

目 次

フォーラム「登山を楽しくする科学 (VIII)」開催にあたって・・・・・・・・・・ 2

日本山岳会 科学委員会

委員長 福 岡 孝 昭

講演1 「あなたにもできる！ 山の天気を解析しよう」・・・・・・・・・・ 3

松 森 徹

- ・ 気象の基本知識
- ・ 大気と水蒸気
- ・ 実際に会った山の天気の解析 北アルプス・雪倉岳など

講演2 「日本の森列伝から一北限のブナ、立山スギ」・・・・・・・・・・ 9

米 倉 久 邦

- ・ ブナ10万年の彷徨 北から南へ、また北へ
- ・ 北限のブナの生き方
- ・ 屋久島をはるかに凌ぐ巨大スギ群
- ・ 謎に満ちた独特の生態

講演3 「そもそも火山ってなに？— 誕生、噴火、溶岩の基礎知識」・・・・・・・・ 17

福 岡 孝 昭

- ・ はじめに
- ・ 火山と非火山
- ・ マグマの発生
- ・ マグマの上昇・噴火
- ・ 火山噴出物
- ・ 火山の恵みと災害
- ・ おわりに

フォーラム「登山を楽しくする科学（Ⅷ）」開催にあたって

日本山岳会科学委員会委員長 福岡孝昭

この度は日本山岳会科学委員会のフォーラム「登山を楽しくする科学（Ⅷ）」において頂きありがとうございます。日本山岳会科学委員会はこれまで、会員及び一般登山者の方々に、単に技術に関する情報のみでなく、山に関連した幅の広い情報を提供することにより、心豊かな山登りを願って、フォーラム（座学）と探索山行（実践）を主催してきました。これらの行事を通じて、安全な登山を行う情報も得て頂ければと願っている次第です。山岳会の公益法人化にともない、一般登山者への啓蒙活動という面では、これらの行事は山岳会の重要な活動にもなっています。

フォーラムは今回で8回目です。これまでに高山植物、山の動物、気象、登山ウェア、山での食事、怪我、温泉、氷河、南極、山の形、火山噴火等に関する講演を行ってきました。

今回の第一の講演は、山の天気を理解するための基本知識についてのやさしい解説が最初にあります。入山中の天気の急変への対応法は登山者にとって大変重要であります。登山中の天気がどのような気象条件で生じているのか、山の天気の解析事例2件をあげて解説されます。

第二の講演は、日本の山（特に麓）の多くは森林におおわれています。その森の成り立ち、恵みについてブナの北限（北海道）と北アルプス立山のスギ（立山スギ）を例に解説されます。ブナが気候変化にともなって南や北に移動して行く話と、屋久島をしのぐ立山スギがいかに見事であるかに耳を傾けてください。

第三の講演は、一昨年9月の御嶽山噴火以来、登山界で話題の火山について、火山と非火山の違い、マグマはどのようにして生じるのか、生じたマグマが上昇噴火に至る過程、噴出物の種類と性質について、最後に火山による恵について解説されます。

お帰りになる前に、アンケートにご回答頂き、来年もフォーラムに足をお運びください。山に関する知識・情報を増やして下さることを期待する次第です。毎回参加されて、この資料を集めると、一つの山の知識集が出来ていくことになります。6月に予定されている探索山行にも、是非参加頂くとともに、非会員の方の山岳会への入会をお待ちしています。

最後に、会場の提供を頂いた立正大学に感謝申し上げます。

あなたにも出来る！山の天気解析

気象予報士 松森 徹

1. はじめに

今回は「登山を楽しくする科学」がテーマです。楽で楽しい登山というのがあります。しかし、山岳会に所属されている皆さんにとっては、事前の準備と山の中で、頭や体力を使うほど、下山後にも報告書作成などで考える作業がある方が、より充実した、創造的な、楽しい山行と感じられるのではないのでしょうか。

天気は登山の楽しさと安全に大きな影響を与えます。山の天気についても、自分で考える要素があれば、登山をより楽しくできそうです。基本的な科学と気象の知識で、天気予報を利用する際に、どのような要因でそのような予報になったのか、山で体験した天気がどのような気象条件で発生したのかなどを考えることができます。

2. 大気と水蒸気

地表から高度 6,000m~16,000m 程度まで（緯度や季節により異なります。）の、水平方向の風や、上昇気流、下降気流が活発な領域を対流圏と呼びます。

対流圏の大気中には 1%未満程度の水蒸気が含まれますが、この水蒸気が顕著な気象現象である台風のエネルギー源、雲の発生、降水、などの要因になります。

気温が高いほど、空気中に存在できる最大の水蒸気量（その温度での飽和水蒸気量といいます。）は増えます。21°Cでは 1m³ 中の飽和水蒸気量は約 18g です。水蒸気 18g がどの程度の容積になるか？高校の頃の勉強を思い出しながら、ご一緒に考えていただきたいと思います。（水の分子量は 18 ですから、水 18g は 1mol、1mol の気体の体積は・・・？）

1、大気の構造-1 日本山岳会フォーラム「登山を楽しくする科学」2016/2/12

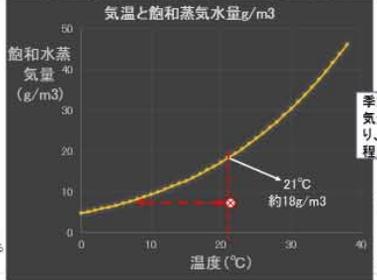
主な気象現象は気流変化が活発な対流圏で起きる



- 対流圏
地表から6~16kmまで
空気の80%が存在
風や上昇、下降気流が
活発。
- 大気の組成
酸素: 21%
窒素: 78%
アルゴン: 0.9%
二酸化炭素: 0.04%
(400ppm)
水蒸気<1%
↓
水蒸気が顕著な気象現象の要因になる。…雨、雪、台風のエネルギー源など

2-⑤ 気温と大気中の水蒸気量 日本山岳会フォーラム「登山を楽しくする科学」2016/2/12

気温が高いほど、飽和水蒸気量（その温度で空気中に存在できる最大の水蒸気量）は多くなる



気温と飽和水蒸気量 g/m³

飽和水蒸気量 (g/m³)

温度 (°C)

21°C 約18g/m³

季節にもよるが、水蒸気量は、大気1m³当たり、およそ数gから40g程度

H₂O
分子量: 18
18gは1mol
1molの気体は
22.4L(0°C、1気圧)

気温が下がると、飽和水蒸気量は少なくなります。水蒸気を含む空気が上昇すると、温度が下がり、ある温度で空気中の水蒸気が微細な水滴（0.01mm 程度）となります。（凝結する。）これが雲の発生です。

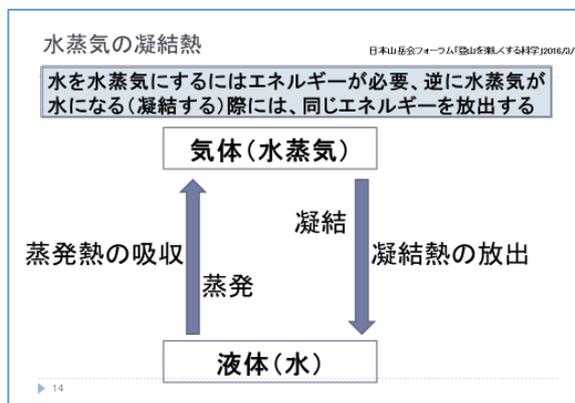
夏にコップにビールを注ぐと、グラス表面に結露が生じます。これは冷たいビールでグラス表面付近の空気が冷やされ、飽和水蒸気量が少なくなって、水蒸気が水になる（凝結）現象です。

凝結が起こる温度を露点温度と呼びます。結露が生じる温度、と考えていただいて結構です。空気を冷やして、露点温度になると、凝結が起きます。

空気の温度と露点温度の差を「湿数」と呼びます。直感的にお分かりになると思いますが、湿った空気ほど湿数は小さくなります。少し温度を下げただけで、水蒸気が凝結し出す訳です。

水を蒸発させるには熱を加える必要があります。加えた熱は水に吸収されて蒸気になります。（蒸発熱の吸収）したがって、水蒸気はその熱エネルギーを持っています。逆に、水蒸気が凝結して水に戻る際には、そのエネルギーを放出します。（凝結熱の放出）

大気中の水蒸気はエネルギーを持っています。地球温暖化で気温が上昇すれば、大気中の水蒸気量が増え、顕著な気象現象が増える可能性があります。（判断には、長期的な観測、統計が必要な分野です。）



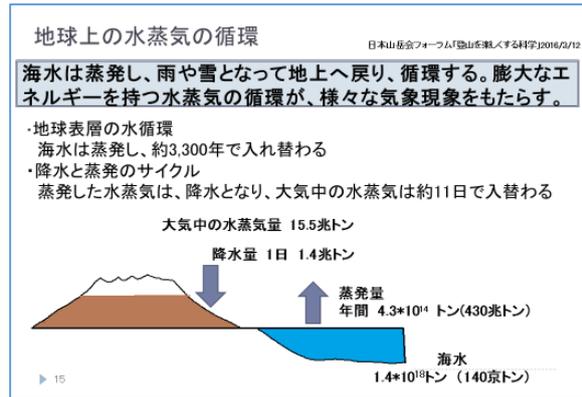
大気中の水蒸気はエネルギーを持っているといっても、皆さんイメージがわきにくいと思います。

身近な例として、電気ポットで水を沸かし、さらに水蒸気にするとしたら、どのくらい時間が掛かるのかを概算することでエネルギー量をイメージしていただければと思います。

水 1kg の温度を 1℃ 上げるのに必要なエネルギーが 1kcal、沸騰水 1kg を水蒸気に変えるのに必要なエネルギーは 539kcal です。水を沸騰させるまでのエネルギーに比べ、沸騰したその水を、すべて蒸気に変えるには、はるかに大きなエネルギーが必要となります。

太陽のエネルギーで海水が蒸発し、大気中に膨大な水蒸気が供給され、その水蒸気が凝結して雲になり、降水となり海へ戻ります。

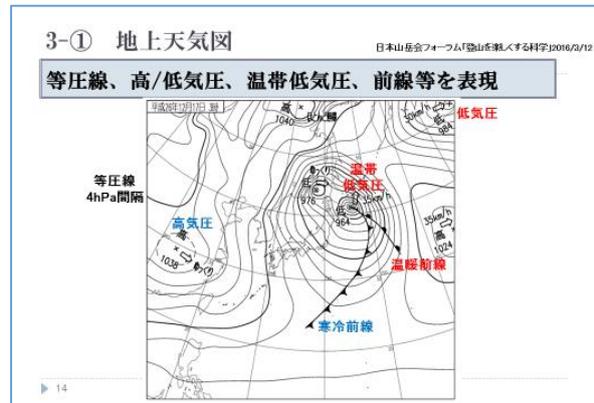
この水蒸気の循環の中で、膨大なエネルギー（凝結熱）が放出されています。台風の主要なエネルギー源はこの凝結熱です。



3、気象の基本知識

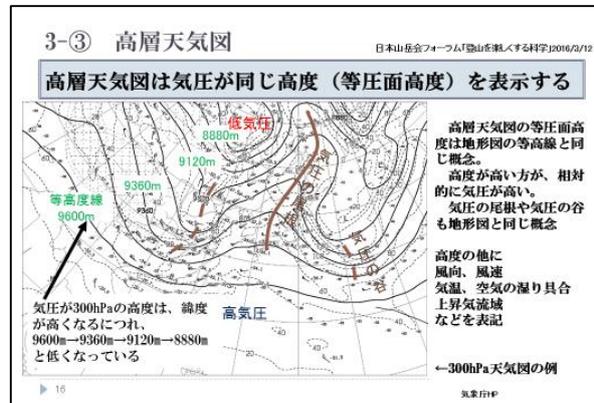
今回ご紹介する山の天気解析事例に関連する事項を中心にご説明します。

普段目にする地上天気図には気圧が等しい地点を結んだ等圧線、周囲より気圧が高い領域（高気圧）低い領域、（低気圧）、それらの中心気圧、進行方向と速度、前線（寒気と暖気の境目）、などが表現されています。

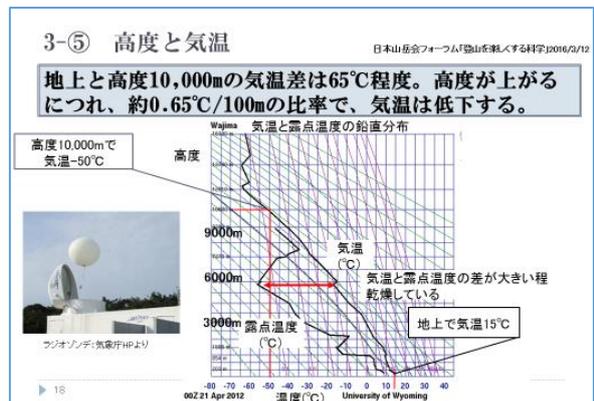


地上天気図だけでも天気のある程度解析できますが、天気変化は上層の気象変化によるところが大きく、山の天気変化を考えるうえでも、立体的な気象情報が利用できればより詳細に検討ができます。

高層天気図は 500hPa、700hPa 等の等圧面の高度を表示しています。気圧の谷や高度が低い方が低気圧、といったイメージは、等高線で描かれる地形図と基本的小おなじです。

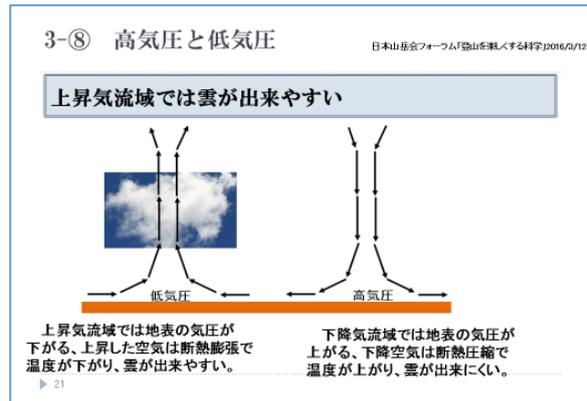


上層の気圧、気温、露点温度、風向、風速などは気球に無線観測機器を搭載したラジオゾンデで観測されます。気温は高度が 100m 上がるにつれ、平均 0.65°C 下がります。



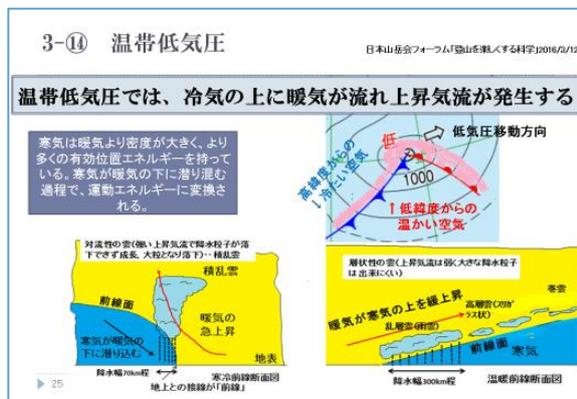
気圧は上空ほど低くなります。低気圧では上昇気流域となっており、上昇した空気は膨張して温度が下がり（断熱膨張）、飽和水蒸気量が下がって、水蒸気が凝結し、雲が発生しやすくなります。雲粒の水滴の大きさは 0.01mm 程度です。

高気圧下では下降気流域となっています。高度が下がるほど気圧が上がるので、空気は圧縮され（断熱圧縮）温度が上がります。温度が上がれば飽和水蒸気量も上がりますから、雲があっても消えやすくなります。



温帯地方では、寒気が暖気の下に潜り込むことで、低気圧が発生、発達します。低気圧の進行方向（東側）では暖気の北上、上昇が生じ、低気圧の後ろ側（西側）で寒気の南下と下降が発生します。寒気と暖気の境目と地上の接線が前線です。

温暖前線が接近すると、先ず、上層の雲が広がり始め、徐々に中層(2,000m~7,000m 程度)の雲が増え、下層の雲も厚くなり降雨となります。温暖前線と寒冷前線の間は南からの暖気が吹き込む領域ですので、晴れ間となる場合もあります。寒冷前線が通過する際は、温暖前線より対流活動が活発で雷雨を伴う場合もあります。



4. 山の天気解析事例-1

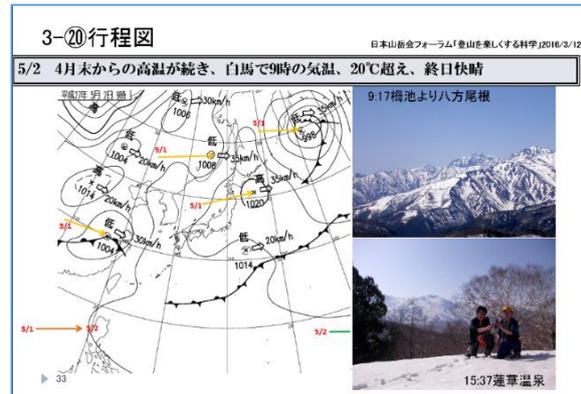
ゴールデンウィークの山スキー中に低気圧が接近した際の天気変化の例です。北アルプスの梅池より入山し、白馬乗鞍岳を越えて、蓮華温泉にベースを設け、二日目に雪倉岳を往復、三日目に下山しました。軽量化のために、テントではなく、ツェルト泊としました。

出発日は晴天でしたが、既に中国大陸南部に前線を伴った低気圧がありました。一般的には一日に経度で 10 度ほど東進するので、三日目の朝には本州中部までやってきそうです。しかし、日本の



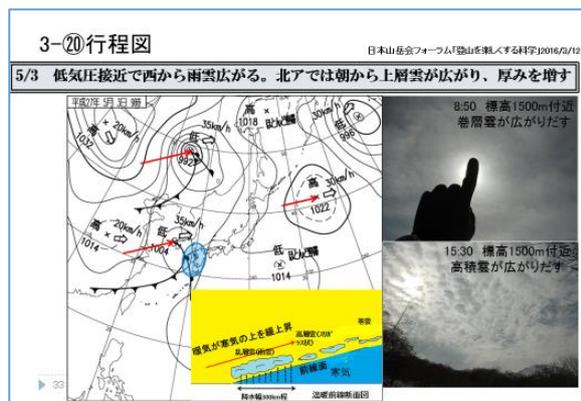
東の高気圧の張り出しが強いので、二晩目まで雨は降らないと予想しました。今回、防水性に乏しいツェルト泊りとしたのでこれは重要な判断になります。

出発日、標高 700m の白馬の最高気温は 27℃を越えていました。2015 年の 4 月下旬から 5 月初めは全国的に記録的な高温が続きました。本州は三陸沖から張り出した高気圧に覆われています。



二日目、高気圧は東へ移動していますが、勢力（中心気圧及び 1020hPa 以上の範囲）は強まり、東日本から北日本は引き続き高温となりました。

九州は低気圧に伴う温暖前線前面の雨域に入り、北アルプス上空は朝から上層に雲が広がり、午後にかけて雲が厚くなってきました。この低気圧はあまり発達せず、三日目の朝方は一時晴れ間があり、昼前から降り出した雨は弱いものでした。



5. 山の天気解析事例-2

山スキー中に出会った、特異な気象現象の一例です。こちらは一般的な天気の変化とは異なり、地上天気図だけでその成因を推定することは困難です。

高層天気図、エマグラム（ラジオゾンデ観測値）、アメダスデータ、気象衛星画像を利用して成因を考えます。

まず、会場の皆さんにご協力いただき、先の写真から観察される事項を出来るだけ客観的に挙げていただきたいと思います。雲の形状、天気、風などについてです。

類似の現象については、既に研究、要因解析がなされていますので、本例

4-① 山スキーの記録から
日本山岳フォーラム「登山を楽しむ科学」2016/3/12

写真の雲の生成要因を考えてみましょう（場所は？）

2012.04.21 13:21

5-③ 観察事項のまとめ
日本山岳フォーラム「登山を楽しむ科学」2016/3/12

観察された事象をまとめてみると・・・

5. 上空は晴れている。
6. 稜線の向こうの雲は上方へ発達していない。
7. 稜線の向こうの雲は層状であり厚くない
3. 風は奥から手前へ吹いている。（南寄り）
4. 風は弱い
1. 雲が稜線から山の斜面を流れ下っている。
2. 流れ下った雲は上方へは発達していない。

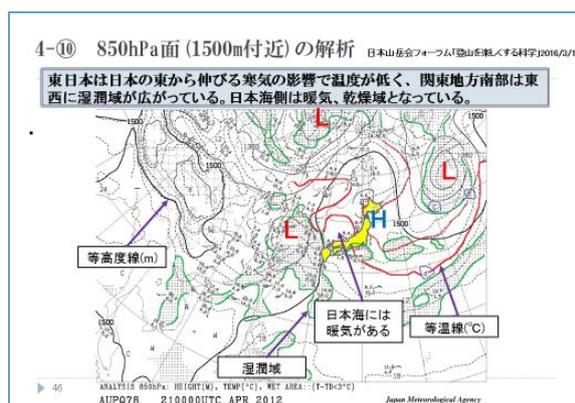
解析の流れ

- 高層天気図から上空及び、稜線付近の大気の状態（温度、湿度）
- 地上天気図から気圧配置、下層の大きな風の流れ
- エマグラム（ラジオゾンデ観測）、アメダスデータから高度ごとの気温、湿度、風向など。（上越国境南北での差異）
- 気象衛星画像による、雲の状況

新潟県

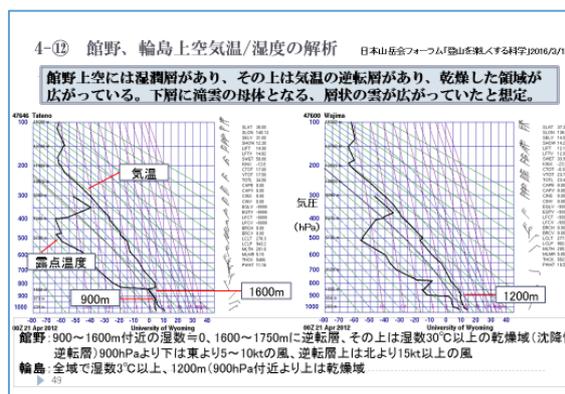
でも同様の条件があったかを調べます。以下に、解析資料の一部を載せました。

高層天気図は、500hPa、700hPa等の等圧面の高度と、各高度における風速、風向、空気の湿り具合、上昇気流域、などが表現されています。これにより、低気圧や高気圧の移動に影響する上層のジェット気流の流れや、降雨をもたらす可能性のある湿潤域などを把握することが出来ます。

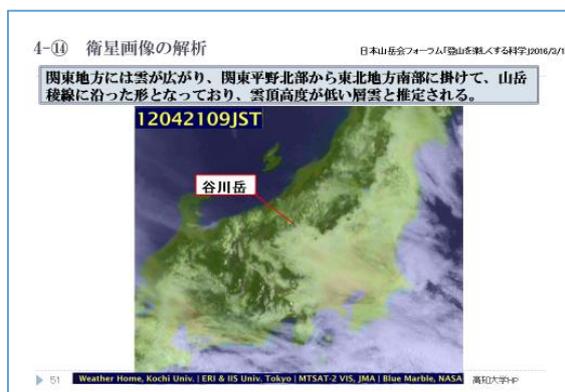


エマグラム(ラジオゾンデ観測値)には観測地点上空の気温と露点温度がグラフで示されています。

湿数が0°Cの高度域があれば、既に飽和しており、雲域と考えられますので、雲頂、雲底高度を読み取ることが出来ます。



高層天気図やエマグラムから、雲域を推定出来ますが、衛星画像からはより正確な情報が得られます。赤外線画像からは雲頂の高度を、可視画像からは雲の厚さが判断できます。



6. まとめ

基本的な気象知識と、それを利用した山の天気解析事例をご紹介します。

山では下界よりもダイナミックな気象現象を目の当たりにすることもあります。気象に関する知識は、登山の安全面で役立つだけでなく、そうした現象の由来を考える楽しさも与えてくれます。本講演が皆様の登山をより楽しくする機会になれば幸いです。

<プロフィール>

松森 徹 (まつもり とおる)

1961年、長野県生まれ

信州大学 大学院 機械工学専攻

電子材料関連工場、設備運転管理部門勤務

エネルギー管理士(熱)、気象予報士、東京スキー山岳会代表

「日本の森林伝から」北限のブナ と 驚異のタテヤマスギ

米倉久邦

日本は森林大国である。国土の3分の2が森林に覆われている。フィンランドにトップの座は譲るが、ノルウェーとほぼ肩を並べる。先進国の中でも群を抜く高さだ。しかも、日本列島は南北に長い。南には亜熱帯の樹木が茂る。北上するにつれて暖温帯、冷温帯に移り、北海道では亜寒帯の森にも出会える。雨量にも不足はない。これほど豊かで多様な森林を持つ国は世界に無いといっている。

もう一つ、日本の森林を特徴づけるのは人とのかかわりだ。列島に人が棲みついでこの方、森は人々の暮らしを支えてきた。森の恵みを頂き、時に森を破壊し時に森を守った。どの森にも人の痕跡が残る。本の副題に「自然と人の織り成す物語」と付けた所以である。「多様性」と「人」の視点から、本書は北海道から沖縄まで12の森を選び、歩いたルポである。

【北限のブナ】 ブナが自生する北限の地は、黒松内低地帯と呼ばれる。函館と札幌の中間のあたり、渡島半島がくびれたところだ。日本海と太平洋を結ぶ最短距離。標高は2000mにとどかない。幅10km、長さ約30kmが北限地帯である。特異な地形が生み出す気候が特徴である。暖流と寒流がぶつかり大量の霧が発生する。低地帯は雲霧帯だ。冬は積雪2mを超す。常に湿度が高い。ブナが好む環境にある。冷温帯から亜寒帯へ、植物分布の境界線であり種が移行していく地帯だ。



▼ブナ彷徨の歴史

北限というから、厳寒に耐えてやっと生きていると思うのは間違いである。渡島半島は東北を凌ぐ日本最大のブナ地帯だ。だが、元気なブナ達は、なぜか、黒松内で北上の足を止めている。その理由は、はっきりとしない。

ブナが地球上に誕生したのは約150万年前という。その間に地球は氷河期と間氷期を繰り返してきた。ブナも厳寒期には南下し、温暖になると北上するという暮らしをしてきた。約12万年前の地層から、十勝平野でナウマンゾウの化石が発見された時、一緒にブナの実の化石が出土した。いまよりずっと北にブナの森があったことが分かる。その後に最後の氷河期がやってきた。気温は平均で今より7度ほど低かったとされる。ブナは生息域をどんどん南下させていった。約2万年前、ブナの北限は北緯38度のあたり、福島や新潟まで後退していた。

再び北上へと反転攻勢したのは、約1万2千年前と推定される。温暖化とともに北上し

てきたブナが、本州の最北端に達したのは、約9千年前といわれる。つまり、北緯38度から3千年をかけてブナは青森県にやってきた。距離にして約690^{km}である。北上のスピードは、単純計算で1年間に約230^{km}ということになる。かなりの快進撃である。

しかし、樹木は移動できない。どうやって前進してきたのか。ブナの生態を知っていれば、なおさら疑問がわく。ブナは発芽してから実を付けるようになるのに約50年かかる。しかもタネは重力散布、下に落下するだけだ。リスやネズミが50^{km}北の地面に実を埋めてくれたとしよう。それでも次に実を付けるのは50年後、自力では100年で100^{km}進のが最大である。

答えは空中飛行ではないかと想像される。ホシガラスやカケスは、実をほっぺに幾つも入れて遠くに貯食する性質がある。それなら一気に数^{km}の前進も可能である。自然条件も味方した。温暖化でそれまで地上を覆っていた針葉樹は勢いを失い、疎林の時代ではなかったかと推定される。前進を阻む強力なライバルがいなかった。鳥という助っ人を得て、予想以上の速度で分布域を北へ拡大した。だが、本州北端で難関が待っていた。

▼津軽海峡を渡るのに3千年

約700^{km}を3千年で進んできたのにわずか20^{km}足らずの津軽海峡を超えるのに、ブナは同じ約3千年をかけてしまった。樹木のタネが海を超えるのは容易ではない。塩水につかれば発芽力はなくなる。縄文人が運んだと想像するのも楽しいが現実性は薄い。突然、ブナは北海道で芽吹いたというしかない。謎は解けていないが、答えはやはり鳥だろう。ホシガラスやカケスは大型の鳥だ。実をくわえて22^{km}を飛んだという記録もある。



カケス



ホシガラス

なにかの偶然で、3千年の空白が一気に埋まったのだろう。ブナは北海道へ渡ることに成功した。だが、それからがまた苦難の道だった。北進を開始してから6千年後だ。北の大地での新たな闘いが始まった。だが、相手は手ごわかった。その頃の北海道は、カンバ類、ミズナラ、エゾマツ、トドマツが繁茂した針広混交の森であった。それらを押しつけて前進するのは大変だ。熾烈な生存競争が繰り広げられた。

スピードはガクンと落ちた。ブナが北限の地、黒松内に到達したのは、約1千年前に過ぎない。わずか100^{km}の北上に約5千年がかかった。北進のスピードは1年間で20^{km}でしかない。東北の地を進んだ勢いの10分の1というスローぶりだ。この戦いでも、ブ

ナは鳥の助けを借りた。鳥は標高の高い山地に実を運んだ。競争相手も少ない。親木になって大量の実を斜面に落とす。山上から攻めるブナの戦略である。

ブナはゆっくりとだが、着実に侵略し、道南はブナの大繁栄地となった。そこに人が登場する。明治になって進められた北海道開拓である。無尽蔵と見えた森林は、開拓民の斧の犠牲になって消えていった。ニシン漁の狂騒も拍車をかけた。ニシンの処理に大量の薪が必要だった。乱獲の果てに、ニシンは消えた。その一因に過剰伐採があるといわれる。

▼奇跡的に残された歌才のブナ林



北限の地に残るブナの森がある。歌才のブナである。最初にここが北限のブナではないか、と気付いたのは道庁の役人だった。貴重な存在として1928年に国の天然記念物に指定された。小高い丘のような森は、周囲をすべて開墾されて孤立した森だ。それでも伐採の危機は二度訪れた。太平洋戦争の時、軍は木製飛行機のプロペラにするためにブナの伐採を命じた。北大の植物学者館脇博士の必死の反対活動で難を免れた。戦後、財政難の村は伐採を計画した。この時も住民や学者の反対運動で森は守られた。

▼北限ブナの生態

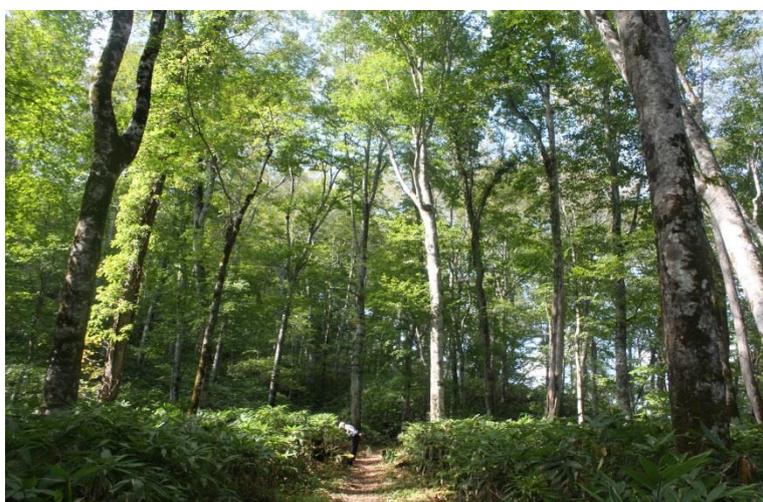
歌才の年平均気温は7度、降水量は1430^{mm}。森の7割がブナだ。北のブナの葉は大きい。九州のブナに比べると、縦の長さは倍以上、葉の面積は4-5倍だ。北国の陽光は少ない。時間も短い。より多くの光を受けるために、南よりも葉が大きい。

もうひとつは、フェノロジカルギャップである。(フェノロジー 生物季節(学)、花暦(学)。季節的におこる自然界の動植物が示す諸現象の時間的変化およびその気候あるいは気象との関連を研究する学問)ブナの開葉は、競争相手のミズナラやホオノキ、イタヤカエデより10-20日も早い。この差が、ブナに決定的に有利に働く。大木の下でも、その木の葉が開く前なら光は十分にあたる。ブナの若木はギャップを利用して成長のエネルギーを獲得し、早く背を伸ばし太る。大きな葉と他に先駆けた開葉で、ブナは森の主役になっていける。落葉広葉樹の多い北の森ならではの戦略だ。だが、一本のブナの葉の総面積は南も北もほとんど差がないという。

樹形のスタイルも違う。北のブナはスラリ美人である。成長速度も本州のブナの2倍以上だ。早く背を伸ばして、競争に勝つ。深い雪で下枝も生えないし、樹肌も白い。だが、佳人薄命というべきか、寿命が短い。本州では約250年とされるが、北限のブナは約170年ほどで枯れ死する。世代交代がはやいのも、生き残りの戦略らしい。歌才のブナは約1万本、平均で樹高18m、幹の直径は40cmと小ぶりである。寿命も平均150年。

ブナは雪の申し子だ。豪雪に強い。しなやかで深い雪に耐える。実は雪に埋もれて春まで守られる。乾燥もしない。日本海側にブナの純林が広がる理由である。林床はササが埋めている。若木が芽を出せないと思うが、ササは50-70年に一斉に枯れる。ブナはこのチャンスを待っている。まるで藪のように若木は育つ。

▼ブナの保水力とは



ブナの森の土壌は驚くほどの水を蓄えている。まるでスポンジだ。保水力の源である。ブナの葉は細胞が堅い。菌類が分解してからでないと、ミミズやダニが食べられない。これが団粒構造の土をつくる。「落ち葉のミルフィーユ」と呼ばれている。逆に幹はとても腐りやすい。キノコもたくさん出る。ブナの葉はロー

ト状になっていて、雨を幹に集める。樹幹流と呼ぶ集水機能を持っている。

▼北限と「温かさの指数」

どんな気温帯にどんな植物が生息できるかを示す尺度だ。温量指数とも呼ぶ。植物が育つのは月の平均気温が5度以上であることが必要だ。各月の平均気温のうち、5度以上ある月の温度から5を差し引く。7か月あれば、その合計がその土地の暖かさの指数である。ブナはこの指数が85-45だ。北海道の全域でブナは森を形成できることになる。なぜ、ブナは千年以上も黒松内にとどまったままなのか。10を超える学説があるが、決定打はいまだにない。

歌才の学芸員は、まだブナの森は前進するだけの飽和状態にないという。ブナが他の木を圧倒して北進するエネルギーに満ちるには、約1700年がかかるとされる。ブナの間と人の時間には、大きな違いがある。加えて人の圧力だ。伐採で森は分断されている。

▼100年後に大異変

温暖化は植物に激震をもたらす。森林総研が描いた100年後のブナの姿がある。温暖化の速度はどうなるのか、シナリオによってその結果には大きな差があるが、最悪の場合(4.9度上昇)には、ブナの生育面積は17%から9%になってしまう。温度からいうと、白神

山地のブナもほとんどが消える。やや穏やかなシナリオ(2.9度上昇)でも、ブナは63%が消えてしまう。100年後のブナの運命は、だれも予測ができない。

[屋久島を凌ぐ巨大杉群 立山杉の驚きの生態]

立山杉の森は、標高1千メートルの美女平から始まる。森は高層湿原の広がる弥陀ヶ原まで標高1600メートルまで、約300メートルが天然スギの森林である。富山森林管理署の調査によると、この広さに胸高(1.3メートル)で測定した幹周囲が6メートルを超えるスギは、147本が生育している。単純計算で2メートルに1本の割合だ。

それがどれほどすごいのか。環境省の巨樹の定義は、幹周囲が3メートル以上である。その基準で行けば、巨大杉の数は200を超える。巨大杉で有名な屋久島もこれほどの密度には遠い。日本一である。樹齢2千年を超えるスギたちはどうやって生き延びてきたのか。想像の先をゆくドラマがあった。

▼ルーツはどこだ

スギは日本の固有種といわれる。最古のスギ化石は秋田県田沢湖近くの約530万年前の地層から見つかっている。ふるさととは東北、500—600万年前に誕生し、北海道から沖縄まで気温変化に応じて分布域を拡大し、縮小してきた。現在のスギの北限は青森県、南限は屋久島である。幾度もやってきた氷河期をどうやって乗り越えてきたのだろう。立山スギ研究の第一人者、元新潟大教授の平氏は、氷河期にも東北の海岸で生き残っていたという。現に、立山でも標高2千メートルにスギが生育している事実がある。30万年前の青森の地層から化石が発見されている。

スギは夏の気温が24度に達しないと花粉をつくることができない。だが、スギは特殊な繁殖方法を持つ。伏条更新である。根元近くの萌芽枝が雪の重みで地面に押し付けられる。そこから芽が出て立ち上がる。新たな子孫が生まれる。この仕組みなら、花粉がなくても、種ができなくても世代交代ができる。スギの生き残りのための秘密兵器だ。立山スギは約3500年前には成立していた。花粉分析では、氷河期には琵琶湖以南にいたとされるが、北進できる速度から判断すれば、到底無理だ。

スギが生きる立山の稜線はマイナス20度の厳寒、4メートルにもなる豪雪、夏の冷雨と霧、極めて厳しい環境である。それでも2千年を生きるという。雪に痛めつけられ、守られているという不思議な生活だ。巨大スギは例外なく主幹が折れている。雪と風だ。春の初めの湿雪は重い。直径30センチに満たないスギでも総重量は800キログラムにもなる。だが、折れてもその下から枝を伸ばす。雪は外套でもある。埋もれていれば、零度に保たれるからだ。過酷な環境と栄養のない土壌、豊かなのは水だけである。それが長寿と巨大さの源である。屋久島の巨大スギと同じである。

▼無残な剥ぎ取り痕

立山のスギには、ほかのどこにも見ることもできない無残な古傷がある。剥ぎ取りの痕だ。太い幹の真ん中に窓のような傷ですぐにわかる。幹周囲6メートル以上の巨木のうち、46%

にこの傷がある。ほぼ半数である。人が木材として剥ぎ取った。200-120年前のことだ。加賀藩は木材資源を保護し、七木の制をしき、スギ、ヒノキなど有用樹の伐採を禁じた。その抜け道として、奥深い森林で行われたのが剥ぎ取りである。

まだ、4月の雪が残る残雪期、幹の半分を切り取るようにえぐった。屋根を葺く板にしたとされる。しかし、その記録はどこにも残っていない。大きな傷が残るが、スギは生き続けた。左右から樹皮を巻き込むが、上下からの修復はできない。人とスギの壮絶な戦いの痕跡は今もはっきりと巨大スギの幹に刻まれている。



▼奈良時代の伐採切り株を発見



尾根には無数の抜根がある。標高1500mで切り株を調査した。驚きの結果が出た。名古屋大学年代測定総合研究センター放射性炭素14Cの含有量を調べたら、約1300年前の奈良時代に伐採されたスギで、中心部の年代測定では、抜根の樹齢は約715年、だが、真ん中20cmはなかった。それを計算に入れれば、このスギは樹齢915年の時に、1300年前に伐られた。ということは、紀元前200年ごろに芽吹いたという事実がはっきりになった。人は奈良時代以前から、この森に入り、木を伐採し利用してきた。

▼失われた人と森のいい関係

シメジと呼ばれるスギ



スギは天然スギである。だが、稀有な森林が形成され、維持されてきたのには、人が大きな関わりを持っている。森を元気に保つためのシステム、破壊と再生が人によってうまくコントロールされてきた。人にそんな意図はなかった。真っ直ぐで形のいいスギを伐って利用してきただけだ。緩やかな択伐によって、森に光が入り若木が育つチャンスが生まれる。伐採が次世代のための空間をつくってきた。切り株は稚樹に最良のゆりかごとなる。地上に落ちたタネが芽吹いても育つことは稀だ。苔むした切り株の上は、栄養はないが、水がある。最近も野鼠も来ない。じっと耐えていれば、生き残る確率が高い。

だが、いまは斧の音が森に響くことはない。天然更新だけでは、スギは減っていく。たくましくした人の行動と樹木を育てる自然の摂理が、調和してできた立山にしか存在しない森である。

プロフィール 米倉 久邦 1942年生まれ、早大卒、共同通信社入社。経済記者、ワシントン特派員を経て経済部長、編集局次長、論説委員長。定年後は山岳、森林関連で活動。著書に「60歳から百名山」「森のチカラ」「そうだ！山に登ろう」「森をゆく」「日本の森列伝」など。

そもそも火山って何 —誕生、噴火、溶岩の基礎知識—

福岡 孝昭

はじめに

一昨年 9 月の御嶽山の噴火以来、口永良部、桜島、阿蘇、箱根と火山噴火が続いている。

我々登山者にとって、火山噴火に登山中に遭遇することがあったら一大事である。昨年のフォーラム (VII) では、もし登山中に噴火に遭遇した場合の対処の仕方。噴火以外に火山ガスに対する注意等、火山に登山する時の注意事項を説明するとともに噴火のタイプと噴火の予知について解説した。



写真1. 米国セントヘレンズ火山 1980 年噴火

しかし、日本は火山国であり、百名山のうち 47 山が火山である。我々の登山の対象としている山の約半分は火山ということになる。ここでは第一にこれら火山と火山でない山 (非火山) にどのような違いがあるのか、登山中に経験していることを中心として解説する。

第二に火山とは地下数 10km 以下の深さで生じたマグマが地上に噴出して生じた山である。このマグマはどのような条件で生じるのか。第三にこのマグマがどのようにして上昇し、噴火するのか、を解説する。第四にこのように火山から噴出したものにどのようなものがあるか、最後に火山は多くの恵み (風景、温泉、エネルギー源等) を提供してくれている。ここではこれらについて解説する。

火山と非火山(地形の違い)

我々が登山の対象としている山には、火山と非火山 (火山でないもの) がある。火山は地下深くで生じたマグマが地上に出てきたことにより生じた山である (図 1)。非火山は地層が地球表層部のプレートの動きにより生

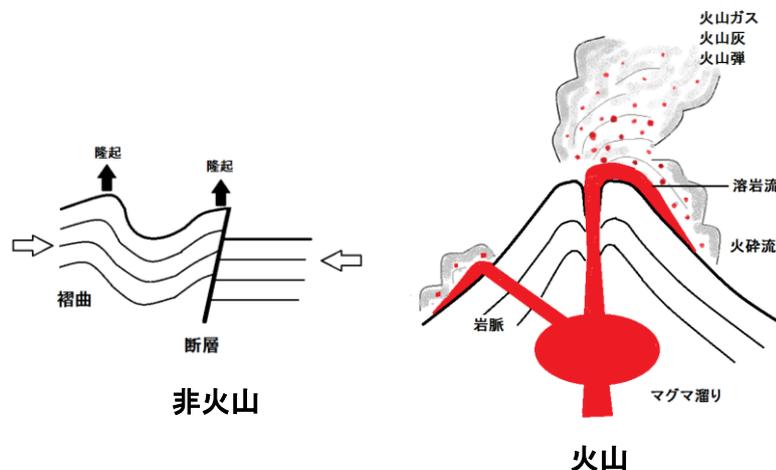


図1. 火山と非火山

じた力（図中の白矢印）で褶曲（地層が曲がる）されたり、断層により隆起して生じた山である（図1）。どちらのタイプの山もその後、水や氷河での浸食、崩壊により山の形を変えていく。

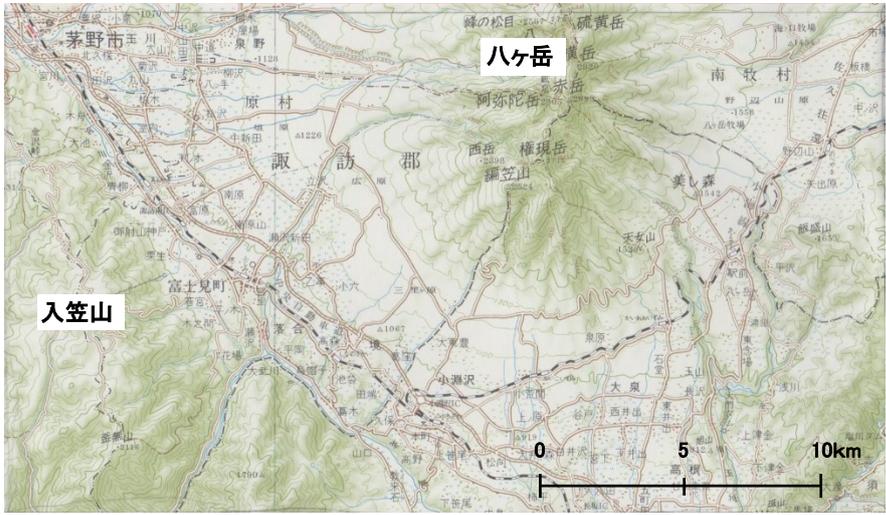


図2. 八ヶ岳(火山)と入笠山(非火山)の地形図(1/20 万甲府より)

火山の内部構造は氷河により浸食された山体や、大きな噴火口の内壁の観察から知ることができる。

図2は八ヶ岳(火山)南部と入笠山(非火山)地域の地形図である。八ヶ岳の麓は円形で山裾になるほど

間隔が広がる規則的の等高線を谷が削っていることが見てとれるが、入笠山側にはそのような地形は見られない。図3は、霧ヶ峰(火山)の溶岩流地形を示す地形図である。急斜面に挟まれた緩斜面が見られる。この緩斜面に農場が広がっている。これは溶岩流の地形である。非火山にはこのような地形は見られない。我が国は多雨であるため、多くの山は樹林に覆われ、地形図のような地形を直接見ることは多くの場合できないが、登下山中に足で感じることができる。

火砕流等を大量に噴出した後に生じるカルデラ地形も火山特有である。

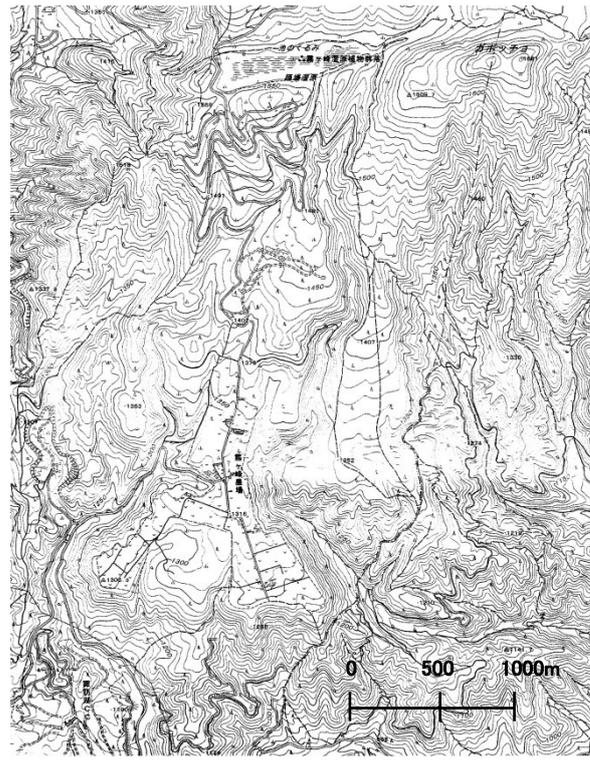


図3. 地形図に見る溶岩流(1/2.5万、南大塩より)

表1. マグマの発生の条件

1. 圧力の低下
a. 浅部への上昇(固体のまま)
b. 水平方向へ広がるテクトニックな動き
2. 水(不純物)の付加
凝固(融)点降下

マグマの発生

火山はマグマが地上に出てきた結果、生まれた山である。マグマとは岩石が融点を越える温度で液化したものである。

岩石が融解する条件を表1に示し、図4に図解した。

第一に表1の1aの場合を説明する。地球内部は深部になる程高温である。岩石の融解する温度(融解点)は高压下(深部)では高くなる。したがって高温の固体岩石が高温のまま深部から浅部に上昇してくると

周辺の圧力が低くなるので融点が低くなるので岩石が融解し、マグマ(ガラス質の液体)が生じる(図4の上)。圧力の低下により融点が下がる条件はマンタルが部分的に水平方向に開く(割れ目ができるように)ことによっても生じ得る(1bの場合)。第二は、融解すべきマンタルに水が混入することにより、融点が下がり、マグマが生じる(表1の2、図4の下)。これは物理・化学で凝固点(融点)効果と言われる現象である。物理・化学ではこの現象は不純物の混入により生じると説明される。すなわちマグマ発生に関しては、水が不純物であることを示している。この融解現象はマンタルの岩石全体が融解する(全岩融解)のではなく、鉱物粒子の角・表面がわずかに融解(部分融解という)し、その液体が集合していく、と考えられている(図5、最下部)。

このような条件が地球上に存在する場所を図化するると図6になる。中央海嶺下ではマンタルが固体で上昇してくる(表1の1a、図4の上)。海溝ではプレートがマンタルに沈み込むにあたり、海水起源の水を取り込むと説明されている。この条件で生じた火山が島弧火山、すなわち日本の火山である(表1

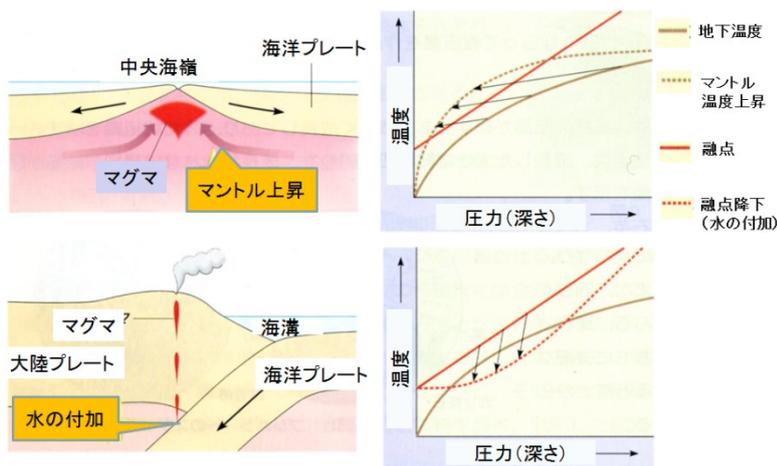


図4. マグマの発生条件

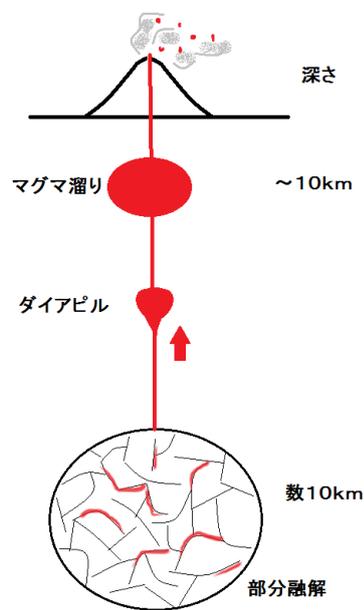


図5. マグマの発生・上昇・噴火(模式図)

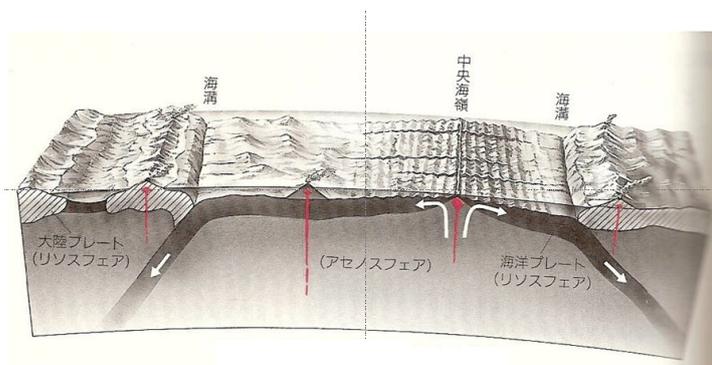


図6. プレートの運動と火山の分布

の2、図4の下)。これら2条件の他にハワイの火山に代表されるように、マントル深部でマグマが生じ、地表に上昇噴火する場合がある。このタイプの火山をホットスポットという。北大西洋の火山島アイスランドは中央海嶺とホットスポットが重なったところなので、本来海面下にある中央海嶺が地上に存在している。中央海嶺は

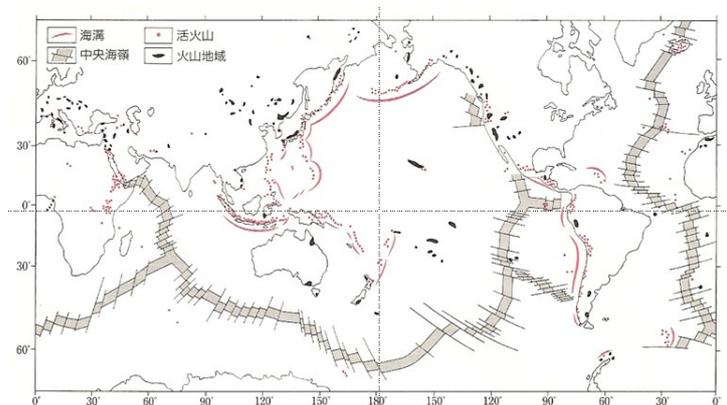


図7. 世界の火山の分布

プレートが生まれ広がるところで、ギャオと呼ばれる割れ目が地表で観察される。これ等の条件が揃うことにより生じた火山の世界分布を図7に示した。

マグマの上昇と噴火

火山が生まれるためには、上部マントルに生じたマグマが地上に出てこなくてはならない。マントル中で生じた液体は集合しダイアピルとなって上昇していく。マグマは液体なので周囲の岩石より密度が小さい。この密度差でマグマは上昇し、密度が釣り合う深さで上昇が止まり、マグマ溜りを形成する。マグマ溜りからさらに上昇して噴火する。この噴火への上昇力はマグマ溜りでマグマ中に存在（溶解）する気体成分（ H_2O 、 CO_2 等）が気化発泡することにより見かけの密度が低下してさらに上昇すると説明されている。大きな地震による振動が発泡をうながす可能性も考えられている。この発泡は上昇により周辺の圧力が下がるのでさらに進み、噴火の力となり、溶岩、火砕流、火山灰等を噴出する。 H_2O 、 CO_2 、 SO_2 等の気体成分は火山ガスとして放出される。これ等の過程を図5に模式的に示した。

火山噴火の爆発性はマグマの化学組成（特に SiO_2 含有量）により異なる。 SiO_2 量が多い安山岩、流紋岩は粘性が高いので溶

表2. 火山噴出物の種類

状態	噴出物の種類と形成物	
気体	火山ガス(H_2O 、 CO_2 、 H_2S 、 SO_2)	
固体	降下物	
	火山岩塊 ($\phi > 64mm$ 以上)	
	火山礫 ($\phi 2-64mm$)	
流体	火山灰 ($\phi 2mm$ 以下)	広域火山灰
	溶岩流 (高温の液体流)	溶岩トンネル、柱状節理、樹形、黒曜石
	火砕流 (高温の紛体流 (軽石・火山灰・岩塊))	溶結凝灰岩 (柱状節理)

岩流の流下速度は小さく、気体成分が抜ける力（脱ガス力）が弱く、この気体が出口（火口）で膨張するので爆発的な噴火となり、大きな岩塊を遠くまでとばすことになる。 SiO_2 量が少ない玄武岩マグマは粘性が低いので、地表まで上昇する過程で脱ガスしてしまい爆発的噴

火をすることは少なく、溶岩流の流速は比較的速い。

火山噴出物

表2に主な火山噴出物をまとめた。溶岩流の流下では溶岩トンネルや樹形を形成する。溶岩堤防は溶岩流の縁が周辺の物質に冷却され早期に固化し、中央部は熱いので液状のままさらに流下するので低くなる。溶岩流の底部及び表面は冷却されて固化されるが中心部の熱い溶岩は流下しトンネルが生じる（図8）。溶岩の流下により、溶岩堤防をとともなう特有の地形を生じる。このよう

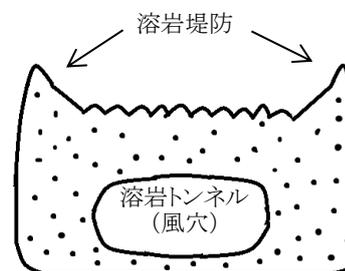


図8. 溶岩流の模式断面図

な地形についても火山の登山では注目したい。また、溶岩流が樹木を取り囲んだ時、樹木が焼けてしまうため、内面に樹皮型を残した穴（樹形）が生じる。

火砕流は火山灰、軽石を主にした高温の高速紛体流できわめて危険である。火砕流堆積物と降下火砕（火口から吹き上げられた火山灰・軽石）堆積物の区別は一般に容易である。すなわち、火砕流軽石は流れる間に角が取れ、丸く、大きさが不揃いであるのに対して、降下軽石は角張っていて、大きさが揃っている（火口からの距離が近いほど大きい）。火砕流が短時間で大量に堆積した時、高温のため、再熔融し、溶結凝灰岩を形成することがある。大量な溶結凝灰岩や溶岩流は柱状節理を形成することがある。溶結凝灰岩には扁平になった軽石や、異質岩片を含んでいる。

黒曜石はきわめて粘性の高い流紋岩溶岩として生じる。殆どガラスから成っているため古代人は石器として用いた。屈折率、化学組成等から給源火山を推定することが出来るので、遺跡の石器から給源火山を推定して古代の流通経路を知ることできる。

カルデラを形成するような巨大噴火から生じた火山灰を広域火山灰という。我が国周辺の広域火山灰を図9に示した。殆どの火山灰は給源火山の東側に分布している。これは日本上空に偏西風が吹いていて、上空に吹き上げられた火山灰は東へ流されるからである。例えば、図9にある約9万年前に噴火した阿蘇4火山灰はカルデラ地形を作り、東方へ流され、北海道網走でも10cmもの厚さで堆積し、日本全土を覆い尽くしている。広域火山灰は短時間に広い地域に堆積したので、離れた地点の地層の時間の対比に極めて有効である。このような間接的年代測定を用いて、遺跡の年代測定に応用されている。

火山の恵みと災害

火山は災害をもたらすばかりでなく、美しい景色をはじめとして多くの恵みを与えてくれている。表4にそれらを整理した。

火山による美しい景色は日本全国、いや世界中にあることに異論はないであろう。登山の対象でもある。

火山の温泉は非火山性の温泉にくらべ高温で、湯量も多い。火山性温泉は噴火の可能性

がない火山にも多く存在する。マグマの熱は固化しても何万年の間冷えないでいることを示している。また、玄武岩質火山には温泉が少ないのも興味あることである。多種の泉質が山体下でどのような化学反応で生じるのかも興味がある。

熱水、高温蒸気を利用して地熱発電も行われており、最近エコエネルギーとして注目を集めている。すなわち火力発電の高温蒸気かわりに地下の高温蒸気を用いる、あるいは高温熱水（温泉水）から通常の水を加熱し、蒸気を発生させタービンを回転させて発電する。

CO₂ を放出しないので地球温暖化を防ぐ面から、火山国日本では、この

地熱エネルギーの利用が期待されるが、多くの場合、候補地が国立公園内にあること、温泉地の湯量への影響、熱排水中の有害成分の河川水利用への影響などの問題もある（殆どの場合地下に戻している）。

火山ガス事故への対策については、フォーラム（Ⅶ）で説明した。泥流、スラッシュ雪崩等火山特有の災害もあるが、ここでは割愛する。

おわりに

今回は火山噴火そのものについては、ほとんど触れず、火山とはどんなものかに話題を絞った。噴火予知、噴火対策については前回の講演資料を参照願いたい。

火山であっても、登山はあくまでも自己責任で行われるものである。火山そのものをよく理解頂き、安全な楽しい登山により、その恵みを味わって頂きたい。

プロフィール

福岡孝昭 昭和 17 年生まれ

学習院大学理学部卒業・博士課程満退（理学博士）

学習院大学理学部を経て、立正大学地球環境科学部に勤務、平成 25 年定年退職

日本火山学会、日本地球化学会会員

平成 8 年 日本山岳会入会（会員番号 1 2 1 8 5）、日本山岳会科学委員会委員

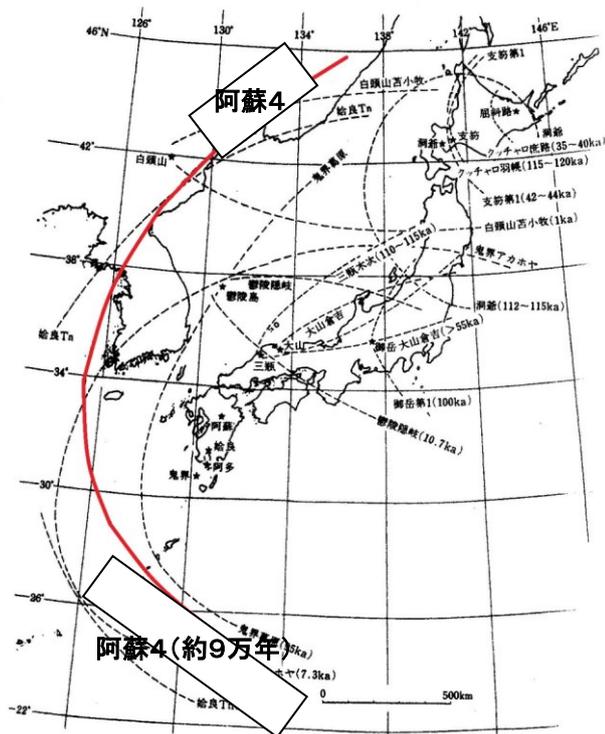


図9. 日本の広域火山灰(理科年表より改変)

表 4. 火山による恵みと災害

恵み	災害
登山の対象	噴火
美しい景観	火山ガス噴出
高温温泉	泥流、岩屑流
地熱発電	山体崩壊