層）に応力増加をもたらして発生したと推定された。

---

1) 文部省地震予防評議会編（1941）、細井ほか（1993）、伊藤（1998）は、『花印』の該当記述を「震動する事都合53日」と判読しているが、原文は「震動する事都合五十三日」である。

③ I期～IV期の地震活動は、活動末期に領域S3へ推移して終了する傾向が認められた。領域S3の地震は、岩手山北麓の西傾斜の逆断層の変位を示すもので、江戸時代1732年側噴火（「焼走り溶岩」噴出）時の領域S3の活発な地震も関連がある活動と推定された。

## 謝 辞

本研究において、盛岡地方気象台、岩手県総合防災室、土井小枝子氏（八幡平市在住）には、撮影した写真の使用許可を頂いた。浜口博之東北大学名誉教授、植木貞人元東北大学准教授、齋藤徳美岩手大学名誉教授には地震活動について討論頂いた。遠藤匡俊岩手大学教授、菅野文夫岩手大学教授には古文書の判読結果について閲読頂いた。2名の匿名の査読者の指摘は原稿の改善に役立った。これらの方々に感謝致します。

## 引用文献

- 土井宣夫・越谷 信・本間健一郎（1998）岩手県雫石盆地北－西縁部の地質と活断層群の垂直変位量．活断層研究，no.17，31-42.
- Doi, N., Kato, O., Ikeuchi, K., Komatsu, R., Miyazaki, S., Akaku, K. and Uchida, T. (1998) Genesis of the plutonic-hydrothermal system around Quaternary granite in the Kakkonda geothermal system, Japan. *Geothermics*, vol.27, no.5/6, 663-690.
- 土井宣夫（2000）岩手山の地質－火山灰が語る噴火史－．滝沢村文化財調査報告書，第32集，234p.
- Doi, N., Shigehara, S., Ikeuchi, K., Kato, O., Takahashi, M., Ominato, T., Koide, K. and Tosha, T. (2000) Seismic activity in the Kakkonda geothermal system characterized by Quaternary Kakkonda granite, Japan, *Proceedings of World Geothermal Congress 2000*, 1077-1082.
- 土井宣夫・齋藤徳美・土井小枝子・野田 賢・越谷 信・沼宮内 忠・小原千里（2002）岩手火山の1999年からの噴気活動と東西性開口き裂群．月刊地球，号外，no.39，38-44.
- 土井宣夫・菅野正人（2006）岩手山周辺の地震発生の規則性と噴気活動との相関－1926年以降の地震記録にもとづく検討－．日本火山学会2006年度秋季大会講演予稿集，p.163.
- 浜口博之（2006）平成期の火山活動．1998年岩手山噴火危機対応の記録，齋藤徳美監修・土井宣夫ほか編，岩手県・国土交通省東北地方整備局岩手河川国道事務所，391-401.
- 平林順一・野上健治・大場 武（2005）火山ガス．1998年岩手山噴火危機対応の記録，齋藤徳美監修・土井宣夫ほか編，岩手県・国土交通省東北地方整備局岩手河川国道事務所，430-433.
- 細井 計・伊藤順一・高橋清明（1993）岩手火山の享保16-17（1732）年における噴火活動に関する新史料の発見とその意義－盛岡藩「雑書」より－．岩手大学教育学部研究年報，vol.53，1-8.
- Ikeuchi, K., Doi, N., Sakagawa, Y., Kamenosono, H. and Uchida, T. (1998) High-temperature measurements in well WD-1a and the thermal structure of the Kakkonda geothermal system, Japan. *Geothermics*, vol.27, no.5/6, 591-607.
- 伊藤順一（1998）文献史料に基づく，岩手火山における江戸時代の噴火活動史．火山，vol.43，no.6，467-481.

岩手山測候所 (1944) 気象月報原簿.

岩手山測候所 (1946) 気象月報原簿.

岩手山測候所 (1947) 気象月報原簿.

Kato, N., Sato, H., Imaizumi, T., Ikeda, Y., Okada, S., and Kasahara, K. (2004) Seismic reflection profiling across the source fault of the 2003 Northern Miyagi earthquake (Mj6.4), NE Japan: basin inversion of Miocene back-arc rift. *Earth Planets Space*, vol.56, 1369-1374.

活断層研究会 (1991) 新編 日本の活断層—分布図と資料. 東京: 東京大学出版会, 437p.

気象庁地震課 (1972) 岩手火山の調査報告 (1970). 験震時報, vol.37, 55-71.

越谷 信・大石雅之・野田 賢・奥寺勇樹・加藤貴史・滝口真一・三田地喜之・嶋村真紀・斎藤徳美・矢内桂三・平野信一・澤 祥・福留高明・佐藤比呂志・大槻憲四郎・長濱裕幸・中村教博・土井宣夫・東郷正美・粟田泰夫・吉岡敏和 (1998) 1998年9月3日岩手県内陸北部の地震に伴う地震断層. 活断層研究, no.17, 9-20.

中村一明 (1989) 火山とプレートテクトニクス. 東京: 東京大学出版会, 323p.

中田良雄 (1935) 岩手山異常報告. 験震時報, vol.8, no.2・3, 147-148.

Miura, S., Ueki, S., Sato, T., Tachibana, K. and Hamaguchi, H. (2000) Crustal deformation associated with the 1998 seismo-volcanic crisis of Iwate Volcano, Northeastern Japan, as observed by a dense GPS network, *Earth Planets Space*, vol.52, 1003-1008.

文部省震災予防評議会編 (1941) 増訂大日本地震史料. 東京: 鳴鳳社 (1975年復刻版), vol.2, 754p.

Nakamichi, H., Tanaka, S. and Hamaguchi, H. (2002) Fine S wave velocity structure beneath Iwate volcano, northeastern Japan, as derived from receiver functions and travel times, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol.116, 235-255.

Nakamichi, H., Hamaguchi, H., Tanaka, S., Ueki, S., Nishimura, T. and Hasegawa, A. (2003) Source mechanisms of deep and intermediate-depth low-frequency earthquakes beneath Iwate volcano, northeastern Japan, *Geophysical Journal International*, vol.154, 811-828.

中田 高・今泉俊文編 (2002) 活断層詳細デジタルマップ. 東京: 東京大学出版会, 60p.

Nishimura, T., Fujiwara, S., Murakami, M., Tobita, M., Nakagawa, H., Sagiya, T. and Tada, T. (2001) The M6.1 earthquake triggered by volcanic inflation of Iwate volcano, northern Japan, observed by satellite radar interferometry, *Geophysical Research Letters*, vol.28, 635-638.

野口喜三雄・上野精一・一国雅巳・後藤達夫 (1961) 岩手山火山山頂の噴気の化学成分. 火山, vol.15, 163-168.

大上和良・土井宣夫 (1978) 岩手山東麓部で発見された活断層について. 岩手大学工学部研究報告, vol.31, 81-85.

Sato, M. and Hamaguchi, H. (2006) Weak long-lived ground deformation related to Iwate volcanism revealed by Bayesian decomposition of strain, tilt and positioning data. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol.155, 244-262.

関根一男 (2005) 気象庁先第管区気象台. 1998年岩手山噴火危機対応の記録, 斎藤徳美監修・土井宣夫ほか編, 岩手県・国土交通省東北地方整備局岩手河川国道事務所, 157-170.

諏訪 彰 (1968) 岩手火山の現状. 岩手日報, 1968年11月27日朝刊.

鈴木二郎・笠原 稔・寺田幸次・井原直人 (1970) 岩手火山群中の噴気地における地温測定について (その1). 東北地方災害科学研究報告 (昭和44年度), 29-39.

## 岩手火山周辺域の1926年から2005年の地震－火山活動

- 田中 聡・中道治久・浜口博之・植木真人 (1999) 1998年の岩手山における地震活動. 月刊地球, vol.21, no.5, 273-279.
- Tanaka, S., Hamaguchi, H., Ueki, S., Sato, M., Nakamichi, H. (2002) Migration of seismic activity during the 1998 volcanic unrest at Iwate volcano, northeastern Japan, with reference to P and S wave velocity anomaly and crustal deformation, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol.113, 399-414.
- 植木真人・三浦 哲 (2002) 1998年岩手山周辺の火山・地震活動. 地学雑誌, vol.111, no.2, 154-165.
- 植木禎人 (2006) 国立大学法人東北大学大学院理学研究科地震・噴火予知研究観測センター. 1998年岩手山噴火危機対応の記録, 齋藤徳美監修・土井宣夫ほか編, 岩手県・国土交通省東北地方整備局岩手河川国道事務所, 203-209.
- 海野徳仁・岡田知己・中村綾子・中島淳一・佐藤俊也・堀 修一郎・河野俊夫・仁田交市・植木真人・松澤 暢・長谷川 昭・浜口博之 (1998) 1998年9月3日岩手県雫石町に発生した地震 (M6.1) の余震分布. 活断層研究, no.17, 1-8.
- Yamamoto, A., R., Shichi and T. Kudo (2011) Gravity measurements and database in Japan, gravity database of Japan (CD-ROM) . Earth Watch Safety Net Research Center, Chubu University, Special Publication, No.1.
- 山下四郎・加納 博・野越三郎 (1964) 乳頭地震について. 秋田大学鉱山学部地下資源開発研究所報告, no.29, 42-48.

土井宣夫・菅野正人

## Summary

Seismo-volcanic activity from 1926 to 2005 in and around Iwate volcano, northeast Japan

Nobuo Doi\* and Masato Sugeno\*\*

\*The Faculty of Education, Iwate University,

\*\*The Fukushima Local Meteorological Observatory

Seismo-volcanic activity from 1926 to 2005, in and around Iwate volcano, was analyzed to clarify the mechanisms of the 1998 unrest event in the volcano. The thirty earthquakes of magnitude 3.0 and over, published in the Seismological Bulletin of Japan by the Japan Meteorological Agency, were divided into four periods and three distribution ranges. It is found out that the seismo-volcanic activities in 1960-1963 (Period I) and 1997-2004 (Period IV) are resemble each other in the process of seismicity and fumarolic activity. It was estimated that these events were caused by the magma intrusion into the shallow vent of east-Iwate volcano in 1958 and west-Iwate volcano in 1998. The largest earthquakes in 1962 and 1998, which were occurred by the slips of the active Nishine faults in the southwest flank of the volcano, were also estimated to be triggered by the inflation of the Kakkonda granite magma. The earthquakes in the northern flank of the volcano show the slips of reverse faults dipping toward the west.