

イエローストン国立公園

オールド・フェイスフル間欠泉の近況

笹田 政克 (地殻熱部)

Masakatsu SASADA

1. はじめに

わが国にもかつては 熱海に大湯と呼ばれる大きな間欠泉(ガイザー)があったが 温泉水のくみ上げ等の影響で大正時代に姿を消してしまっている。そして現在わが国で間欠泉といわれているものは 残念ながらほとんどが人工的なものである。そんなことも手伝ってか間欠泉というと 多くの人がまず思い浮かべるのがイエローストンであり オールド・フェイスフルであろう。

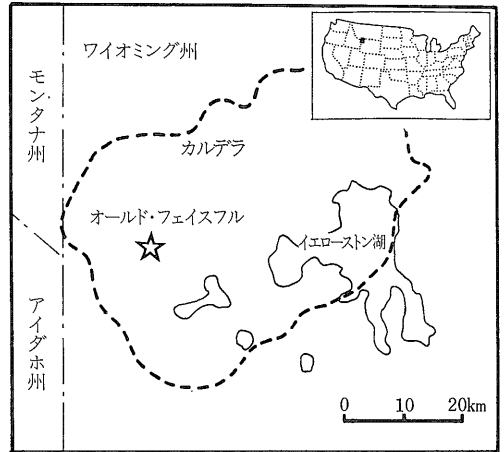
米国に来て2年目の1984年の秋 ワシントン・ポスト紙のイエローストン国立公園の近況を伝える記事にふと目がとまった。その見出しは「オールド・フェイスフルが 最近気まぐれになってきた」と書かれていた。

突然オールド・フェイスフルがフェイスフルでなくなりました。人間の観察が始められて以来 ずっと1時間前後の間隙で 轟音をあげて噴出していたこのガイザーに このところ遅れが目立つようになってきている。何年もの間 時々小さなばらつきはあったが オールド・フェイスフルは平均64分毎に時計じかけのように噴出してきた。しかし この夏の旅行者の見るオールド・フェイスフルは 噴出間隔が不規則で 80分以上かかることもしばしばある。忍耐強くない旅行者の中には 噴出を見ずに立去る者もある。また ある旅行者はその不満を公園職員にぶつけるという。それで公園管理側では このガイザーの近くに次のような掲示を出している。「私たちはたんに噴出時刻を予告をしているのであって 私たちが時刻を決めているのではないことを 覚えておいて下さい。」

公園の主任ガイザー観察員(Geyszer gazer) Hutchinson氏は 噴出間隔に変化がでてきていることは まだ地面の動きが落ちていない火山の上にある この公園での地質学的変化の一面にすぎないと述べている。……(1984.9.28付 ワシントン・ポスト)

2. サンフランシスコで

この Hutchinson氏とは その年の12月にサンフランシスコで開かれたアメリカ地球物理学連合(AGU) 秋季大会のポスター・セッションの会場で 偶然ブースが隣合わせとなった。彼は最近のオールド・フェイスフル



第1図 イエローストン・カルデラとオールド・フェイスフル
破線はカルデラを表す。

の噴出状況の変化について 前年に起ったアイダホ州での地震との関連で次のような内容の発表を行っていた。

1983年10月28日午前8時6分に アイダホ州 Borah Peak で起きた地震は イエローストン国立公園およびロッキー山脈北部をゆるがした。ちょうど1959年のモンタナ州 Hebgen Lake で起った地震が イエローストンのガイザーおよび温泉の活動に大きな変化を引き起こしたように Borah Peak の地震(M=7.0+)も 震源から240 km 離れたアッパー・ガイザー・ベイズン(ここにはオールド・フェイスフルほか多数のガイザーが存在する一筆者注)での熱水活動に変化をもたらした。1983年12月中旬までにオールド・フェイスフルでは 噴出前兆現象の様相噴出時間および噴出間隔に はっきりとした変化が観測された。平均噴出間隔は これまでの記録ともいえる78分になった。かつても大きな地震の後には 今回と似たような平均間隔の伸びはあった。この噴出の変化は地下水の循環の変化が主たる要因と考えられる。

3. そして イエローストンへ

さて この狂い始めたオールド・フェイスフルはいまどうなっているのだろうか。こんな気持を抱いて

翌85年の6月 私はイエローストンを訪れた。イエローストンは 1872年にアメリカで初めて国立公園に制定されたところで ワイオミング州西北の一角に位置する(第1図)。ここには北米大陸の分水嶺が走っており西へ向かう水系はコロンビア川に合流し太平洋に注ぎ東へ向かう流れはミズーリ川 ミシシッピ川を経てメキシコ湾へと注いでいる。しかし分水嶺とはいってもわが国の脊梁山地のように急峻なものではなく 標識がでていなければ気づかずに車で走り抜けてしまいそうなただらかなところである。

さて このイエローストンへは いくつかのはいり方があるが 今回はワイオミング側の Cody からのルートを選んだ。Cody の街はワイオミングの荒野がロッキーの山々にぶつかるところに位置しており 夏になるとイエローストンへの旅行客でにぎわいをみせる。街はずれでは毎晩ロデオが催され カウボーイ カウガール達が 自慢の手綱さばきや投げ縄を見せてくれる。

イエローストンへ向う日は 朝日を背にうけながら堆積岩類のおりなす縞模様の美しい山々の中へ車を走らせていった。しばらく行くと 山容は一変し赤茶けた山肌となり かなりの厚さのタフが どこまでも続いている。ハイウェイ・ジオロジック・マップを広げると第三紀の火山岩類がイエローストンを取り囲むような形で広い範囲に描かれてあった。イエローストンをホット・スポットで説明する際に リソスフェアの動きを反映して西のスネーク・リヴァー側から火成活動が相対的に東へと移ってきているとよくいわれるが それでは

この膨大な火山岩類はそのホット・スポットとどのように関連するのだろうか。そんな疑問がふと脳裏をよぎる。

やがて道路は狭くなり 登り坂も急になる。そして紫や黄色の草花が山の縁に映えるようになると 間もなく公園の入口に到着する。Cody から約2時間のドライブであった。アメリカの国立公園では どこでも入園料をとられるが ここではイエローストンとその南側のグランド・テトンの2つの公園をあわせて2ドルであった。国立公園全体のバランス・シートを見ると 現在 入園料等からの収入は 全体の経費の7%だそうであるが 1979年の法案で入園料は据え置きになっており値上げには議会の強い反対が予想されている。

さて 2ドルを係員に渡して イエローストン国立公園全体の地図と 公園内での動物たちとの対応のマナーを書いたリーフレットをもらう。そしてレシートの日付から1週間は公園への出入りは自由ですという説明をうけ いよいよ待望のイエローストンへとはいる。

4. カルデラはどこ？

標高2500mを越える峠までは 急な登り坂が続き 火山岩類がけわしい崖をつくっている。6月だというのにまだ雪が残っており 急斜面には雪どけの豊かな水が滝をかけている。峠をすぎると道はだらだらの下りとなり 30分ほどでイエローストン湖畔に出る。窓をあけると硫化水素の臭いが鼻をつく。湖畔の湿地からは温泉が湧出しており その向こうではバイソンが草をはんでいる。このイエローストン湖(写真1)は60万年前にできたカルデラの南西縁にあたっているとのことであるが 周囲の山々の起伏がきわめて緩やかである上 たけの高い針葉樹で一面被われているため いくら見わたしても カルデラのへりがどこにあるのか まったく見当がつかない。

さて米国地質調査所の長期にわたる観測によるとカルデラ内では 現在も土地の隆起が続いていることがわかっている。その変位量は1923年から1983年にかけて 最大89cmであり また 1976—83年には 最大17cmの隆起が観測されているとのことである(米国地質調査所



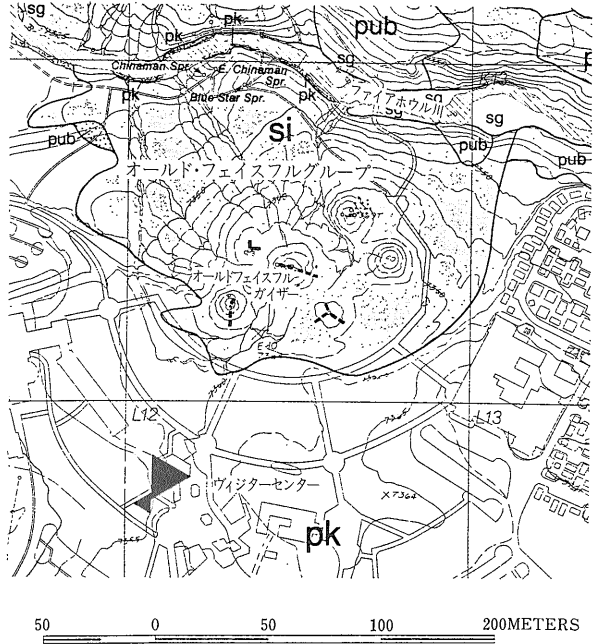
写真1 ウェスト・サムから見たイエローストン湖。
手前の白色部は温泉の湧出地

資料による)。

5. オールド・フェイスフル

途中 温泉や動物たちに時間をとられてしまったこともあって オールド・フェイスフルに到着したとき 時計の針はすでに2時を回っていた。 駐車場に車をつけると 木立の向こうから 大勢の人たちがこちらに向けて歩いてくる。 どうやら今 オールド・フェイスフルの活動が終わったばかりのようだ。 昼食をとる時間は十分ありそうだが オールド・フェイスフルの気まぐれさも気にかかるので まずはビジター・センターで次の噴出時刻を確認することにした。

ビジター・センターには 公園内の主だったガイザーの噴出時刻の予告が出されており 次のオールド・フェイスフルは 2時57分に噴出の予定 ただし10分の誤差ありとなっていた(写真2)。 この予告板のすぐわきでは 制服の公園職員(パーク・レンジャー)が来訪者の応待をしていたのでこの気になるオールド・フェイスフルの最近の状況について尋ねてみた。 その公園職員によれば オールド・フェイスフルは 83年のアイダホ州 Borah Peak の地震前には 噴出間隔が平均69分であったが 地震後の翌84年には それが76分になってしまった。 そして 85年にはいってからの平均は 71分であるという。 なお 噴出のパターンおよび高さは 地



第2図 オールド・フェイスフル周辺の地質図 (Muffler et al., 1982)
 si: 温泉の化学的沈澱物(シンター)
 sg: 河川堆積物
 pk: 氷河に接して堆積した陶汰のよくない氷成堆積物(ケイム)
 pub: 流紋岩(イエローストン・カルデラ内に広く分布する台地状流紋岩の一部)

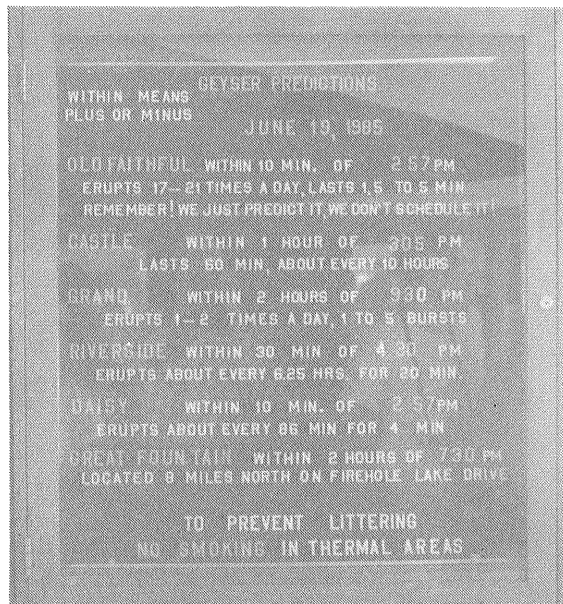


写真2 ヴィジター・センター内におかれている主要ガイザー噴出時刻予告掲示板

震前と変わっていないとのことであった。 また誤差表示についても 地震前とまったく同じですという話であった。 どうやらオールド・フェイスフルは 落ちつきをとり戻してきているように見える。

次の噴出予告時刻まで まだ十分時間があったので ファースト・フードの店でゆっくりと食事を取り 20分前にオールド・フェイスフルの前にやってきた(第2図)。 やがて予告10分前頃になると オールド・フェイスフルを囲むようにして置かれているベンチは 見物客で埋まる。 そして時刻が近づくと 小さな噴出が頻繁になってきた。 その1つ1つの水の舞い上りに 大きな噴出への期待で胸が高ぶる。 はたして 予告時刻より5分ほど遅れ オールド・フェイスフルは見事に吹き上がった(写真3)。

6. 再びオールド・フェイスフルで

翌々日 イエローストンを去る日にあたり もう一度 地質ニュース 383号

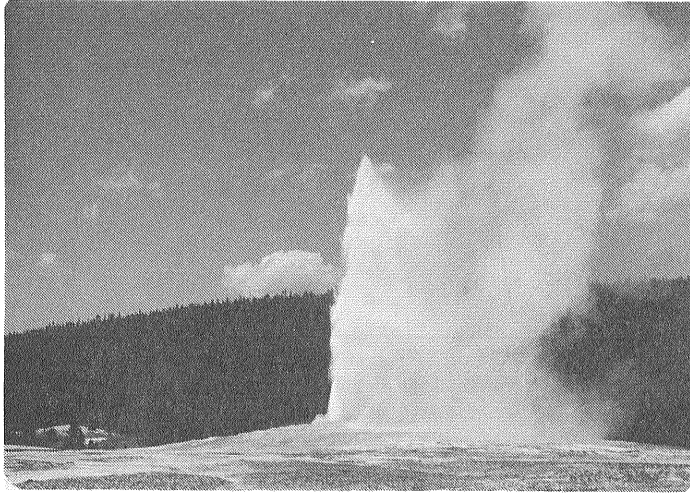


写真3 ほぼ予告時刻に噴出したオールド・フェイスフル

あのオールド・フェイスフルを眺めてみたいという気持ちが抑えきれず 再びほぼ同じ時刻にここにやってきた。今度もちょうど噴出が終わった後だったらしく 予告板を見ると 次の噴出時刻まで小1時間あった。ビジター・センターでガイザーについての小冊子を買求めていると フィルムが上映されるというアナウンスが聞こえてきたので 噴出までの間それで時間をつぶすことにした。アメリカの国立公園では 常時様々な催しが企画されており ビジター・センターで映画やスライドにより公園の自然を紹介しているところも多い。ここで観たフィルムは イエローストンの地質についてのものであった。まずは白頭鷲のカップルが空からイエ

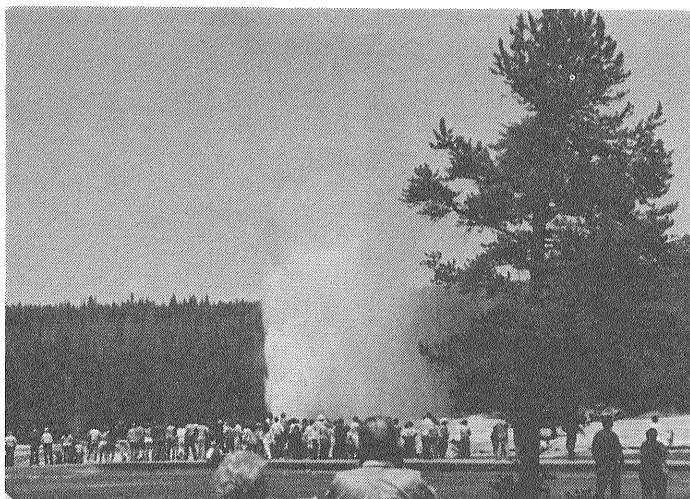


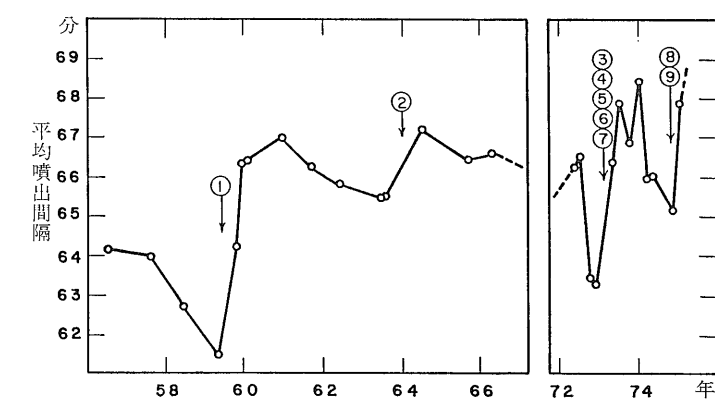
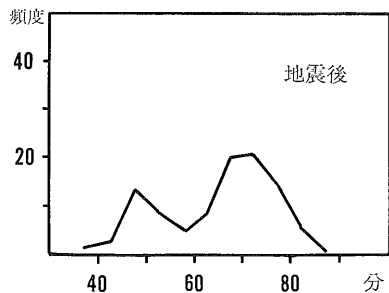
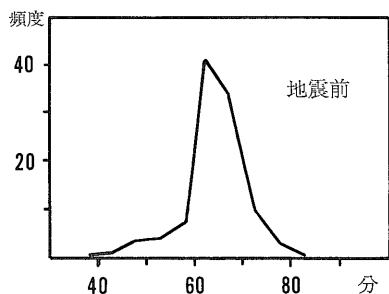
写真4 オールド・フェイスフルのすぐ西隣にあるガイザー

ローストンを眺めるシーンから始まり 次に地下のマグマの動きが 赤い布をまとったダンサーにより表現される。このマグマ・ダンサーのまわりでは 黒い布をまとったダンサーが地殻の動きを表現する。地球の生きた姿が実によく表現されているように思えた。この映画には また米国地質調査所の Christensen 氏をはじめ 何人かのジオロジスト ジオフィジシストが登場し イエローストンの生い立ちや現在の地下の様子などについて解説している。そして カントリー・ウェスタン調のジオロジーの歌でフィナーレとなる。なかなか楽しい映画であった。

そうこうしているうちに 噴出予告時刻の15分前となったので ビジター・センターを出て オールド・フェイスフルに向った。といっても両者の間は100mほどの距離であり ビジター・センターからでもガラス窓越しに オールド・フェイスフルを眺めることはできる。前回同様 予告時刻の10分前ともなると かなりの人垣ができた。ところが今回は 予告時刻を10分過ぎても あの思わせぶりの小さな水の舞ばかりで いっこうに大きな噴出が始まらない。そのうちにすぐ隣のガイザーが噴出をはじめ 気の短い見物客たちは そちらに移動してしまった(写真4)。この様子を横目で見ていた日本人観光客が 「おいおい こっちのお湯を全部むこうにすいとられたみたいだぞ」と

大声をあげる。だいたいいらいらしている様子である。やがて隣のガイザーの噴出も終り 見物客たちはまたオールド・フェイスフルへと戻ってきた。

20分が経過。それでもまだオールド・フェイスフルは あの小さな水の舞を繰り返すばかりである。日本人グループは もう絶望的な面持ちになってきている。そして 25分になろうとしたとき オールド・フェイスフルはようやく吹き上がりはじめた。長い時間間隔があったためか 噴出の勢いはすばらしい(写真5)。よく写真で見ると一昨日のオールド・フェイスフルも美しかったが 今回の力強い吹き上がりも なかなか見事であった。オールド・フェイスフルの2つの姿を見て 私自身しばし満足感



第4図 平均噴出間隔の経年変化 (Rinehart, 1976)
矢印は地震を示す (①が Hebgen Lake 地震)

第3図
1959年の Hebgen Lake 地震前後のオールド・フェイスフルの噴出間隔の頻度分布 (Marler, 1974)

を覚えた。しかし それもつかの間 オールド・フェイスフルは やはり狂ってきているのだろうかという疑念にまたとらわれた。公園職員の話では 地震前の状況に戻ってきているという話であったが……。

7. フェイスレスなオールド・フェイスフル

あの25分も遅れたオールド・フェイスフルの噴出を私は地震の後遺症との関連でしか考えていなかったが その夜 Marler の「オールド・フェイスフルの話」という小冊子をひもといて 実はオールド・フェイスフル

には 平時でも見物客を裏切るような遅れがしばしば起こっていることを知りしが然とした。オールド・フェイスフルを訪れる観光客のほとんどは 時間に忠実なオールド・フェイスフルという伝説を信じている。あのワシントン・ポストの記事も 本来規則正しいオールド・フェイスフルが地震でおかしくなったという主旨であった。私の理解もそのようなものであった。しかし オールド・フェイスフルは つねにフェイスレスさを内包しており そのフェイスレスさが地震の後特にひどくなっているというのが実際の姿だったのである (第3 4図)。

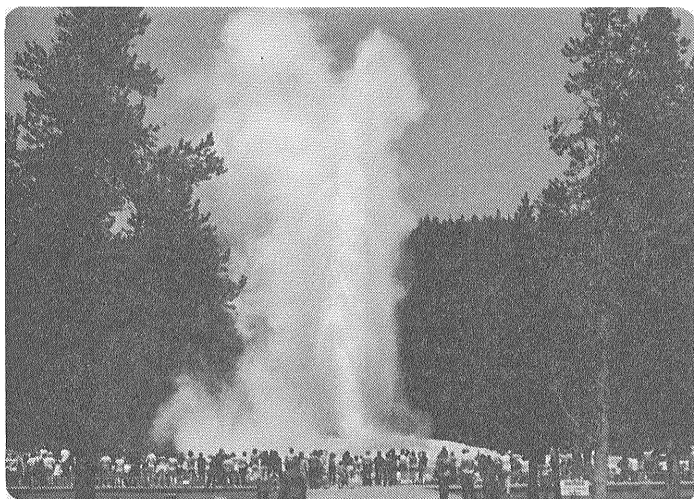


写真5
25分遅れで吹き上がったオールド・フェイスフル

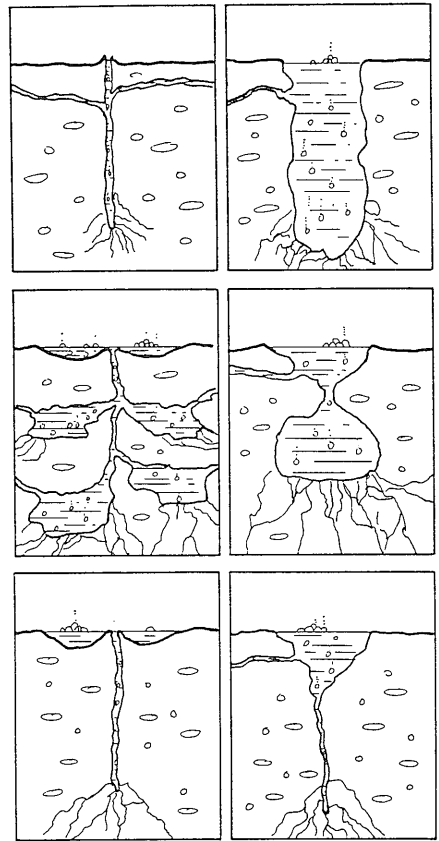
8. 噴出のメカニズム

ガイザーの噴出には 様々なパターンがあり 単一のモデルですべてのガイザーは説明できないという (第5図). オールド・フェイスフルでは 地表から23mの間はほぼまっすぐな管となっており (第5図の左上のモデル) この比較的単純な構造が 噴出が規則的であることと大きく関係しているといわれている.

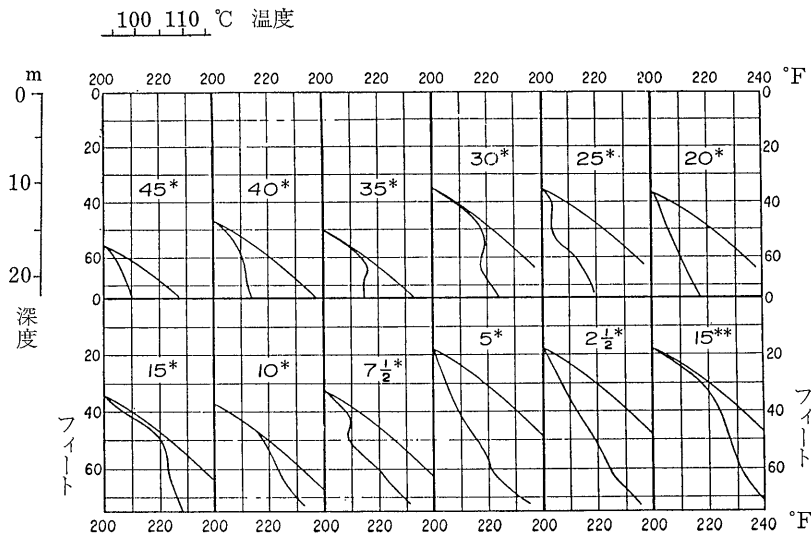
オールド・フェイスフルの温度・圧力測定は 1948年に Birch と Kennedy により行われ その結果は1972年の AGU のモノグラフに公表されている (第6図). また 最近も1984年に Kieffer と Westphal によりいくつかの深度で温度・圧力が再測定されている.

オールド・フェイスフルは 標高2200mの高さにあるため 地表での水の沸点は93℃ (200°F)である. ガイザー内の水の表面の温度は 第6図からも明らかなように つねにこの温度を保っている. つまり表面はつねに沸騰状態にある. しかし 噴出時以外はその下では水温は水の沸騰曲線より低温側にあるので そこでは沸騰は起こっていない. 第6図に示されている水の沸騰曲線は ガイザーの管内の水面の温度を その標高における沸点にあわせ それで深の沸騰温度を その上の水柱の圧力から求めて作成されている.

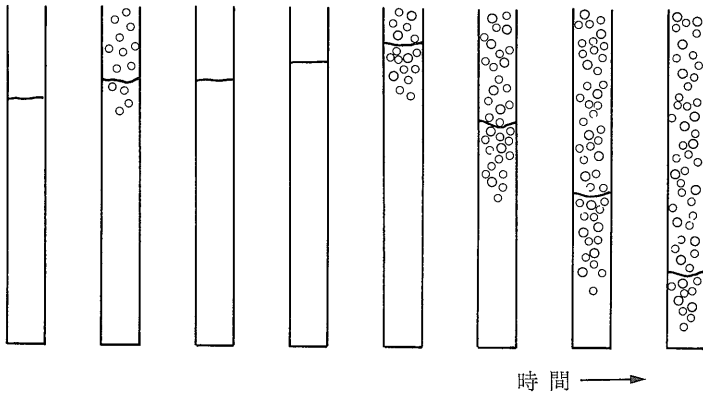
さて 第6図を眺めてみると 噴出の15秒前には 表層付近の水温が かなりの範囲で水の沸騰曲線に近づいてきているとともに 深部での水温も上昇してきている様子がわかる. その後 表面付近で水温が沸騰曲線に一致し 沸騰がある深さまで起こると それを引き金と



第5図 ガイザーの地下構造モデル (Rinehart, 1976)



第6図
オールド・フェイスフルの噴出前の水温分布の変化 (Birch and Kennedy, 1972) 2本の曲線のうち、左下側が水温を、右上側が水の沸騰曲線 (本文参照) を示す. 各図中の数字は噴出までの時間を表わしており星印1つは分、星印2つは秒.



第7図
 オールド・フェイスフルの噴出前および噴出時の水位の変化と沸騰の様子。Kieffer and Westphal (1985) にもとづく。
 右側4つの状態が噴出時の状況
 左から2番目は小さな水の舞に対応する。

時間 →

なって 大きな噴出へとつながっていく。表層のある範囲で 規模の大きな沸騰が起こると かなりの量の水が管内からとり出され 下方の水圧は低下する。そのため 下部でもその水温で沸点に到達するという状況が生じ 沸騰深度がどんどん下にさがっていくことになる。これがこのタイプのガイザーの噴出のメカニズムである (第7図)。

次に噴出前の状況に目を向けると 水位がまだそれほど高くない時期でも 表層付近の水温が沸騰曲線に一致している場合が見られる (たとえば 第6図の噴出10分前の状況)。この状況は小さな水の舞に対応しているようにみえる。

さて第6図に示したオールド・フェイスフルの水位・水温の変化は オールド・フェイスフルがどのような状況でフェイスレスになるかを考える上でも興味深い。

この図は繰返し起っている噴出にいたる過程の一例にすぎないが 水温の時間変化にみられる不規則性から 小さな水の舞や 管内での対流のパターンの変化が 噴出までの時間に微妙な影響を与えるであろうことが推察される。

では 地震の後に見られる さらに大きな変化は 何に由来するのであろうか。その主な原因は Hutchinson 氏もいわれたように ガイザーに流入する水系の変化であろう。大きな地震の際には 地上の建物が壊れるのと同じように 地下でも熱水の通路が破壊されたり また新たに生じた割れ目が熱水の通路になったりする。それが ガイザーに供給される熱水量および水温に影響を及ぼすのであろう。

9. エピローグ

オールド・フェイスフルという名称は 1870年にイエローストンにはいった Washburn 隊がこのガイザーを2日間観察した結果 付けたものだということであ

る。確かにオールド・フェイスフルは 1日21-23回の噴出があるときは たいへん規則的に見える。彼らはそういう時期にこのガイザーを見たのであろう。しかし その時からパーク・レンジャーたちの悩みが始まったともいえる。

1985年12月 サンフランシスコでの AGU の秋季大会で Hutchinson 氏に再会した。彼に最近のオールド・フェイスフルについて尋ねると 「この秋になって 公園の北西部でM3-5の地震が頻発しており 建物への被害はないのだけれど またオールド・フェイスフルに遅れが出るのがあって……」と いつもの悩みをポツリと述べておられた。

参 考 文 献

Birch, F. and Kennedy, G.C. (1972): Notes on geyser temperatures in Iceland and Yellowstone National Park. Geophysical Monograph 16, p.329-336.
 Hutchinson, R.A. (1984): Effects of the 1983 Borah Peak Idaho, earthquake on Old Faithful Geyser's eruptive behavior. Eos Vol. 65, p.1113.
 Kieffer, S. W. and Westphal, J. (1985): Pressure and temperature measurements in Old Faithful Geyser, Eos Vol. 66, p.1152.
 Marler, G.D. (1974): The story of Old Faithful. Yellowstone Library and Musium Association, 48p.
 Muffler, L. J. P., White, D. E., Beeson, M. H. and Truesdell, A. H.(1982) Geologic Map of Upper Geyser Basin, Yellowstone National Park, Wyoming. I-1371, U. S. Geological Survey.
 Rinehart, J.S. (1976) A guide to geyser gazing. Hyper Dynamics. 64p.
 Rinehart, J. S. (1980): Geysers and geothermal energy. Springer-Verlag. 223p.
 U. S. Geological Survey (1980): Ferdinand Vandiveer Hayden and the founding of Yellowstone National Park. 44p.