

日本火山学会 第21回公開講座

日本火山学会 2014年 秋季大会
一般公開イベント

後援：福岡県教育委員会
福岡市教育委員会
日本技術士会九州本部

九州の火山と地熱を知ろう!



もくじ

1. 九州の火山：

カルデラ火山の壮大な景色とストーリー

(小林哲夫) -----1

2. 火山のエネルギー：地熱発電の現状と展望

(野田徹郎) -----24

3. 九州の火山と地熱を知ろう！

『工作ワークショップ』の前に(^^) /

(吉川美由紀) -----45

1. 九州の火山： カルデラ火山の壮大な景色とストーリー

小林哲夫（鹿児島大学・教授）

1. 九州の火山とカルデラの分布

九州の北部には北東－南西方向に火山が並んでいます。鶴見岳・伽藍岳^{がらん}、由布岳、九重山、阿蘇山^{あそ}、雲仙岳などです。また阿蘇山から南方には霧島山、桜島、開聞岳、薩摩硫黄島^{さつま}、口永良部島^{くちのえらぶ}、口之島、中之島、諏訪之瀬島^{すわのせ}等が連なっており、その他にも徳之島西方の硫黄島や沖縄の西表島^{いりおもて}の北北東の海底にも火山が存在します。

このうち最も活動的な火山は桜島です。桜島は名前のおり以前は島でしたが、ちょうど100年前の大正噴火（1914年）で流れだした大量の溶岩が海峡を埋め立てて、大隅半島^{おおすみはんとう}と陸つづきになってしまいました。次に活動的なのは諏訪之瀬島の火山だと思います。2014年10月現在、霧島山の新燃岳は2011年噴火以降、静かな状態が続いていますが、えびの高原の硫黄山付近で地震がおこりだし、噴火の発生が懸念^{けねん}されています。口永良部島の火山でも8月上旬に爆発^{おんたけさん}がありました。9月下旬には御嶽山で噴火がおこり、50名以上の死者が出てしまいました。1991～1995年の雲仙・普賢岳^{ふげん}の火砕流噴火による犠牲者は44名であり、それを上回る人的被害でした。最近は全国の火山で噴火の発生や火山活動の活発化を伝えるニュースが多く、不安になる面がありますが、その反面、火山は美しい自然景観を生み出し、我々を楽しませてくれます。また温

泉，地熱，さらに長期的には貴重な金属資源を私たちにもたらしめています。今日は九州に分布する様々なタイプの火山，特にカルデラ火山の現状と未来について，皆で考えていきたいと思います。

(1) 活火山とは？

活火山の認定は，火山噴火予知連絡会で行われます。たとえば初期のころは噴火記録のある火山，現在も活動中，あるいは活発な噴気活動のある火山を活火山と考え，それ以外を休火山あるいは死火山とみなしていました。しかし1979年に死火山と思われていた御嶽山が噴火したため，この定義を変える必要に迫られました。その後にも定義の変遷がありましたが，2003年に過去1万年以内に噴火したことがある火山は将来も噴火の可能性があるため，活火山と扱うようになりました（図1）。その結果，日本で認定された活火山の数は，100ほどになりました。研究が進めば，活火山の数がもう少し増えると思います。九州～沖縄地域には，19の活火山が存在しています。火山はそれぞれ個性的ですが，みな美しい形をしています。

(2) 活火山の分布

九州の活火山の分布をみると，ある特定の地域に並んでいるように見えます。九州中・北部の火山は，別府－島原^{ちこう}地溝，九州南部の火山は鹿児島地溝という^{かんぼつたい}陥没帯に沿って分布しています。それらの火山をとりまくように，さらに大きな陥没状の地形が見える場所があります（図2）。これは私たちが経験したことのない巨大噴火で出現したカルデラとよばれる地形です。その内部や周辺に存在する活火山は，あたかもカルデラという巨大火山の子供のような存在です。九州のカルデラ地形は，北から阿蘇カルデラ（中岳等の中央火口丘群），南九州

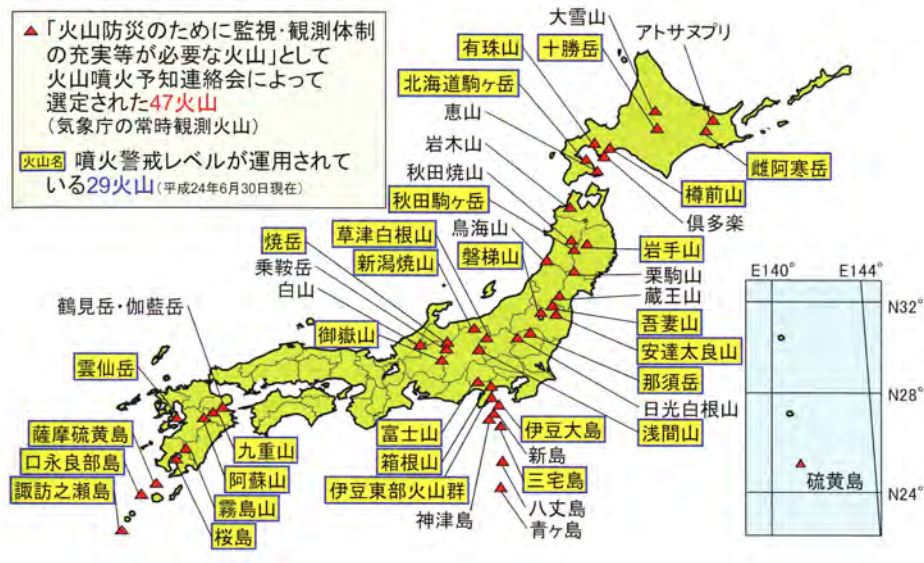


図1 日本の代表的な活火山（気象庁，2013）

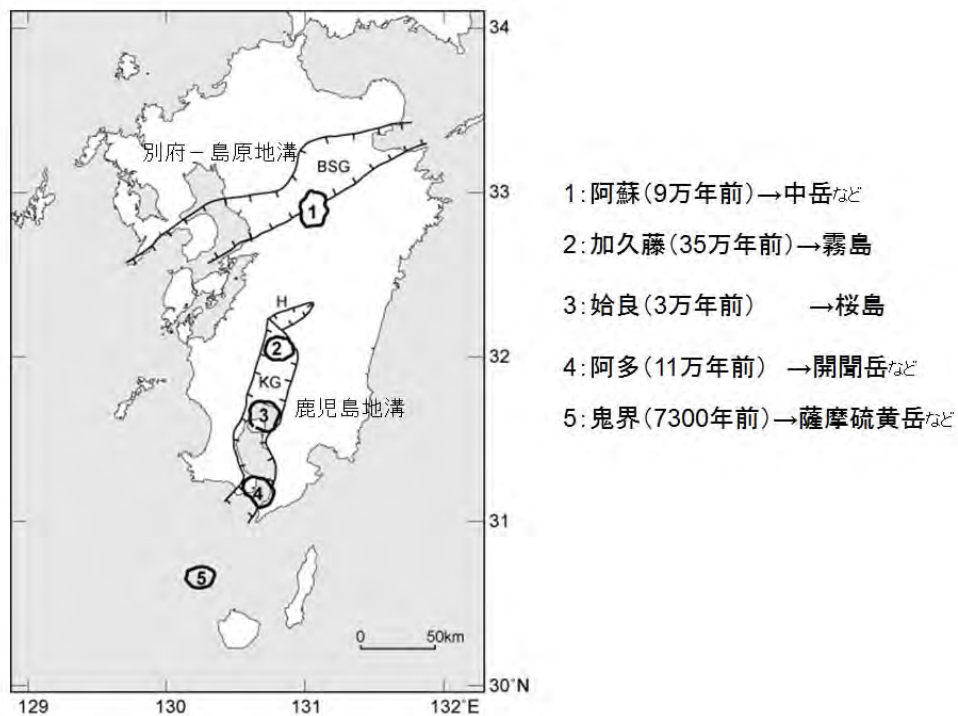


図2 九州の活動的なカルデラ火山の分布と付随する活火山（小林，2014a に加筆）

括弧内の年代は、最後のカルデラ噴火の概略年代

では加久藤カルデラ（霧島火山）、始良カルデラ（桜島）、阿多カルデラ（開聞岳）、鬼界カルデラ（薩摩硫黄岳）等があります。それ以南の南西諸島海域にも海底カルデラが存在しています（図 2）。

2. カルデラとは？

(1) カルデラとは

火山の爆発的噴火でできる火口の大きさは、大きくても直径が 1 km 程度とされています。しかし世界をみわたすと、巨大噴火によってできた直径が 20 km よりも大きなくぼ地が存在します。一般には直径が 4 km 以上の陥没地形をカルデラとよびます。福岡に近いところでは阿蘇カルデラが有名です（図 3）。阿蘇カルデラの内部には平原が広がっており、3つの市町村が存在しています。



図 3 南方から見た阿蘇カルデラの全貌（宮縁育夫氏撮影）

カルデラの周囲には大噴火で噴出した膨大な量のマグマの破片（軽石やその粉）が火砕流となって広がり、谷を埋めるように堆積しています。堆積物が非常に厚い地域では、元の地形が完全に埋め立てられ、広大な火砕流台地が形成されます。多量のマグマが地下から一気に放出されるため、噴火後には大規模な陥没状の地形であるカルデラが出現します。カルデラの内部には水がたまり、カルデラ湖をつくることもあります。またカルデラ噴火の後には、その内部や周辺で新しい火山活動が始まります。

(2) 目撃されたカルデラ噴火

1991年6月中旬にフィリピンのピナツボ (Pinatubo) 火山が大噴火しました (図4)。噴出した火砕流は谷に沿ってすべての方向の山麓に流下し、10~17 kmの遠方まで達しました (図5, 6)。その結果、山頂部は大きく落ち込み、直



図4 フィリピン、ピナツボ火山の火砕流噴火

(1991年6月15日, Punongbayan and Newhall 撮影)

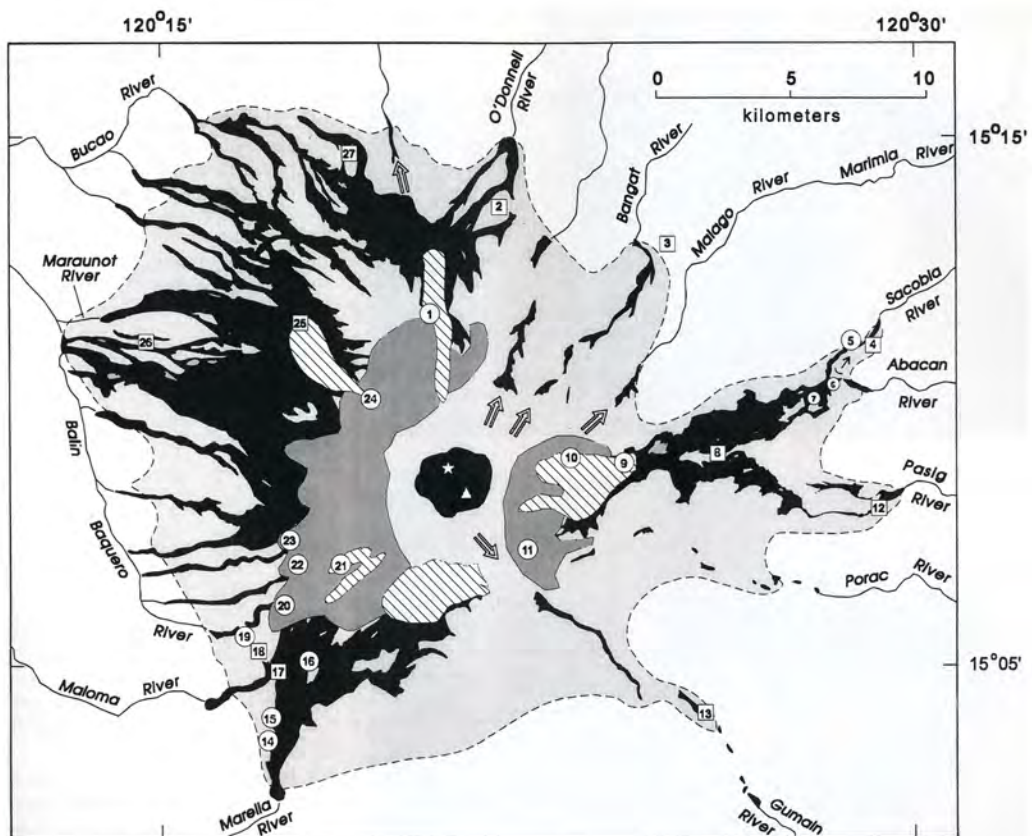


図5 ピナツボ火山の火砕流堆積物の分布図 (Scott *et al.*, 1996)



図6 北側の谷部を埋めた火砕流堆積物 (Punongbayan *et al.*, 1996)



図7 ピナツボ山頂に出現したカルデラ地形（小林哲夫撮影）

径 2.5 km の小型のカルデラが出現しました。カルデラ底には溶岩ドームが出現しましたが、すぐに水が溜りだして、やがて大きなカルデラ湖になりました（図 7）。そのため溶岩ドームは水没してしまいました。

噴出したマグマの体積は約 5 km^3 であり、20 世紀では最大規模の噴火でしたが、事前の噴火予測が的確になされたため、巨大噴火の割には、被害は最小限に食い止められました。それでもカルデラ噴火としては小さい方です。大規模なカルデラ噴火では数 100 km^3 ものマグマが噴出し、高温の火砕流は噴火地点から 100 km も流走することがあります。特に火砕流噴火で発生した細粒な熱雲状の火山灰や火山ガスは、上空の偏西風に流され日本のみならず地球をめぐり、世界の気候に大きな影響を与える可能性があります。

(3) カルデラの成因モデル

カルデラの研究が進んだのは、1930 年代以降です。日本のカルデラ研究のパイオニアは熊本大学の松本唯一で、九州の 4 大カルデラを提唱した論文

(Matumoto, 1943) が有名です。世界的には、アメリカのハウエル ウィリアムズ (Howel Williams) が有名です。彼はアメリカのクレーターレイク (Crater Lake) というカルデラを研究し、多量のマグマの噴出により地下に生じたマグマ溜りの空洞部分へ火山体が崩壊・陥没してカルデラができる (図 8) という論文 (Williams, 1941) を公表しました。日本ではその後長い間、この陥没 (じょうご型) カルデラのモデルが支持されてきました (図 9)。この有名な論文中には松本先生の成果も引用されており、二人はそれ以前から、研究上の交流があったものと思われます。

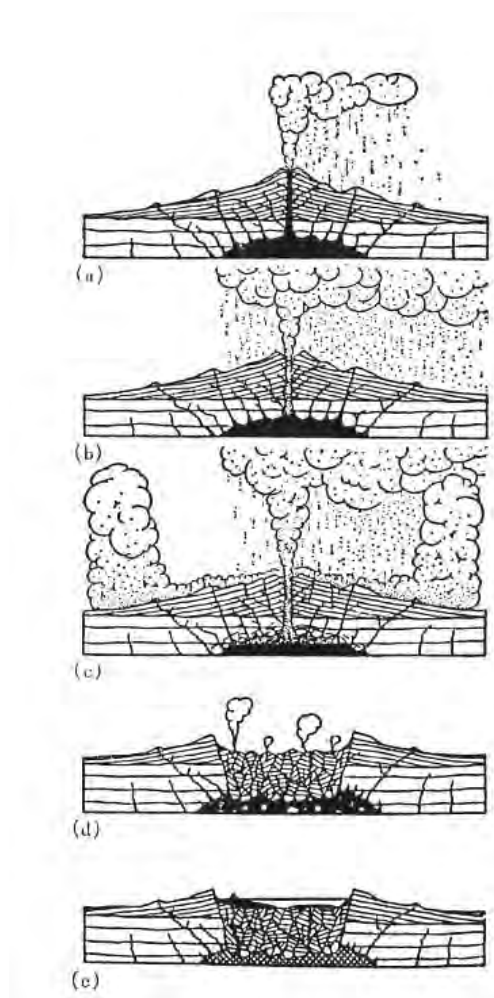


図8 陥没カルデラの形成モデル (Williams, 1941)

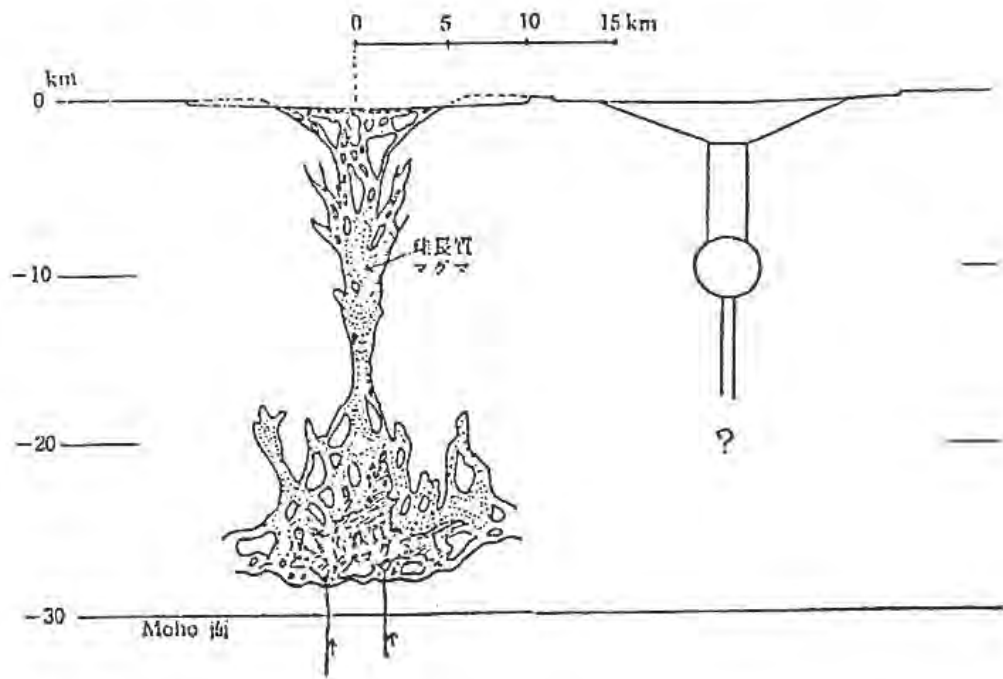


図9 じょうご型カルデラのモデル (荒牧, 1979)

(4) 異なるカルデラ成因モデル

アメリカのバイアス (Valles) カルデラを研究したスミスとベイリーにより 1968 年に提唱されたモデルは、同じ陥没カルデラでも、山体部分が碎けて陥没するのではなく、中心部分の岩石が壊れないで円形の筒状のまま、あたかもピストンのように大きなマグマ溜り中に沈降する (図 10) というものです (Smith and Bailey, 1968)。このような筒状の沈降は、地下深部まで^{さくはく}削剥された古い時代の火山岩地域で見つかることがあり、昔からコールドロンという名前でも知られていました。後で詳しく紹介するロングバレー (Long Valley) カルデラもこの例です (図 11)。最近バイアス型とよばれるカルデラが、日本でもたくさん知られるようになっていきます。

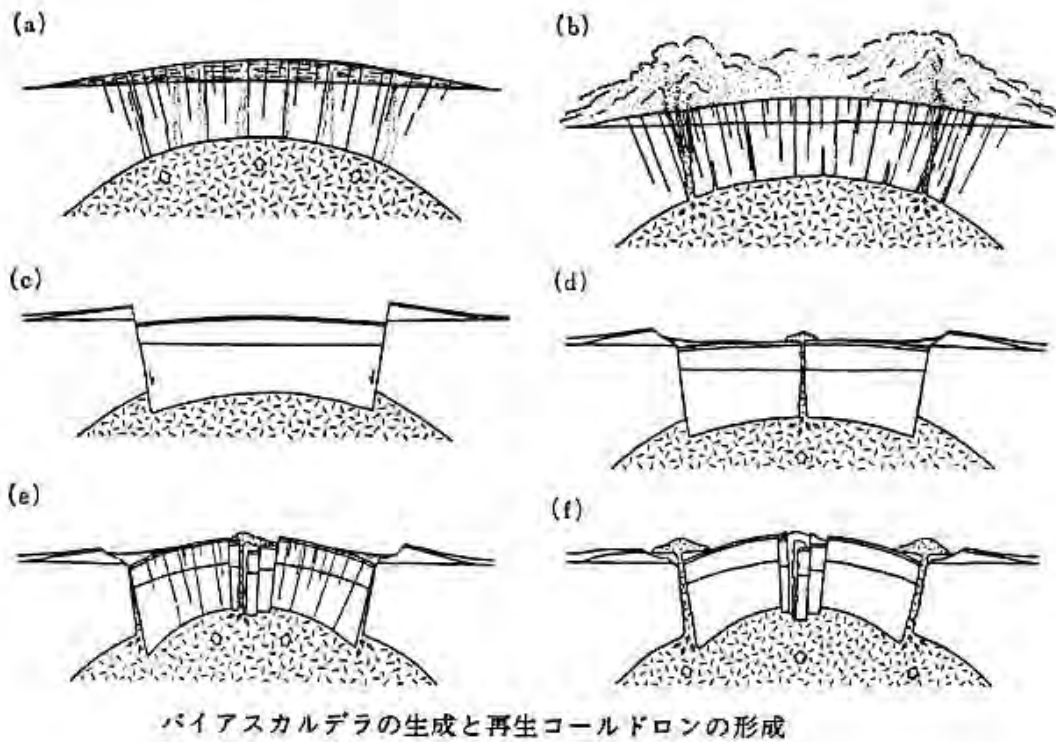


図10 バイアスカルデラの形成モデル (Smith and Bailey, 1968)

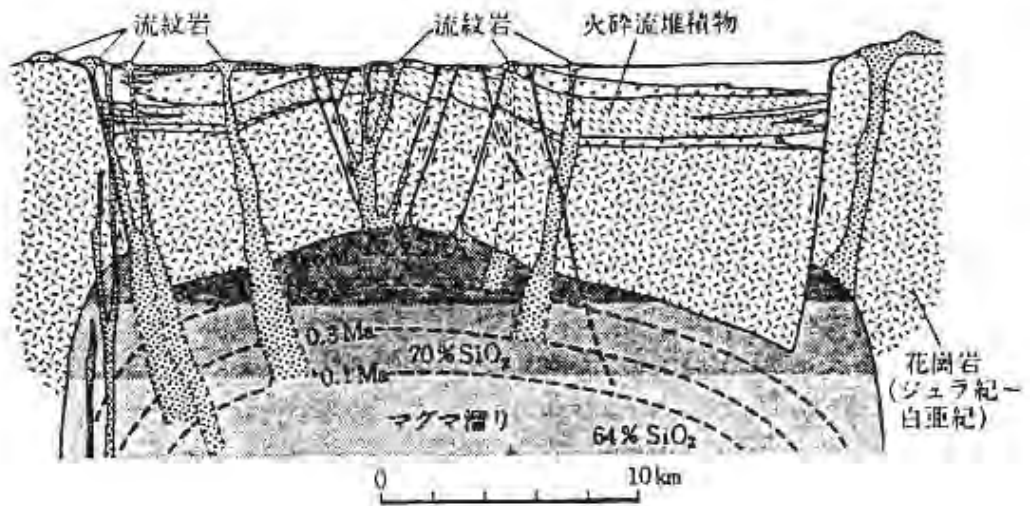


図11 ロングバレーカルデラの断面図 (荒牧, 1979)

カルデラの形成には、爆発という現象も重要な役割を担っているはずですが。それ以外にも様々な要素が関わっており、単純に1つだけの要因では説明できないのかもしれませんが。

(5) マグマ溜りとは？

火山の地下にはマグマ溜りがあるとよく言われますが、それを直接見た人はいません。しかし大きな噴火がおきると、短時間に多量の軽石や溶岩を噴出するので、それらの噴出量に相当する大きさの空間が存在していたことは確かです。カルデラ噴火で最大の噴出量だったのは、約7万年前のトバ (Toba) カルデラの噴火で出た 2800 km^3 と推定されています (図 12)。日本で最大規模の阿蘇カルデラから噴出した Aso-4 火砕流堆積物の体積は 200 km^3 です。これでも想像もできないほどの大きさです。

3. カルデラの深部構造

(1) 活火山とカルデラの関係

先に書いたように、活火山とカルデラは親子のような関係です。私たちの知っている活火山は、ごく稀に大噴火をおこしますが、ほとんどは中小規模の噴火です。マグマの性質も、玄武岩質から安山岩ーデイサイトー流紋岩質まで多様です。それが数万〜数10万年かけて大きな火山となります。それでもせいぜい 10 km^3 ほどの大きさです。一方、カルデラ噴火の場合は、活火山の大きさの数倍〜数10倍ものマグマをほぼ瞬時に噴出します。マグマの性質もほとんどは流紋岩質かデイサイト質です。このように活火山とカルデラ火山は親子のような関係ですが、マグマの性質も、噴火の頻度も規模も、まったく異なってい

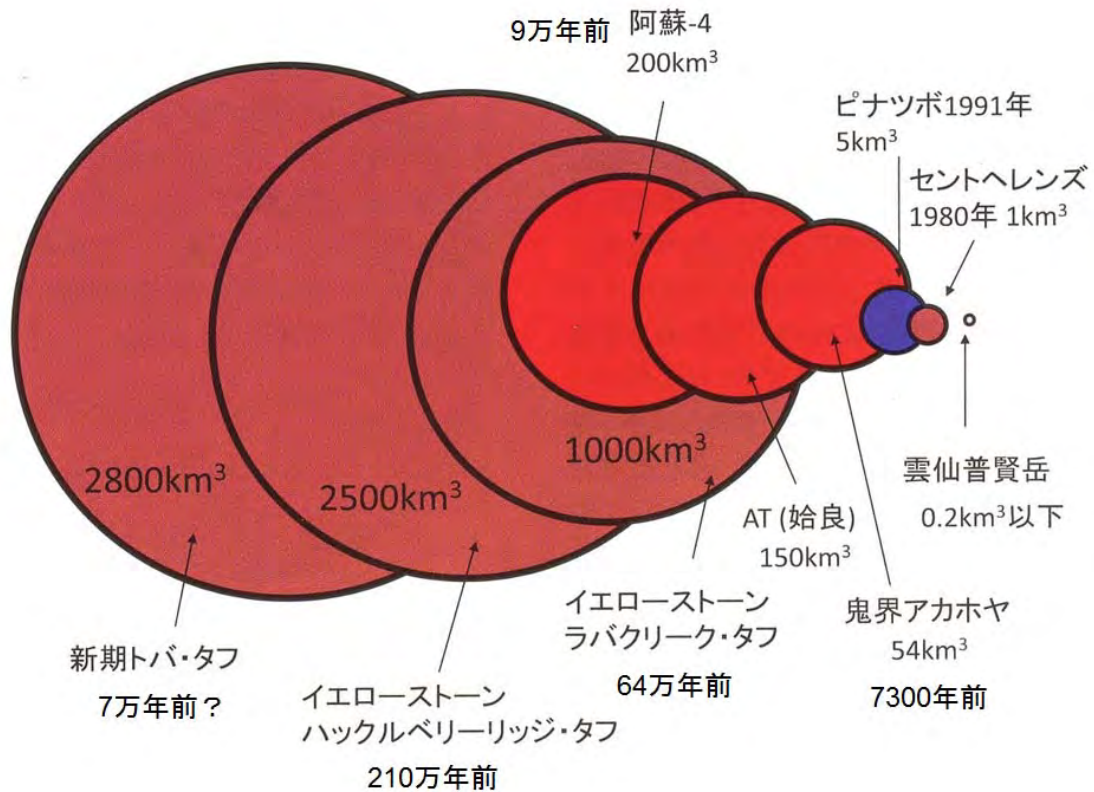


図12 カルデラ噴火で噴出したマグマ量の比較 (高橋, 2010に加筆)

ます。ではカルデラ火山の深部の構造はどうなっているのでしょうか？

(2) カルデラのマグマ溜り

活火山のマグマ溜りもよくわからないのに、巨大なカルデラのマグマ溜りなどわかるはずがないと思われるかもしれませんが、様々な研究手法を用いて、かえって詳細なモデルが提示されています。もっとも有名なのは、アメリカのロングバレーカルデラの研究です。このカルデラの断面図 (図 13) では、地下 5 km のところに、直径が約 30 km、厚さが 10 km 弱のマグマ溜まりが想定されています。マグマ溜りの周辺部発達する”Granitoid”はマグマがほぼ固結した花こう岩, ”Crystal mush”は外皮の内部で溶融マグマ中に結晶が 50%以上も混

じったお粥^{かゆ}状の部分，中心～上部の”Eruptible magma”とはマグマ中の結晶量が 50%以下で，いつでも噴火できる溶融状態の部分を意味します。このカルデラでは，72 万年前に 650 km^3 のマグマが噴出しました。もし今このマグマ溜りの全体が噴出すると仮定すると， 5000 km^3 もの噴出量になります。しかし実際に噴出できるマグマの量は，マグマ溜りの大きさの 10%ほどかもしれません (図 13)。

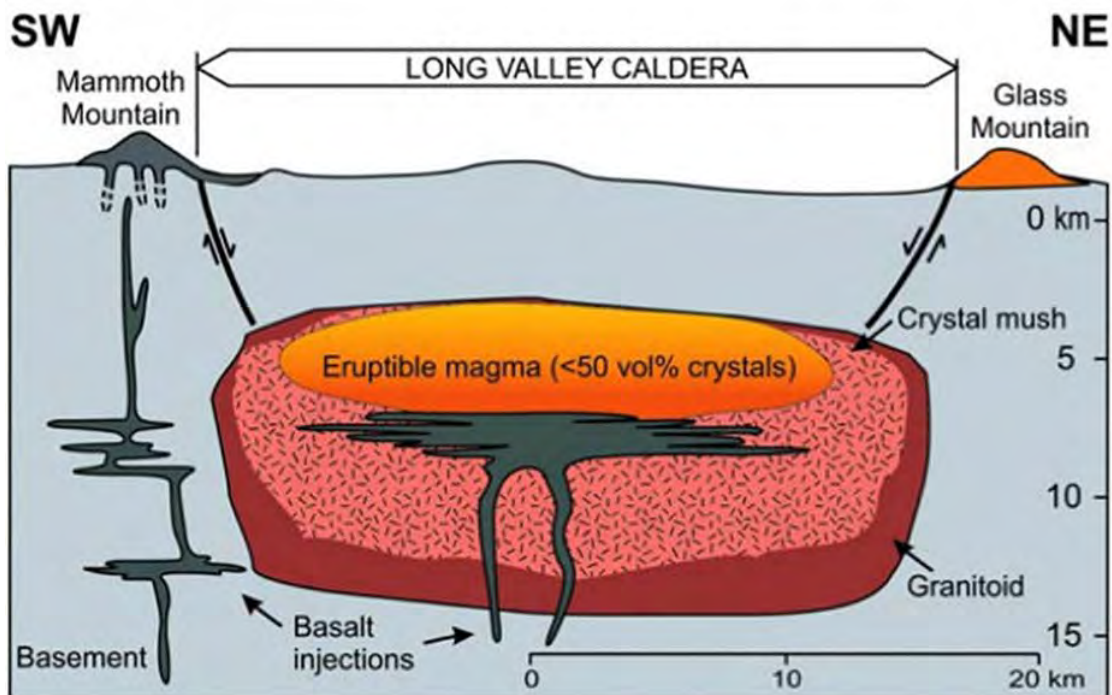


図 13 ロングバレーカルデラのマグマ溜り (Bachmann and Bergantz, 2008)

(3) マグマ溜りの形成モデル

流紋岩質マグマは，地殻の下部～中部を構成する岩石が，高温の玄武岩質マグマの熱により部分的に溶かされ形成されると考えられています。流紋岩質マグマは，マグマのなかでは SiO_2 成分にとみ，低温で粘りけがあるため，大きな

マグマ溜りをつくるのには相当な時間（数万～数10万年）が必要と考えられています。すなわち長期にわたり火山活動が活発な地域にカルデラが出現しやすいこととなります。また低温の流紋岩質マグマは、大きな空間を占めても、そのままと徐々に冷えて固結し、深成岩（花こう岩）の殻が形成されていきます。このマグマの塊を溶融状態に保つためには、深部から熱いマグマ（玄武岩質マグマ）が定常的に供給されなくてはなりません。熱源となるマグマの一部は、巨大なマグマ溜りの周囲をすり抜け、普通の火山として噴出します。このようなマグマは玄武岩質とは限らず、組成の異なる安山岩～流紋岩質のマグマのこともあります。

4. 九州のカルデラ火山のモデル

九州のカルデラ火山は地質学的には新しい時代に巨大噴火をしています。たとえば最も新しい巨大噴火がおこったのは、阿蘇カルデラで9万年前、始良カルデラでは3万年前、阿多カルデラは11万年前、鬼界カルデラでは縄文早期の7300年前です。これらのカルデラでは、数万年～数10万年の間隔で巨大噴火を繰り返しています。現在の活火山は巨大噴火後に誕生した火山（後カルデラ火山）ですが、将来の巨大噴火の前段階の火山活動と見ることができます。これらの活火山とは別に、カルデラの深部には巨大噴火をひき起こす巨大なマグマ溜りが存在しているのでしょうか？ もし存在するなら、いつごろ次の巨大噴火が発生するのでしょうか？ 最後にこの問題を考えてみます。

(1) 桜島と始良カルデラ

桜島火山は日本で最も活動的な火山であり、古くからの観測データが蓄積さ

れています。また始良カルデラを含めた地質学的な研究も進んでいます。それらの成果をもとに、カルデラと活火山の関係を考えてみましょう。始良カルデラは鹿児島地溝内に存在しますが、この地溝帯は 300 万年前以降に火山活動を伴いながら形成されたものです (図 14)。始良カルデラでは 3 万年前の巨大噴

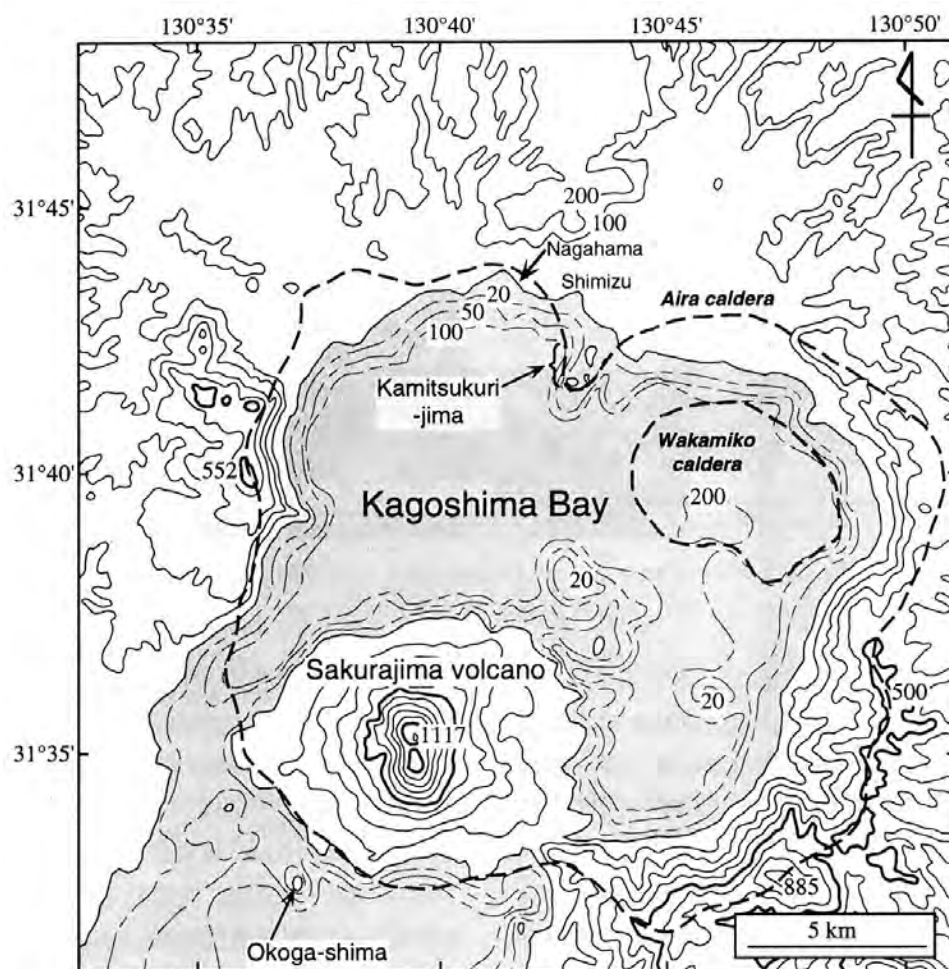


図14 始良カルデラと桜島の地形 (小林, 2014b)

桜島および鹿児島湾奥を取り囲む破線は、始良カルデラの輪郭 (Matumoto, 1943)

湾北部の破線域は、若尊カルデラ

火の前にも、類似の大噴火を繰り返してきました。3万年前の巨大噴火は、まず現在の桜島の位置で発生しましたが、その後主要な火口は湾の北東部に移動しました。しかし最初に桜島の場所にできた火口も同時に噴火したかもしれません。この噴火では 150 km^3 の流紋岩質マグマが噴出しました。

現在の桜島は2万6000年前に誕生した新しい火山です。実は桜島が誕生した後も、始良カルデラ起源のマグマが2回(1万9000年前と1万6000年前)も噴火しています。この2回の噴出物は桜島の噴出物とは成因の異なった化学組成であり、桜島火山のマグマ溜りと始良カルデラのマグマ溜りが、地下深部で分離した状態で存在していることを示唆しています。

(2) 異なるマグマ溜りの存在

始良カルデラ周辺では、長期にわたり地盤が上昇・沈降を繰り返しています。図15は桜島火山の噴火に伴う始良カルデラ周辺の地盤変動を推定したものです。噴火活動が静穏な時期にはカルデラ周辺の地盤が徐々に隆起しますが、大規模な噴火の後には急速に地盤が沈降するという規則性が見出されています。静穏期の地殻変動から、桜島のマグマ溜りにはほぼ一定の割合 ($1000 \text{ 万 m}^3/\text{年}$) でマグマが蓄積されていることが推定されました。しかし噴火後に地盤が元の高さまで沈降しないで、 $1.3 \text{ mm}/\text{年}$ の割合で上昇を続けています。このことは、表面的な噴火とは関係なく、地下深部(始良カルデラ)ではマグマが蓄積され続けていることを示唆しているのではないのでしょうか。

桜島火山のマグマ溜りとは別に始良カルデラのマグマ溜りが存在すると仮定するなら、安山岩質マグマ溜りの方が、深いところに存在していると考えられます(図16)。 $1.3 \text{ mm}/\text{年}$ を示す広域的な地盤の上昇は、基本的には始良カル

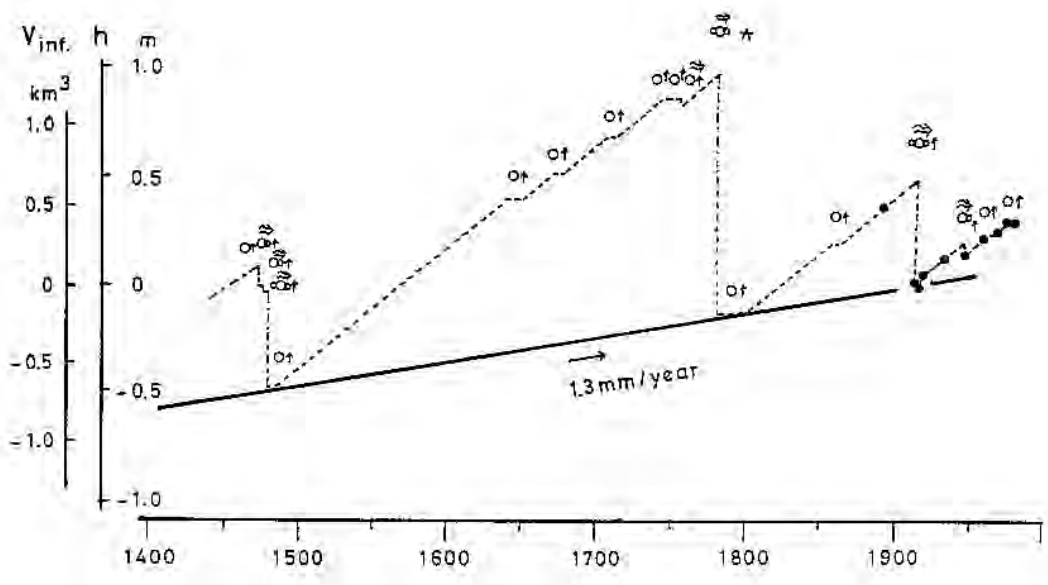


図15 始良カルデラ周辺の過去500年間の地盤変動 (小林・他, 2010)

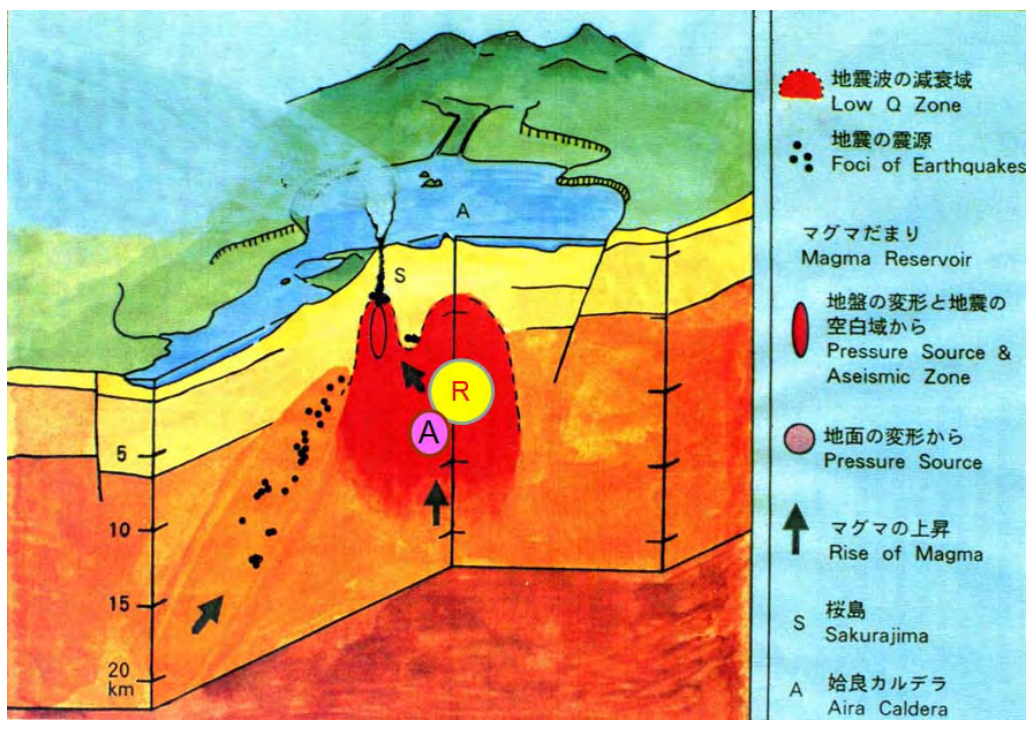


図16 桜島と始良カルデラのマグマ溜りの関係 (Kamo, 1989を一部修正)

R: 始良カルデラの流紋岩質マグマ溜り, A: 桜島の安山岩質マグマ溜り

デラの流紋岩質マグマ溜りの増大を反映したものと考えられます。桜島火山の安山岩質マグマ溜りは、数百年以内という短い間隔で、マグマを溜めては放出するという心臓のような動きをしています。しかし流紋岩質のマグマ溜りでは頻繁な収縮はおきていません。もし過去 3 万年の間、一定の割合でマグマが蓄積されてきたと仮定すると、現在の始良カルデラには数 10 km^3 程度のマグマが蓄積されているかもしれません。しかし実際は過去に 2 回のマグマ噴火をしており、その分を差し引く必要があります。また仮にマグマ溜りの容積がわかっても、噴火する可能性のある溶融マグマが何割程度なのか、これがわからないと、どの程度の規模の噴火になるのかを推定することはできません。

(3) カルデラ噴火予知の可能性

御嶽山の噴火ではっきりしたように、現在の噴火予知は完全なものではありません。ましてカルデラ噴火は我々人類が経験したことのない巨大噴火なので、予知などできるはずがないとの意見もあります。しかし本当にカルデラ噴火の予知は不可能なのでしょうか？私はそのようには考えていません。

噴火予知を可能にするには、まず過去に発生したカルデラ噴火の前兆的な地学現象を見つけ出し、どのような地変現象が、どのような時系列で進みカルデラ噴火に至ったのかを調べることです。たとえば始良カルデラでは、カルデラ噴火直近の 3000 年間は、流紋岩質マグマの噴出が 1000 年に一度の割合へと急増しました。鬼界カルデラの 7300 年前のアカホヤ噴火の約 100 年前には、流紋岩質の長浜溶岩が噴出し、その数 100 年前には大規模な地すべり崩壊が発生しました。阿蘇カルデラでも Aso-4 噴火の約 100 年前に大峰火山ができ、高遊原溶岩が流れ出しました。

海外のカルデラでも類似事例が見つかっています。アメリカのクレーターレイクカルデラでは、カルデラ噴火の数 100 年以上も前から類似マグマの噴火が 4 回発生しました (図 17)。なかでも最も新しい Cleetwood 溶岩はカルデラ噴火の直前に噴出しています。溶岩がまだ熱いうちに軽石が降り積もったため、溶岩直上の軽石堆積物は強く溶結し、白ではなく赤～オレンジ色の硬い溶結岩体へと変化しています (図 18)。

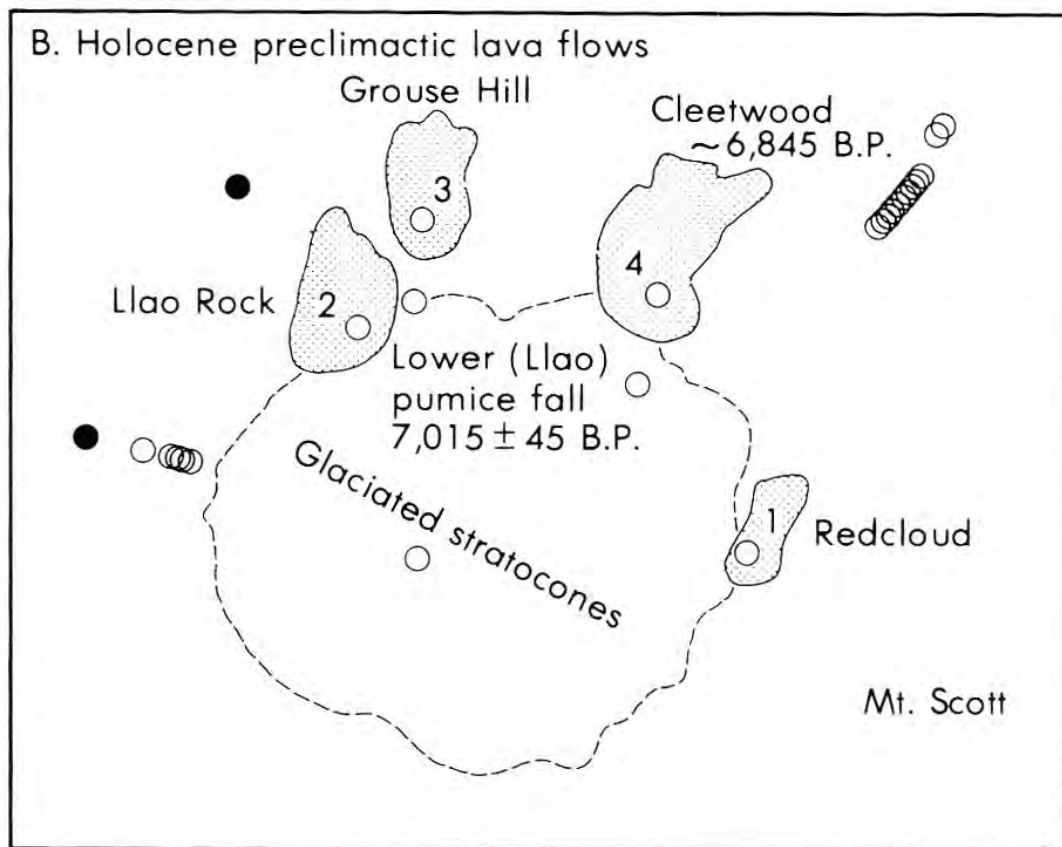


図17 クレーターレイクのカルデラ噴火に先行して噴出した溶岩類 (Bacon, 1983)



図18 Cleetwood溶岩を覆うカルデラ噴火初期の降下軽石堆積物（小林哲夫撮影）

フィリピンやインドネシアでも、カルデラ噴火の数10年～100年前に、流紋岩質マグマが溶岩として噴出した例が見つっています。また流紋岩質マグマではなく、特異な安山岩質マグマが噴出した例が阿蘇カルデラで見つかりました。特異な安山岩とは、玄武岩とほぼ同じ温度・粘性をもった安山岩質溶岩です。そのような溶岩が、Aso-2カルデラ噴火発生の数100年前から直前までの間に、何回か噴出しました。最後に噴出した秋田溶岩を覆うAso-2火砕流堆積物は、クレーターレイクの例と同じく、下位の溶岩との接触部付近が特に強く溶結した岩体となっています。

噴火だけでなく、大きな地震を伴った例もあります。ニュージーランド北島の中央にあるタウポ（Taupo）カルデラでは、カルデラ噴火の数10～100年前

に周辺の丘陵地で斜面崩壊が発生しています。鬼界カルデラで紹介した山体の地すべり崩壊もその例かもしれません。このように研究が進むにつれ、カルデラ噴火の前兆と考えられる地学現象が次々と発見されてきています。

マグマの蓄積が進んで溜めておける限界を超えると、噴火がおこるはずですが、しかし粘り気のある流紋岩質マグマは、水のように地表に噴き出すわけではありません。まずマグマ溜りの外殻を破り上昇しなくてはなりません。当然ですが、大きな地震や地殻変動を伴うはずですが、別の見方をすれば、大規模な地殻変動が発生するために、マグマの上昇が始まるのかもしれませんが。多くの前兆現象をみると、いきなり大規模噴火となってマグマが噴出するのではなく、まず流紋岩質マグマの一部が何とか噴出し、その後 100 年ほどの時間をかけて発泡したマグマが一気に噴火し、カルデラを形成する大噴火となっています。

また高温の安山岩質マグマが先に噴火する例では、カルデラ深部に存在していた安山岩質マグマが過剰に加熱されたために、浅所に存在する流紋岩質マグマに先行するように噴出したものと推定されます。この場合も地下深部から安山岩質マグマが放出されたため、流紋岩質マグマにかかる圧力が減少し、それがマグマの発泡を加速させ巨大噴火に至ったものと推定されます。

このようにカルデラ噴火を引き起こす要因には、長期にわたるものと短期的なものがあるはずですが、今の段階ではそれらをひもとき、直前予知に結び付けることはできていませんが、いずれはカルデラ噴火を引き起こす主要なきっかけは何なのかを知り、カルデラ噴火の予知ができるようになると考えています。

引用文献

- 荒牧重雄 (1979) 火山の構造. 岩波講座地球科学 7 火山 (横山 泉・荒牧重雄・中村一明 (編)), 岩波書店, 157-194.
- Bachmann, O. and Bergantz, G. (2008) The magma reservoirs that feed supereruptions. *Elements*, **4**, 17-21.
- Bacon, C.R. (1983) Eruptive history of Mount Mazama and Crater Lake caldera, Cascade Range, U.S.A. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **18**, 57-115.
- Kamo, K. (1989) A dialogue with Sakurajima Volcano. **Proc. Kagoshima International Conference on Volcanoes 1988**, 3-13.
- 気象庁 (2013) 日本活火山総覧 (第4版). 1500p.
- 小林哲夫 (2014a) 九州を南北につらなるカルデラたち. *科学*, **84**, 84-93.
- 小林哲夫 (2014b) 日本の始良カルデラとフィリピンのイロシンカルデラの噴火推移の比較研究. *地学雑誌*, **123**, 739-750.
- 小林哲夫・奥野 充・長岡信治・宮縁育夫・井口正人・味喜大介 (2010) 大規模カルデラ噴火の前兆現象ー鬼界カルデラと始良カルデラー. *京大防災研年報*, 第53号 B, 269-275.
- Matumoto, T. (1943) The four gigantic caldera volcanoes of Kyusyu. *Jap. J. Geol. Geogr.*, **19**, sp. no., 1-57.
- Punongbayan, R.S., Newhall, C.G. and Hoblitt, R.P. (1996) Photographic record of rapid geomorphic change at Mount Pinatubo, 1991-94. in **Fire and Mud: Eruptions and Lahars of Mount Pinatubo, Philippines** edited by Newhall, C.G. and Punongbayan, R.S., Philippine Institute of

Volcanology and Seismology, Queson City and University of Washington Press, Seattle, 21-66.

Scott, W.E., Hoblitt, R.P., Torres, R.C., Self, S., Martinez, M.M.L. and Nillos, J.T. (1996) Pyroclastic flows of the June 15, 1991, climactic eruption of Mount Pinatubo. in **Fire and Mud: Eruptions and Lahars of Mount Pinatubo, Philippines** edited by Newhall, C.G. and Punongbayan, R.S., Philippine Institute of Volcanology and Seismology, Queson City and University of Washington Press, Seattle, 545-570.

Smith, R.J. and Bailey, R.A. (1968) Resurgent cauldrons. *Geol. Soc. Amer. Mem.*, **116**, 613-662.

高橋正樹 (2010) 破局噴火. 日本地球惑星科学連合ニュースレター (JGL), **6**, 3-6.

Williams, H. (1941) Calderas and their origin. *Univ. Calif., Barkley Publ. Geol. Sci.*, **25**, 239-346.

2. 火山のエネルギー：地熱発電の現状と展望

野田徹郎（産業技術総合研究所・名誉リサーチャー）

1. 地球は火の玉

地熱発電のことをよく耳にするようになりました。地熱発電ってどういうものなのでしょうか。いまどうなっていて、これからどうなるのでしょうか。わかりやすく説明することにします。

わたしたちは、地球は岩でできた固いものと思っています。ところが岩石からできている地殻の厚さは大陸で30~40 km、海洋で6 km くらいですから、地球の半径 6,400 km から見るとほんの少しで、その下は高温のため岩石が溶けたマグマであり、マントルと呼ばれます。まるでタマゴの殻と中身のような

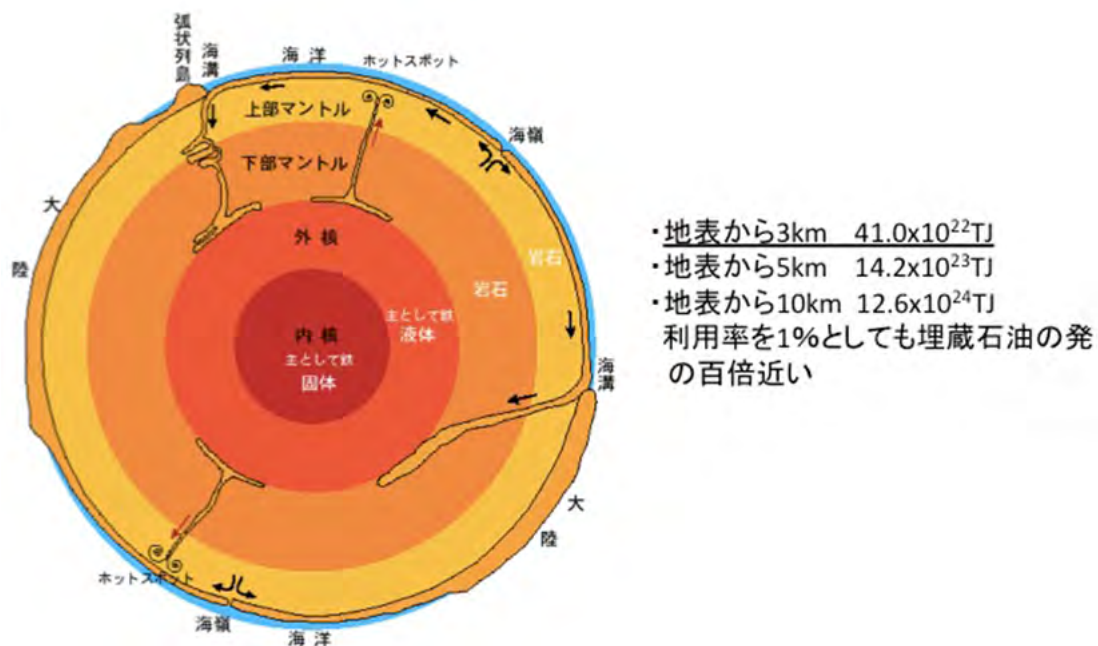


図1 地球は火の玉（九州大学理学部に加筆）

ものですから、地球の 99%以上は固体ではなく熱い火の玉です（図 1）。マントルは熱くて流動性があるので対流（熱せられた流体が上の方へ移動し、まわりの低温の流体が流れ込むことを繰り返すこと）しており、地殻の弱い部分からは地上に向かってマグマが吹き上がります。これが火山です。また、地表に向かってジワジワと伝導によって熱が運ばれており、これらの熱の量はばく大です。

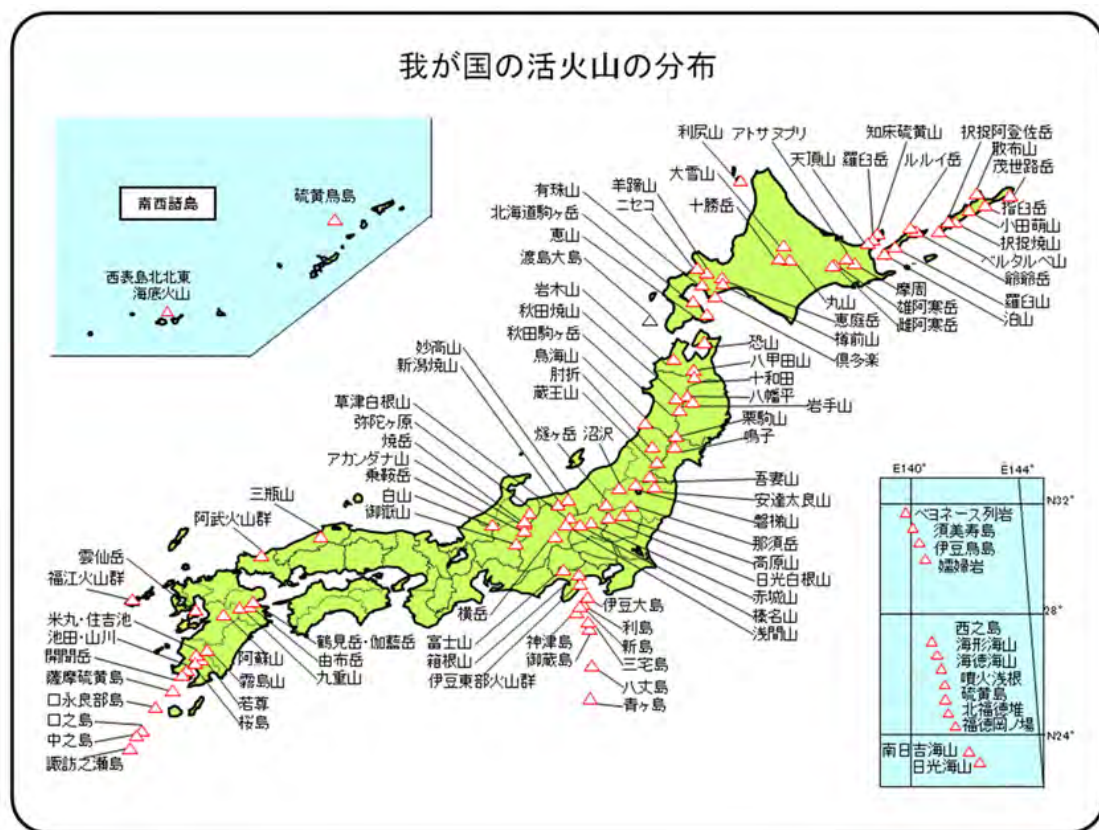


図2 我が国の活火山の分布（気象庁，2013）

太平洋をふち取る場所にある日本は世界的に見ても火山の多い国で、熱がたくさん地表に向かって運ばれています（図 2）。火山によってもたらされる熱は、火山のまわりで一時的に貯えられており、それを使っていろいろな仕事をする

ことができるので、^{ちねつしげん}地熱資源（地熱エネルギー）と呼ばれます。地熱資源がとりだしやすい形で貯えられている地層を、^{ちねつちよりゆうそう}地熱貯留層と呼びます。ここでは、どのようにして地熱貯留層ができるかを説明します（図3）。

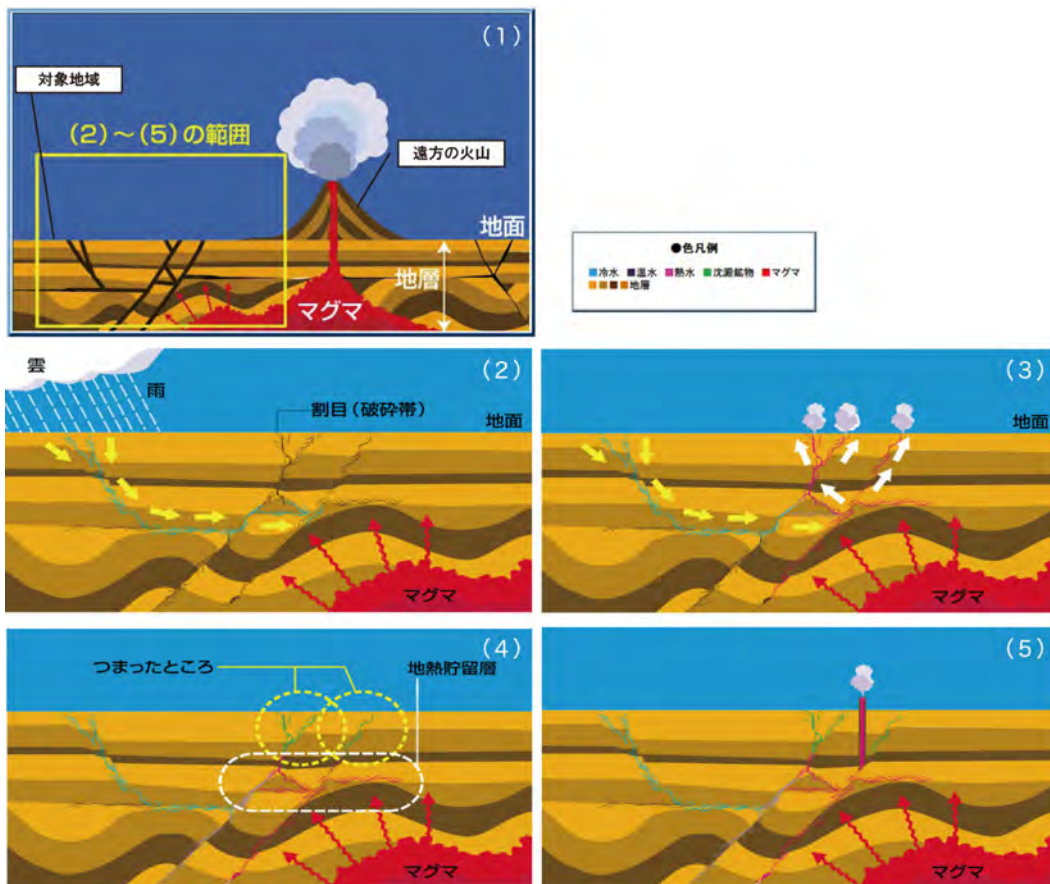


図3 地熱資源の成り立ち（日本地熱学会）

- (1) 火山の近くでは、地下数 km～20 km くらいの深さに、1,000 度くらいのマグマだまりがあって、まわりの岩石を熱しています。
- (2) 地下の岩石にはあちこち割目があって、このような割目から雨水が地下に入り込み、マグマだまりの近くの熱いところにたどりつきます。
- (3) マグマだまりの熱で加熱された水は高温の熱水や蒸気となり、近くに割目が

あればそこを通過して上昇します。地表に出た熱水は温泉や噴気地帯をつくり
ます。

(4) 地下の浅いところは、深いところにくらべて温度や圧力が低いので、熱水に
溶けていた成分が沈殿し、割目が詰まっていきます。深いところの熱水や蒸
気の出口がなくなり、高温高压の熱水（高温のお湯）が大量にたまります。
これを地熱貯留層（割目のピンク色部分）といいます。

(5) 地表からこの地熱貯留層まで穴を掘ると、高温高压の蒸気を取り出すことが
できます。この蒸気を使って発電するのが地熱発電です。

2. 地熱発電を知る

2. 1 地熱発電のしくみ

地熱発電のしくみには、フラッシュ蒸気発電とバイナリサイクル発電があり
ます（図4）。

(1) フラッシュ蒸気発電

地熱貯留層まで掘られた穴（生産井）からとりだせるのは、蒸気だけ（蒸気卓越
型と呼びます）とはかぎらず、ほとんどは地下では熱水の状態です。地表に上
がってくるときに熱水は部分的に沸騰して（これをフラッシュすると言います）
蒸気が得られます。この蒸気は熱水と分けてタービンに送られ、タービンを回
してその回転力を発電機で電気に変えます。タービンの回転力を増すために、
タービン出口の蒸気を冷却塔で冷やして真空に近い状態にします。蒸気を分け
たあとの熱水は還元井で地下にもどされます。

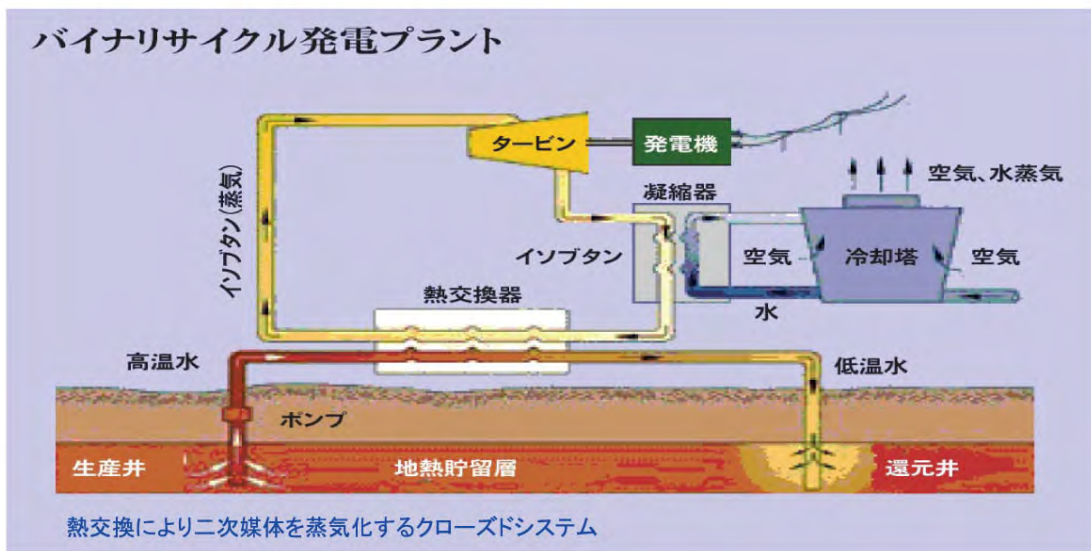
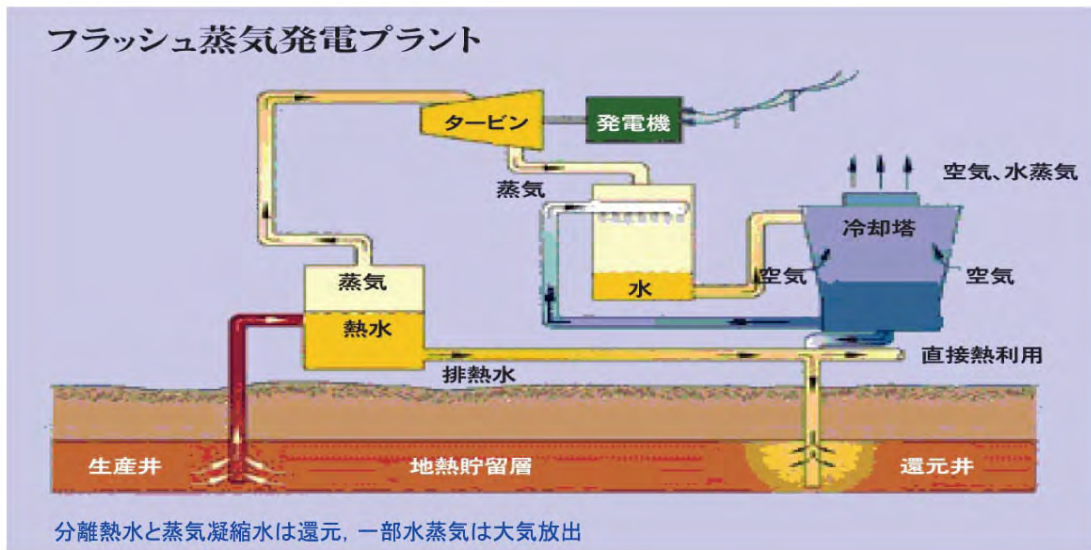


図4 地熱発電のしくみ(American Geothermal Association)

(上) フラッシュ蒸気発電 (下) バイナリサイクル発電

(2) バイナリサイクル発電

地熱貯留層の温度が高いときはとりだせる蒸気がたっぷりありますが、温度が低い（たとえば 150 度以下）ときは、蒸気が少なくなり十分に発電できません。そこで、蒸気や熱水の温度を熱交換によって水よりも沸点（蒸気になる温度）の低い媒体（たとえば、炭化水素、代替フロン、アンモニア水など）に熱

を伝え、その媒体の蒸気によりタービンを回して電気をつくるやり方が開発されました。このやり方は水（蒸気と熱水）と低沸点媒体の2つ（バイナリ）の成分を利用するものであることから、バイナリサイクル発電と呼ばれます。

2. 2 日本の地熱発電所

いま、日本の大きい地熱発電所の数は全部で 17 ヶ所、出力 520MW、東北地方とならんで九州は日本の地熱発電のメッカです（図 5）。1966 年に松川発電所が日本初の地熱発電所として運転を開始し、1990 年代には 9 基、合計出力約 32 万



図 5 日本の地熱発電所と開発状況（地熱エンジニアリング株式会社）

kW が加わり、開発のピークを迎えました（図6）。その多くは、石油などの化石燃料を使用する火力発電に対し、コストが競争できたころにつくられたところです。しかし、国立公園の中での開発規制（開発を制限すること）などにより安価で開発できる有望な地点が少なくなり、地熱発電の温泉への影響を心配する温泉を利用する人たちの反対運動がブレーキとなり、1999年に八丈島地熱発電所がつくられたあとは、大きい地熱発電所は新たにつくられていません。火山の数が多い日本は、世界的にも地熱資源の多い国のベスト3に入りますが、10年以上大きい発電所がつくられていない間に世界の地熱発電所建設はどんどん進み、日本の地熱発電の大きさは世界第8位に落ち込んでしまいました（表1）。

【第213-2-20】日本の地熱発電設備容量及び発電電力量

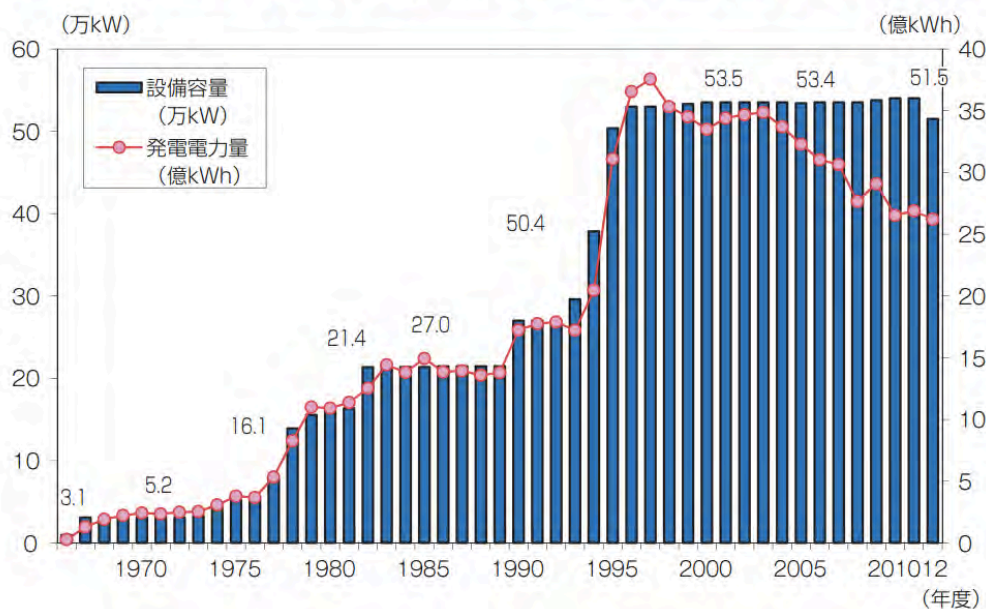


図6 日本の地熱発電設備容量及び発電電力量（資源エネルギー庁）

表 1 各国の地熱資源量と地熱発電設備容量

国名	地熱資源量	国名	地熱発電設備容量
	MW		MW
アメリカ	30000	アメリカ	3187
インドネシア	27790	フィリピン	1904
日本	23470	インドネシア	1222
フィリピン	6000	メキシコ	958
メキシコ	6000	イタリア	883
アイスランド	5800	ニュージーランド	768
ニュージーランド	3650	アイスランド	661
イタリア	3270	日本	535

地熱資源量（経済産業省に加筆修正），地熱発電設備容量（International Geothermal Association）

3. 21世紀はたいへんな時代

3. 1 地球環境問題とエネルギー不足

18世紀後半にイギリスで始まった産業革命^{さんぎょうかくめい}をきっかけに、人類は多量の石炭や石油を燃やしたエネルギーを使って産業を発展させ、豊かさと便利さを手に入れることができました。これらの化石燃料^{ねんしょう}の燃焼（燃やすこと）により増え続けた大気中の二酸化炭素^{にさんかたんそ}（CO₂）は、地球上の気温を上昇させて異常気象^{いじょうきしょう}をもたらし、極地^{きょくち}（南極や北極）の雪や氷を溶かして海面を上昇させて海岸近くの低い土地^{すいぼつ}を水没（水につかってしまうこと）させる地球環境問題^{ちきゅうかんきょうもんだい}を引き起こしています。

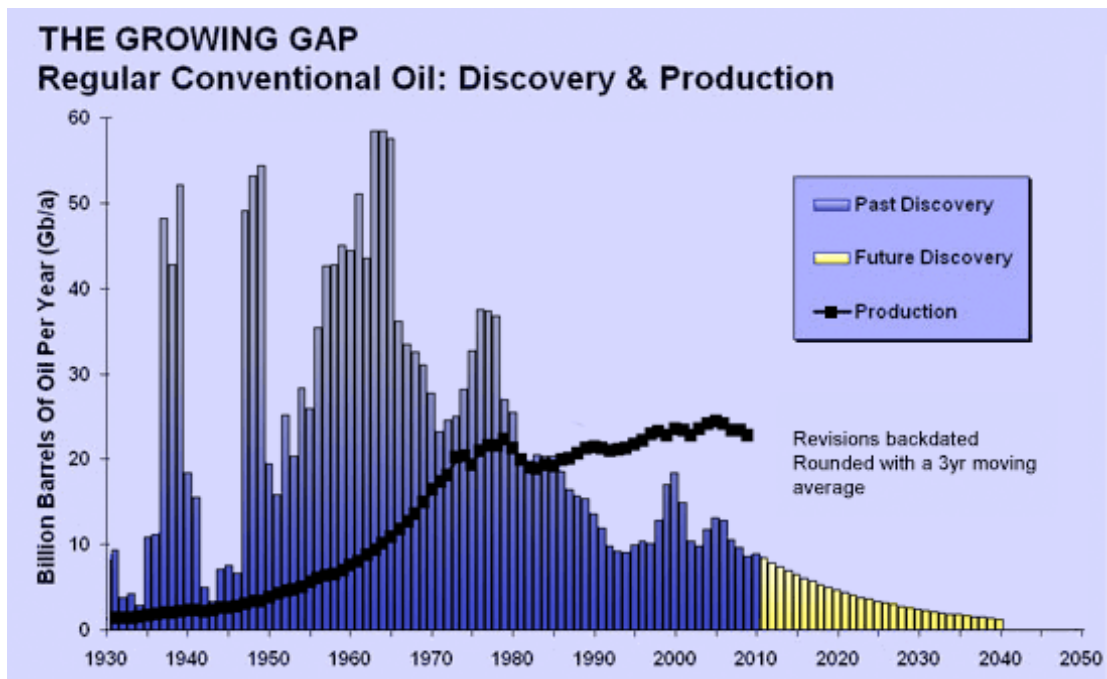


図7 油田の発見量と生産量の関係 (Resilience)

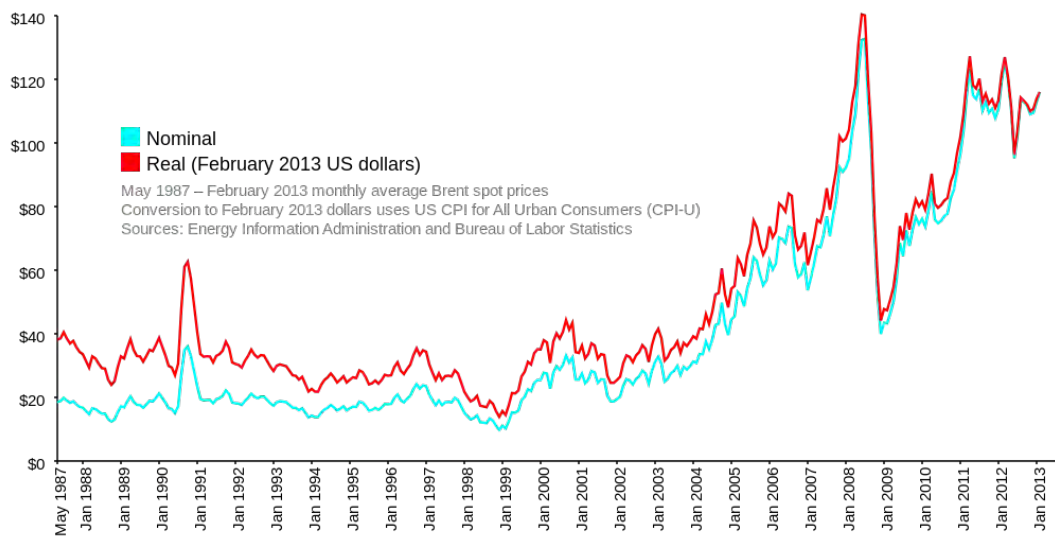


図8 原油価格の移り変わり (ウィキペディア)

石油は特に使いやすいエネルギーであり、20世紀のエネルギーの主役でした。これまでも石油がいつなくなるか不安に思われたことがありましたが、そのた

びに大きな^{ゆでん}油田（石油の貯まっているところ）が発見され安心していました。ところが、20世紀の後半に入ると大きい油田の発見は減ってきています。油田からの石油の生産には特徴があり、発見されて20～30年が生産のピークでそのあとしだいに減っていきます。この特徴をもとにハバートという人が世界の石油生産の予測をし、2010年ごろがピークでそのあとは減っていく一方だろうという説をとらえました。このハバートの予測は当たっているようです（図7）。

これが本当だとなると、こんどの^{せきゆきき}石油危機（石油が少なくなり産業や暮らしが成り立たなくなること）は、これまでのものとは比べものにならない、最大で最後の石油危機となります。現に、石油のもとである原油の値段は20世紀には1バレル（159リットル）がほぼ40ドルくらいでしたが、21世紀に入ると急に値上がりし、100ドルをこえてしまいました。2008年のリーマンショックと呼ばれる世界規模の不景気のときに一時的に下がりましたが、現在はまた100ドルをこえ、上がり続けています（図8）。

石油に代わるエネルギーとしては原子力があるから平気だという考えがありました。この考えに冷や水をかけたのが、2011年3月11日の^{ひがしにほんだいしんさい}東日本大震災により発生した福島第一原子力発電所の事故で、福島を中心とする^{ほうしゃのう}地域が放射能で汚染されました。原子力は安全なエネルギーでないということになり、わたしたちはエネルギーを何に頼ったらよいだろうという心配な状態になっています。これらに代わる新しいエネルギーとして注目されているのが、自然エネルギーです。自然エネルギーは一度利用しても簡単に再生ができ、資源がなくなることから、^{さいせいかのう}再生可能エネルギーとも呼ばれます。再生可能エネルギーは、二酸化炭素の出る量が少ないのが特徴であり、太陽光、風力、水力、バイオマ

スと並んで、地熱もその一つです。

3. 2 地熱発電への期待

地熱発電には、三つのすぐれた特徴があります。それは (1) 豊富な資源量、(2) 低い CO₂ 排出量 (空気中に出ていく量)、(3) 安定電源 (発電が安定していること) です。ですから日本で地熱発電がもっと盛んに行われることが期待されます。

(1) 豊富な資源量

地熱資源は国産 (国内で生産できること) の非常に豊富なエネルギーです。地熱資源の量は、火山の数ときれいな比例関係にあります (図 9)。火山 1 個が約 20 万 kW に相当します。世界第 3 位の火山国の日本は、地熱資源の量も第 3 位で 2,347 万 kW あるとされ、これは百万 kW クラスの原子力発電所 23 基分にあたります。

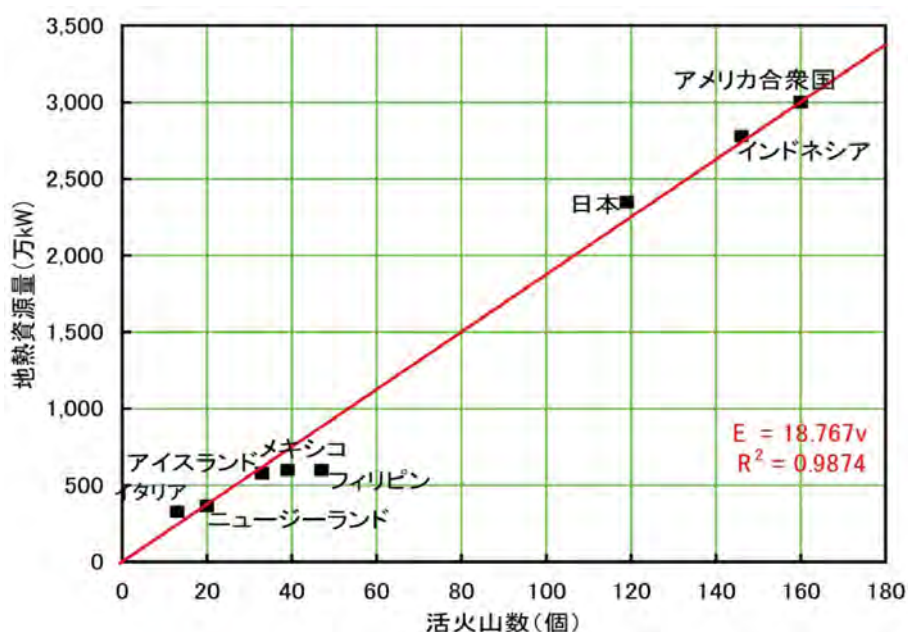


図 9 火山数と地熱資源量の関係 (資源エネルギー庁)

(2) 低いCO₂排出量

発電のときに出る二酸化炭素を比べると、地熱資源は他の再生可能エネルギーと同じように、化石エネルギーを燃焼する火力発電より非常に少なく、また再生可能エネルギーの中でも小水力と並んでとびぬけて少ないのが特徴です(図10)。

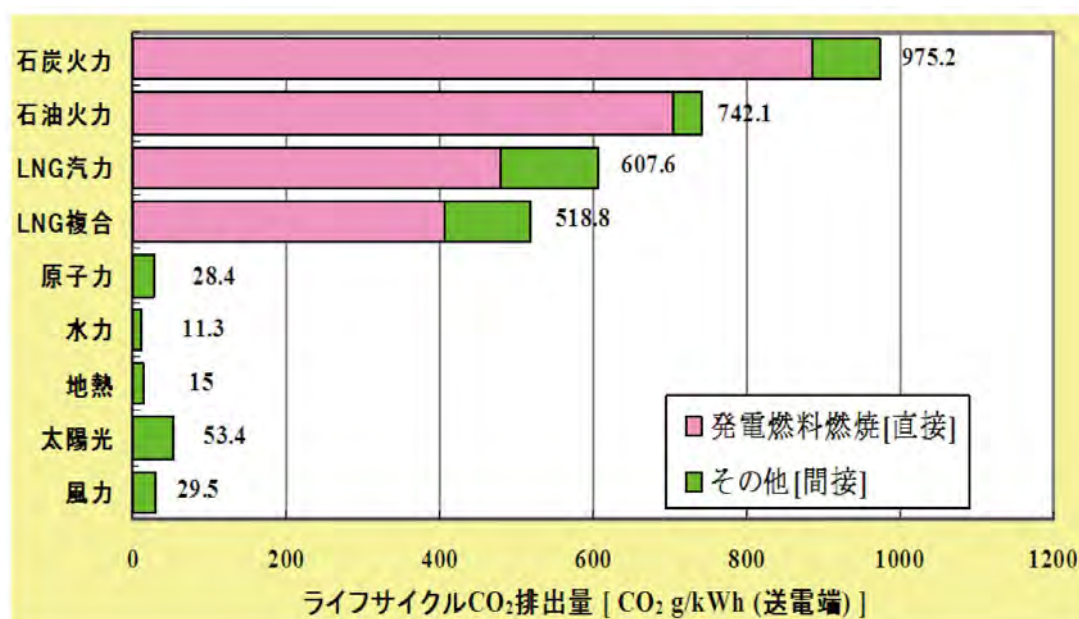


図10 電源別CO₂排出量(本藤, 2000)

(3) 安定電源

地熱発電はどこでもできるわけではなく、また地下の資源であるため探してボーリングにより掘り当てなければなりません。その一方、太陽光発電が日中の日が照っているとき、風力が風の吹いているときだけ発電ができるのに比べると、昼も夜も地熱発電は天候に関係なく発電ができます。ですから、発電設備がどれだけフルに運転されて電気をつくっているかを示す設備利用率^{せつびりようりつ}は、太

太陽光 12%、風力 20%に比べると地熱発電は 70%の高い率を示します。また、太陽光や風力のように発電量のふらつきがなく、常に一定の電気をつくることができるという、すぐれた電気の要素である安定電源の特徴を備えています(表 2)。

表 2 太陽光, 風力, 地熱各発電の特徴比較

	設備利用率	特徴
太陽光	12%	不安定電源。系統連携問題。日射が良く、太陽光パネルが設置できればどこでもすぐ可能
風力	20%	不安定電源。系統連携問題。風況が良く風車が立てられればどこでもすぐ可能。
地熱	70%	安定電源。ベースロード向き。適地が限られる。適地ではエネルギー密度が高い。リードタイムが長い。

4. 地熱発電の問題と対策

地熱発電が日本でもっと盛んになるためには乗り越えなければならない問題が三つあります。(1) 発電コスト, (2) 自然公園内での開発, (3) 温泉との競合(きそいあい)です。

(1) 発電コスト

地熱発電の発電コストは 9.2~11.6 円と、他の再生可能エネルギーの発電コストよりは低いです。石炭火力発電や原子力発電といったこれまであった発電よりやや高く、発電が進まない原因の一つとなっています(表 3)。これを打ち破るため、政府は再生可能エネルギーによる発電に対し、固定価格買取制度(FIT)を導入しました。固定価格買取制度では、再生可能エネルギーによる発

表 3 電源別の発電コスト（内閣府）

発電方式 (既存エネルギー)	発電単価 (円/kWh)	発電方式 (再生可能エネルギー)	発電単価 (円/kWh)
原子力	8.9～	風力(陸上)	9.9～17.3
石炭火力	9.5	風力(洋上着床式)	9.4～23.1
LNG火力	10.7	地熱	9.2～11.6
石油火力	22.1	太陽光(メガソーラー)	30.1～45.8
水力(一般)	10.6	太陽光(住宅)	33.4～38.3
		水力(小水力)	19.1～22.0
		バイオマス(専焼)	17.4～32.2
		バイオマス(混焼)	9.5～9.6

電電力に調達価格^{ちょうたつかかく}を定め、電力会社はその価格で買い取らなければなりません。地熱発電については、発電の大きさに応じて 15,000kW 未満だと税抜きで 26 円/kWh、15,000kW 以上だと 40 円/kWh の発電コストより高い二段階の調達価格が 15 年間にわたって適用されます。調達価格は、技術開発^{ぎじゅつかいはつ}や利用が大きく広まることにより発電コストが安くなるのに応じて見直されることになっていきます。

(2) 自然公園内での開発

国立公園、国定公園、都道府県立特別公園^{とどうふけんりつ}は、まとめて自然公園と呼ばれ、公園内の景観^{けいかん}（けしきのこと）や生態系^{せいたいけい}（動物や植物とそのまわりの環境）を保護するために公園内の開発を規制する厳しい管理が行われています。火山はすぐれた景観をもたらすことからその多くが自然公園に指定され、そのため火山に伴って存在する地熱資源の開発が規制されています。自然公園は保護の重

要さに応じて区分され、特別保護地区^{とくべつほごちく}と特別地域^{とくべつちいき}の中には地熱資源の 82%が含まれます。日本の自然公園が国の面積に占める割合は、国立公園だけで 5.5% (世界の第 14 位)、国立・国定公園は 9.1% (世界の第 8 位)、全部の自然公園では 14.4% (世界の 2 位) で、日本が世界的に見ても自然環境の保護に力を入れ、面積的にも広く自然公園を設定していることが分かります。そんな中で、有望な地熱資源が自然公園内にあることから、これまでも開発が許されている普通地域に加えて、第 2 種及び第 3 種特別地域でも環境と調和した開発であれば、地熱発電を許可する方向で検討が始められています。

(3) 温泉との競合

地熱資源も温泉も火山の熱により地下水が温められた資源であることから、温泉を利用する人たちからは地熱発電が温泉に影響を与えるのを心配する声が聞かれます。その多くは地熱資源と温泉資源の関係が十分理解されていないことによります。地熱資源のでき方のところで説明したように、地熱貯留層は深い地層、温泉はそれより浅いところ^{おんせんたいすいそう} (温泉帯水層) で生じ、両者の位置は異なるのであまり影響の心配をする必要はありません。しかし、地熱貯留層と温泉帯水層につながりがある場合があります、そのようなときには地熱貯留層からのとりだしが多すぎると温泉資源に影響することもあります (図 11)。実際には、海外では地熱発電が温泉に影響した例が知られ、科学的にも確かめられています。国内でも、地熱発電が温泉に影響したとの話を聞くことがあります。大分県の八丁原地熱発電所^{はっちようぼる}と近くの筋湯温泉^{すじゆ}の関係もその例ですが、調べてみるとその事実はなく (図 12)、日本の他の地域でも、データをもとに科学的に影響があることを説明した例はありません。日本では、地熱貯留層と温泉帯水層がつなが

っていないか、つながっていても地熱貯留層からのとりだしがうまく管理されているからだと考えられます。

最近では、前に説明した低温用の発電のしくみであるバイナリサイクル発電の技術が発達し、温泉くらいの温度と規模でも発電（いわゆる温泉発電）ができるようになり（図 13）、発電を行いながら温泉としても利用する実例が出てきています。温泉発電が広まってくると、温泉関係者の地熱発電に対する心配もなくなり、反対の声も収まってくることが期待されます。

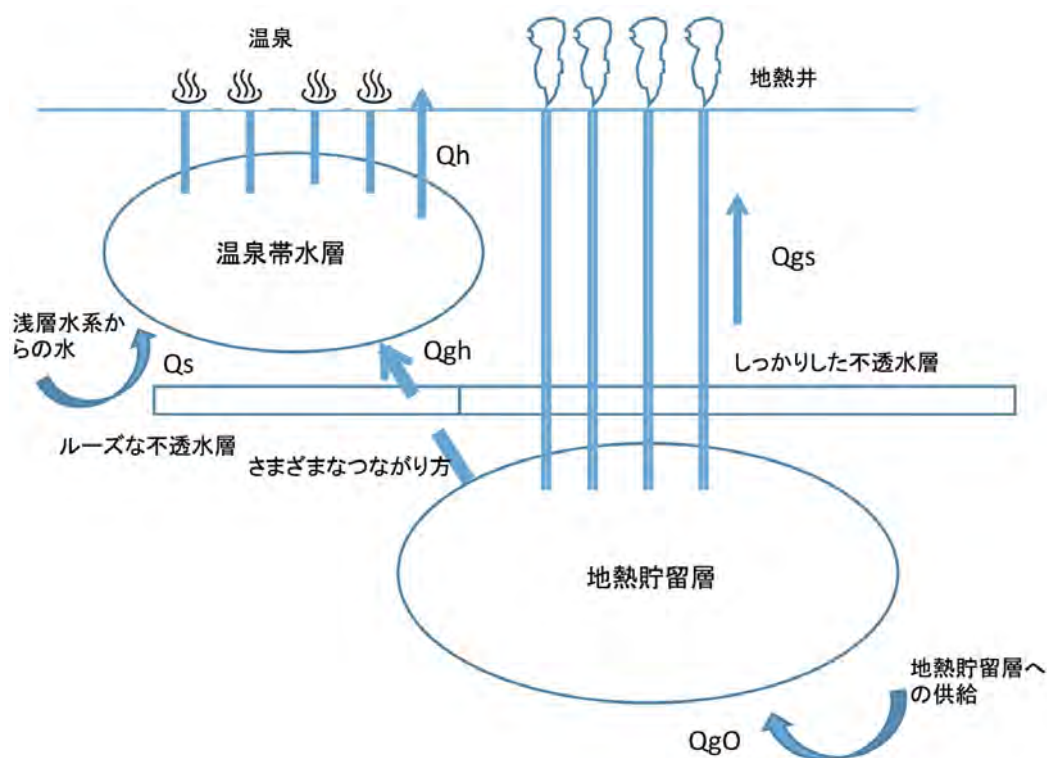


図 11 地熱貯留層と温泉帯水層の関係（野田，2013）

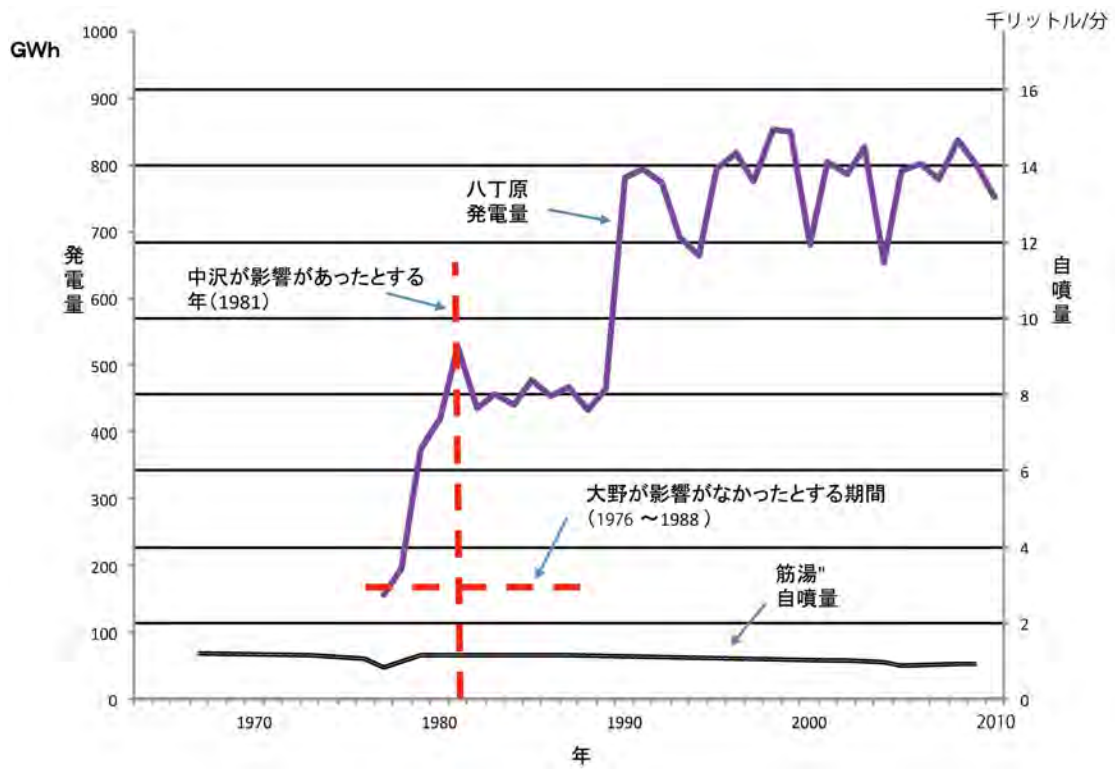


図 12 八丁原の発電量と筋湯の自噴量の関係 (野田, 2013)

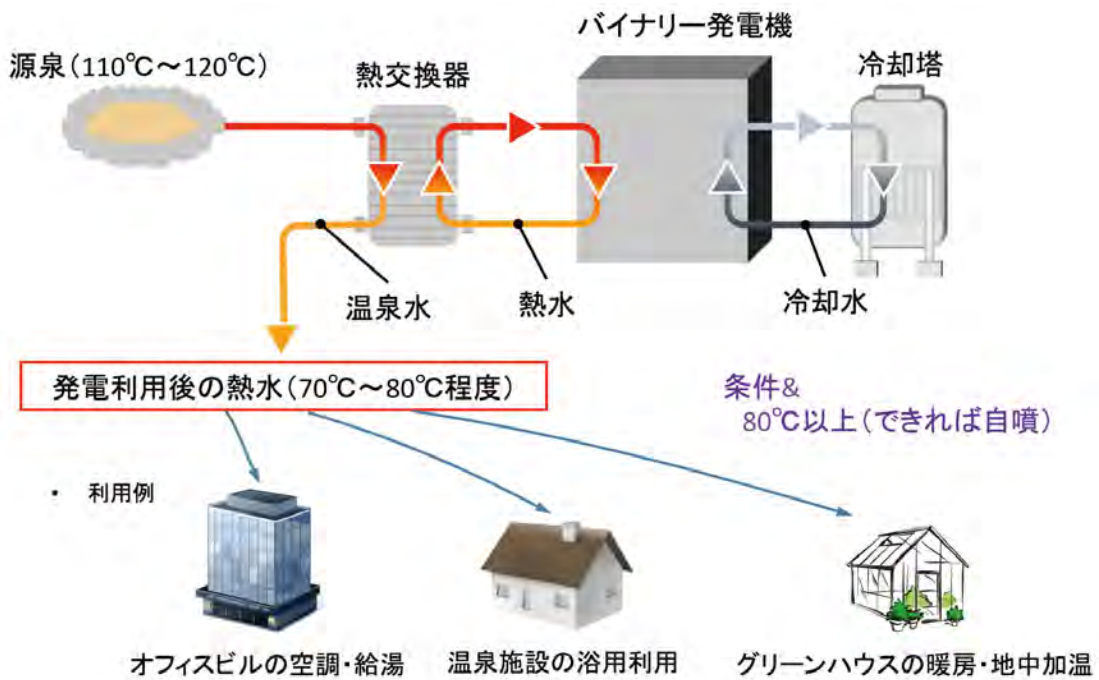


図 13 温泉発電の概念図 (藤野敏雄氏 作図)

5. これからの地熱発電

世界の国々で、地熱発電が見込みのある産業としてしっかり伸びを示す一方、日本では10年以上新しい地熱発電所の建設はなく、大きく世界に立ち遅れることとなりました。しかし、21世紀に入り、地球環境問題とエネルギー枯渇（な^{こかつ}くなること）が本当のものになってくると、期待されるエネルギーとして再生可能エネルギーが注目されることとなり、日本に豊富な地熱資源を電源として利用することが重要だと指摘されることとなりました。地熱発電の順調な発展をはばむ三つの問題、発電コスト、自然公園内での開発、温泉との競合、の問題についても、それぞれ対応策（^{たいおうさく}どうしたらよいかの方法）が示され、地熱発電を伸ばす準備が整ってきています。地熱発電所の建設には適する地域を見つけ、調査を行い、ボーリングにより資源を掘り当てて、ちょうどいい規模を見定めるなど時間が必要です。2020年ころまでは、数1000kW規模の開発、^{だんかいてき}段階的な（少しずつ階段をしっかりとのぼるような）地熱開発、小規模の温泉発電に着手することから始め、その間しばらくは太陽光発電や風力発電にがんばってもらい、地熱発電は2020年より後にしっかりした開発を目指すのがよいでしょう。これからのシナリオとしては、ゆっくりした確実なシナリオ（ベースシナリオ）、できるだけ努力を行うシナリオ（ベストシナリオ）、いろいろな障害をもとから見直し理想的な状態にするシナリオ（ドリームシナリオ）を用意し、少しでもよいシナリオになるように準備に入っています（図14）。

日本の電力のようすを考えると、火力発電や原子力発電をいっぺんになくすることはできません。また、地熱発電ですべての電力をまかなうこともできません。

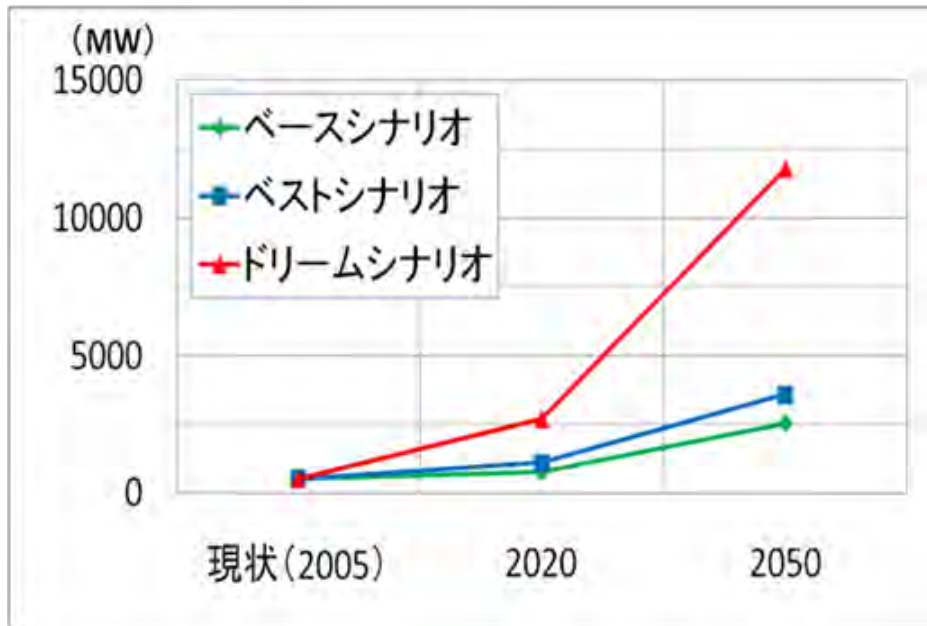
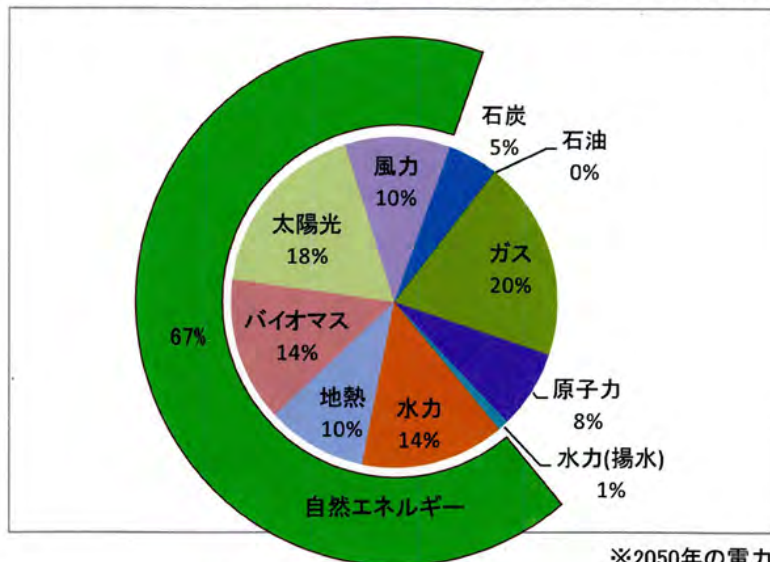


図 14 これからの地熱発電の伸び（江原ほか，2008 のデータによる）

2050年 自然エネルギービジョン：電力

■2050年の国内電力需要の60%以上を自然エネルギーにより供給する。



2050年のエネルギー源別の電力量の割合

※2050年の電力量の全体は8366億kWh
(参考:2000年の電力量は10,427億kWh)

©isep

4

図 15 2050年のエネルギー源別の電力量の割合（環境エネルギー政策研究所）

地域の特徴に合わせていろいろな再生可能エネルギーを開発して全電力の60%をカバーし、そのうち地熱発電だけで全部の電力の10%をまかなうことを2050年までの目標としてがんばっていくのがよいと考えています(図15)。

引用文献

地熱エンジニアリング株式会社「地熱発電の基礎知識 日本地熱発電所」

<<http://www.geothermal.co.jp/etc/geo03.htm>> (2014年10月27日)

江原幸雄・安達正敏・村岡洋文・安川香澄・松永烈・野田徹郎(2008) 2050

年自然エネルギービジョンにおける地熱エネルギーの貢献. 日本地熱学会誌, **30**, 165-179.

本藤祐樹(2000) ライフサイクルCO₂排出量による発電技術の評価ー最新デー

タによる再推計と前提条件の違いによる影響ー. 電力中央研究所研究報告書 Y99009. 124pp.

Geothermal Energy Association 「Basics 1.1.What is geothermal Energy?」

<<http://geo-energy.org/Basics.aspx>> (2014年10月27日)

International Geothermal Association 「Geothermal Information Resources

Geothermal Basics 」 <http://geo-energy.org/reports/Geo-GeothermalBasicsQandA-Sept2012_final.pdf> (2014年10月27日)

環境エネルギー政策研究所「2050年自然エネルギービジョン」

<<http://www.re-policy.jp/2050vision/2050vision080603.pdf#search='2050年自然エネルギービジョン'>> (2014年10月27日)

経済産業省「地熱発電に関する研究会（第1回）-配付資料 資料5 地熱発電

の開発可能性 <<http://www.meti.go.jp/committee/materials2/downloadfiles/g81201a05j.pdf>> (2014年10月27日)

気象庁 (2013) 日本活火山総覧 (第4版). 1500p.

九州大学理学部「インターネット博物館 雲仙普賢岳の噴火とその背景 5-1:地球

の構造」 <http://museum.sci.kyushu-u.ac.jp/Museum/Part5/P51/earth_struct.htm> (2014年10月27日)

内閣府「コスト検証委員会報告書（平成23年12月19日）各電源の発電コス

ト比較図」 <http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/npu/policy09/pdf/20111221/hokoku_kosutohikaku.pdf> (2014年10月27日)

日本地熱学会ホームページ「日本の地熱エネルギー 地熱発電とは 1. 地熱

エネルギー」 <http://grsj.gr.jp/jgea/index1_1.html> (2014年10月27日)

野田徹郎 (2013) 地熱発電の温泉への影響を科学的に考える. 温泉科学, 63,

224-237.

Resilience 「Peak Oil Primer」 <<http://www.resilience.org/primer>> (2014年

10月27日)

資源エネルギー庁「エネルギー白書2013 第2部 エネルギー動向 第3節 一

次エネルギーの動向 (2)再生可能エネルギー ⑦地熱 日本の地熱発電設備容量および発電電力量」 <<http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2013html/2-1-3.html>> (2014年10月27日)

ウィキペディア「原油価格」 <<http://ja.wikipedia.org/wiki/原油価格>> (2014

年10月27日)

3. 九州の火山と地熱を知ろう！ 『工作ワークショップ』の前に(^^)／

吉川美由紀（NPO 法人桜島ミュージアム，福岡大学・非常勤講師）

1. 『発電』ってなあに？

キミの身の回りを見わたしてみよう。何があるかな？ゲーム機とか，パソコンとか，テレビとか。冷蔵庫もあるよね？多くのものが電気の力を使って動いている。電気が無いとかなり困ったことになるね。

キミの生活に必要な電気は，何から作られるんだろう？

実は，地球が生み出す様々なモノやエネルギーからできている。石油とか，石炭とか，天然ガスとか，風力とか，水力とか，地熱（地球の熱）とか。そんなモノや力を電気に変えることを『発電』と呼んでいるよ。

2. 『地球が生みつづけるエネルギー』で発電する

2011年，3月11日。ひがしにほんだいしんさい東日本大震災がおこった。マグニチュード9クラスの地震が太平洋で起きた。海で起きた地震は，津波を起こした。この津波が福島県にあった福島第一原子力発電所をおそった。発電所は，めちゃくちゃに壊れてしまった。壊れた発電所からは，ヒトや動物の身体に悪影響を与える放射線が，今も飛び散っている。

実は，原子力発電も地球が生み出した『ウラン』を利用して発電している。ウランは『原子力』の源で，電気を作る材料にもなるけど，放射線を出すワル

モノでもある。「発電に、原子力ばかりを使うのはどうかなあ？いいのかなあ？」なんて考える人たちが、震災以降、たくさん出て来た。「原子力に代わるものはないかなあ？」と考えた人たちが、思いついたのが『再生可能エネルギー』だ。

3. 再生可能エネルギー？

再生可能エネルギーとは、「地球が活着ている限り、無くならない（と考えられる）エネルギー」のこと。最近よく耳にするから、今になって研究が始まったんだ、と思うかもしれないけれど、そうではない。再生可能エネルギーを使った発電の研究は、第二次世界大戦の前から、ずーっと行われていた。例えば、太陽からのエネルギーを使った太陽光発電。ちょっと見わたすと、色んな場所に太陽光パネルが置かれている。家の屋根はもちろん、田んぼが広がる風景のど真ん中に ずらーっ と太陽光パネルがならんでいることもある。太陽光発電の他にも、水が勢い良く流せる場所では 水力発電、風が強い場所では 風力発電の研究が行われ、発電所がつくられてきた。そして、マグマが地下にひそむ火山のある場所では 地熱発電の研究が行われ、発電所がつくられている。「せつかく研究し続けている上、発電所の建設技術もあるのだから、使わないともったいないよ。原子力や火力だけに頼るのではなく、バランスよく 再生可能エネルギーも発電に使おうよ。」という声が、震災以降、日本国中からあふれてきたんだね。

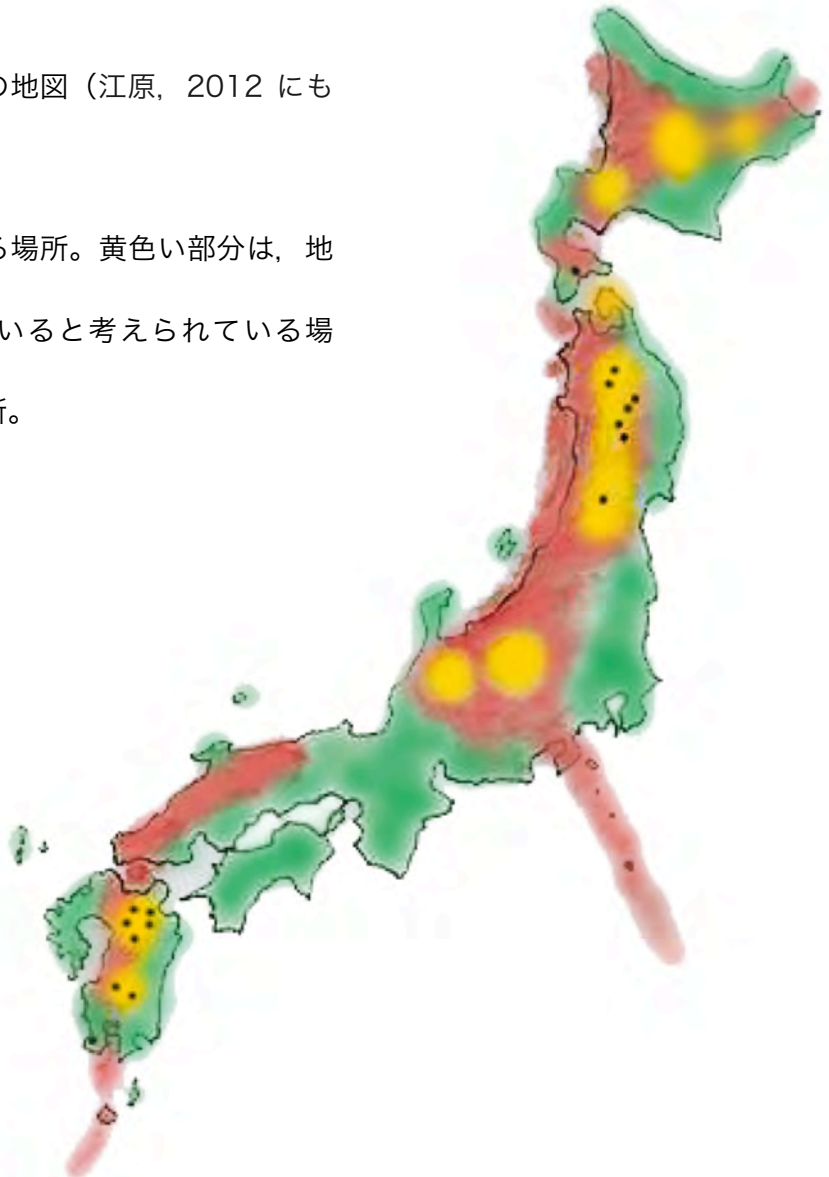
4. なぜ日本で『地熱発電』なの？

それは、日本が火山大国だから！

日本は、火山だらけの島国。噴火の可能性がある活火山が、少なくとも 110 個はある (図 1)。世界中で確認されている活火山は 2000 個ぐらい。世界の大きさと比べて、^{きょくたん} 極端に小さな島国にその約 20 分の 1 が集中しているってすご

図 1 火山と地熱発電所の地図 (江原, 2012 にもとづき作成)

赤い部分は、活火山がある場所。黄色い部分は、地熱エネルギーがひそんでいると考えられている場所。黒い点は、地熱発電所。



いでしょう? 「日本は、火山で出来ている島国」と考えてもおかしくないよね。

テレビで、^{ふんか} 噴火する火山を見たことがあるよね? すごくエネルギーを感じるよね? でも、噴火のエネルギーは、火山の持つエネルギーのほんの一部が、わ

た私たちの目に見える形になったもの。火山はものすごい量のエネルギーを蓄えている。地球が生きている限りそのエネルギーは無くならない。まさに、再生可能エネルギーだね。「そのエネルギーを電気にかえちゃえっ！」って発想が、『地熱発電』を生み出したんだよ。

5. 九州に地熱発電の日本一がある！！！！

世界に比べると小さな小さな島国の日本。九州島は、小さな島国の中の小さな島だ。この小さな島に 日本一の地熱発電所がある。

日本で最初に作られた地熱発電所は、残念ながら九州ではなく、岩手県の松川^{まつかわ}地熱発電所^{メガワット} (23.5 MW)。第二次世界大戦のあと、日本人たちが不自由なく電気を使えるように石油を利用した火力発電 や 水の流れる力を利用する水力発電など、地球の力を電気エネルギーに変える仕組みを作るために、たくさんの人々が努力してきた。地熱発電もその中の一つ。多くの人の研究努力が、1966年に松川^{たんじょう}発電所を誕生させた。次の年の1967年に誕生したのが、大分県の大岳^{おおたけ}地熱発電所 (12.5MW)。うーん、残念。誕生日では負けちゃった。

それじゃあ、何が日本一なんだろう？それは、一番大事な『パワー』だ！日本には、大岳地熱発電所以降も地熱発電所が誕生している。全部で17カ所あるうち、イチバンのパワフルな発電所が、大分県にある八丁原^{はっちょうばる}地熱発電所。最大で112MW、20万家族分の電気を生み出すことができるんだ。20万家族！とんでもない数だね。ちなみに日本にある地熱発電所が全力を出すと515MWの電力量がある。100万家族分。ちなみに日本には莫大な地熱エネルギーがひそんでいると考えられている。全地熱エネルギーを使うと2500MW、500万家族

分の電力を生み出せると考えられている。「もったいないじゃん。使わないと損そんだよ！」って思わない？

6. 火山と発電のしくみ

火山のエネルギーを利用して地熱発電は行われている。その仕組みをもう少し詳しく説明したものが、図2のイラスト。

火山の地下深いところにはマグマがある。マグマの熱は1000度ぐらい。その熱がじわじわと周りの大地に伝わって、地下浅い場所にある地下水タンクちねつちよりゆうそう（地熱貯留槽と呼んでいる）の水をあたためる。地下水は200度以上の蒸気と熱水が混ざり合わさったモノに変わり、いきおいよく吹き出す！発電所の中で、吹き出したものを蒸気と熱水に分ける。そのうち取り出された蒸気だけが、突風のような蒸気がタービンをやっぱりいきおいよく回しつづける。タービンとは、プロペラみたいなものこと。そのタービンが回転するエネルギーが、発電機に伝わり電気が誕生する。そしてキミたちの家や学校に電気が送られて行く。

7. 今日の工作

キミたちには、発電所を建設してもらいます。『発電のしくみ』のうち、タービンと発電機を建設してもらいます。いっしょにがんばろう！

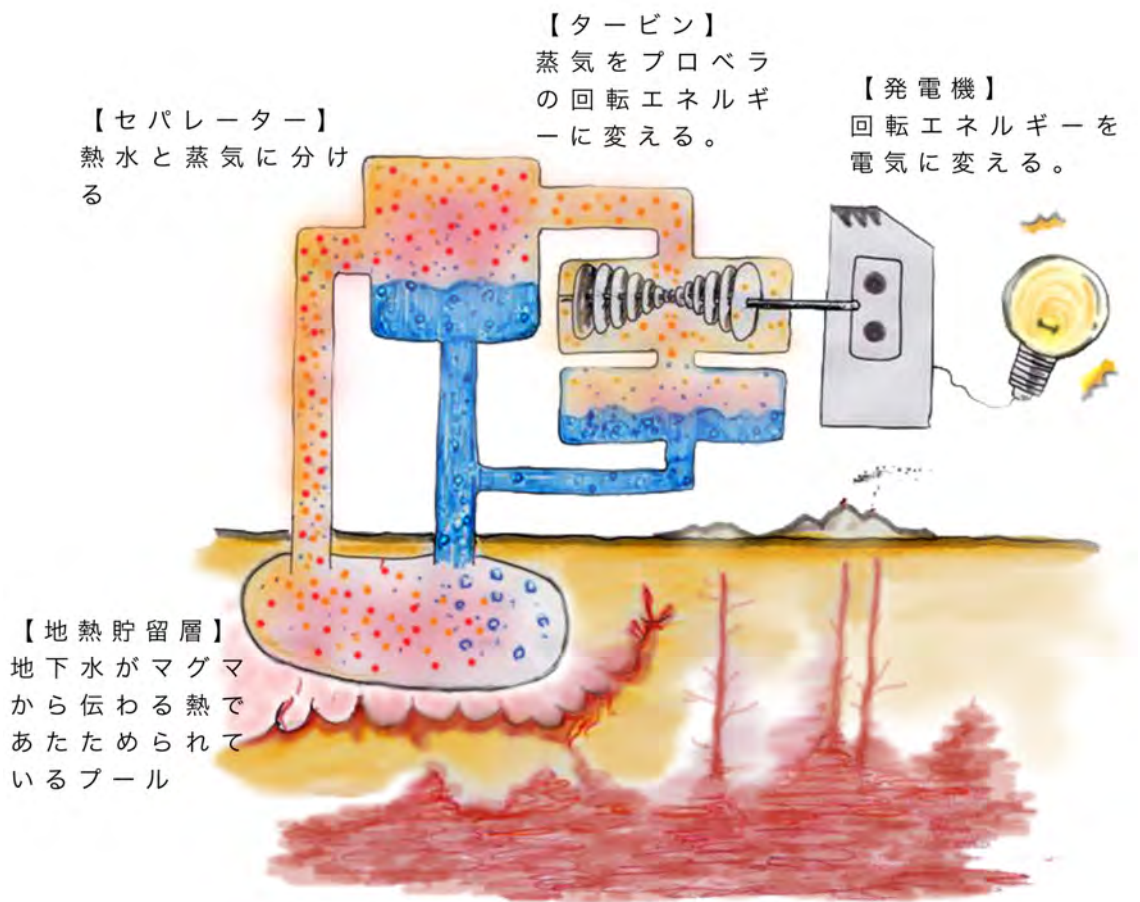


図2 火山と地熱発電のしくみ（當舎・内田，2012 にもとづき作成）

イラスト；藤丸阿弥

引用文献

- 江原幸雄（2012）地熱エネルギー —地球からの贈りもの—，オーム社，196p.
- 當舎利行・内田洋平（2012）トコトンやさしい地熱発電の本（今日からモノ知りシリーズ）．日刊工業新聞社，160p.

編集後記

九州には、数万年前に巨大噴火をおこしたカルデラ火山や、桜島や阿蘇など今も噴火活動を繰り返す活火山がたくさんあり、まずカルデラを中心に九州の火山について説明しています。特にカルデラ噴火は、近代日本が経験していない、皆さんの想像を超える現象です。マグマの恵みである地熱発電は、九州でも大分県の八丁原発電所などが稼働しており、地熱発電の現状と展望を解説しています。これらの講演から、火山の景観、災害の防止・軽減、活用を理解いただければ幸いです。さらに「工作ワークショップ」を通して地熱発電のしくみを理解し、貴重なエネルギー資源のひとつであることを再認識していただければと思います。最後に様々なお助言をいただいた松島 健（九州大）、下司信夫（産総研）、嶋野岳人（常葉大）の各氏、後援いただいた福岡県教育委員会、福岡市教育委員会、日本技術士会九州本部に感謝の意を表します。

大会実行委員長 奥野 充

日本火山学会 第21回公開講座「九州の火山と地熱を知ろう！」

（福岡大学七隈キャンパス）

発行日：2014年11月1日

表紙・イラスト：山浦基恵子

編集者：奥野 充・吉川美由紀・中西利典・田口幸洋

（日本火山学会2014年秋季大会実行委員会）

第一部

先生方のお話と質問コーナー

コーディネーター：田口幸洋 先生（福岡大学・教授）

【九州の火山】 カルデラ火山の壮大な景色とストーリー

小林哲夫 先生（福岡県立大学・教授）

野田徹郎 先生（東京大学大学院・名誉リサーチャー）

【地熱発電の現状と展望】

火山のエネルギーを電気に変える仕組みとその特長

会場にいる火山学者の先生

【なんでも Q and A】

発電や火山の爆火のこと
たっくん質問してみましょう！

第二部

ワークショップ

コーディネーター：吉川美由紀 先生
（防災ミュージアム・福岡大学・非常勤講師）

地熱発電の仕組みがわかるワークショップ

