

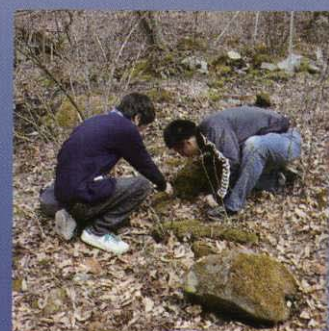
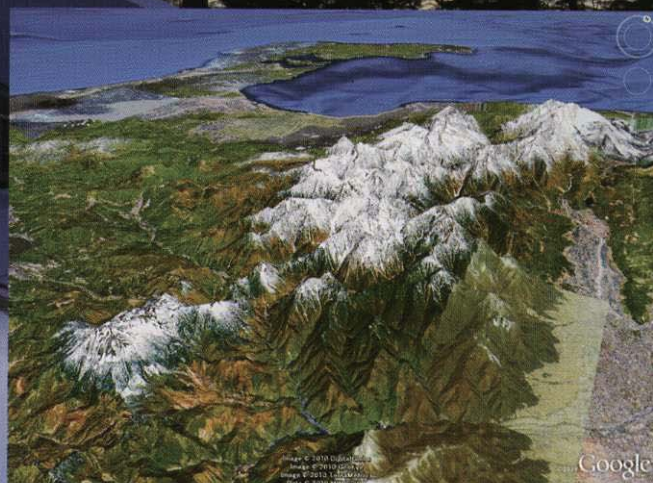
平成 23 年度

山岳博物館創立 60 周年記念

信州大学山岳科学総合研究所・市立大町山岳博物館 連携企画展

やま 山岳を科学する 2011

—その最前線—



市立大町山岳博物館

平成23年度

山岳博物館創立60周年記念

信州大学山岳科学総合研究所・市立大町山岳博物館 連携企画展

や ま
山岳を科学する 2011

—その最前線—

市立大町山岳博物館

目次

ごあいさつ	1
鷹の目と蟻の目で森を見る（加藤正人・成瀬真理生・伊藤克之・高主知佳）	3
雪が語る山の環境（鈴木啓助）	7
上高地の生い立ちを探る（原山 智・河合小百合）	11
アリの巣にいそろうする昆虫（小松 貴）	15
[コラム] DNA塩基配列の決定法（上田昇平）	
水生昆虫のすみわけとDNA—流程分布と遺伝的構造—（東城幸治）	19
南北アルプスの稜線とお花畑の蝶（中村寛志）	23
山のタテモノをはかる（梅干野成央・土本俊和）	27
登山と体力—インターバル速歩で登山力をアップ—（能勢 博）	31
文 献	35
謝 辞	37

1. 本書は市立大町山岳博物館において、平成23年4月23日(土)から6月26日(日)まで開催する信州大学山岳科学総合研究所・市立大町山岳博物館連携企画展「山岳を科学する2011—その最前線—」の展示解説書である。
2. 本書・企画展の解説パネルの執筆は、信州大学:加藤正人・成瀬真理生・伊藤克之・高主知佳・鈴木啓助・原山 智・河合小百合・小松 貴・上田昇平・東城幸治・中村寛志・梅干野成央・土本俊和・能勢 博が担当した。
3. 企画展および講演会の企画は、山岳博物館 館長:宮野典夫・副館長:降旗孝浩・専門員:小坂共栄・学芸員:清水隆寿・千葉悟志・清水博文による。企画展の準備および本書の編集は、信州大学山岳科学総合研究所連携研究員:山本信雄・山岳博物館:小坂共栄・清水博文が担当した。

ごあいさつ

このたび、大町山岳博物館と信州大学山岳科学総合研究所の連携企画展「山岳^{やま}を科学する2011 —その最前線—」を開催する運びとなりました。

信州大学は、2004年4月に国立大学法人化された際の中期目標の中で、重点研究領域のひとつとして「信州のフィールドを活かした、自然と人間との共生を追求する新たな学問領域『山岳科学』の創造」をあげました。2002年9月にバーチャルな組織として設立されていた山岳科学総合研究所を、中期目標に謳った『山岳科学』創造の推進のため専任教員の所属する実体のある組織にすべく、2006年7月に再編し、新たな山岳科学総合研究所として再出発しました。山岳科学総合研究所は、自然科学のみならず人文・社会科学から医学までを含む6つの研究部門と3つのチームからなり、山岳地域における諸問題を総合的に研究し、『山岳科学』を創造することをめざしています。

山岳地域は、陸上に残された数少ない貴重な自然資源であり、同時に、様々な負荷の影響を受けやすい脆弱な環境でもあります。高山域から人々の生活が営まれる里地・里山にいたるまでの、山岳地域と呼ばれるこの環境系は、地球規模での環境変動の影響はもとより、人間の生活系との相互作用によってもとても変化しやすい地域です。信州大学が、立地条件のみならず、山岳科学に関連する研究者の集積を背景に、山の環境と人間とのかかわりに関する総合的研究を推進する山岳科学総合研究所を設立したことは、当然の帰結であるとも言えます。

今回の企画展では、山岳科学総合研究所の最新の研究成果を紹介します。標高の高い「山岳^{やま}」で行われている研究を中心に、その成果だけでなく、どのように研究が行われているのか、どんな人が研究しているのかにも焦点を当ててみました。

大町山岳博物館と山岳科学総合研究所は研究協力協定を結び、様々な局面で協力しながら山岳に関する研究および事業を推進しています。今回の企画展もその一環です。

この企画展が、「山岳科学」そして山岳科学総合研究所へのより深いご理解の一助となり、「山岳^{やま}」の未来を考える機会となれば幸いです。

信州大学山岳科学総合研究所 所長 鈴木 啓 助

ごあいさつ

大町山岳博物館は昭和 26 年 11 月 1 日に開館し、今年で 60 周年になります。この間、ご支援をいただきました市民の皆様をはじめ多くの方々に心から感謝とお礼を申し上げます。

このたび、創立 60 周年を記念する最初の企画展として『山岳^{やま}を科学する 2011 — その最前線 —』を開催する運びとなりました。この企画展はこれからの山岳博物館の展示や教育のあり方を考える上で、大変意義深いものがあります。それは信州大学山岳科学総合研究所と共に準備を進め、共同で開催されることにあります。

山岳博物館の創設時には、信州大学の故羽田健三先生の陣頭指揮のもとに調査・研究や資料収集が精力的に行われてきた経緯があり、今でもその成果が展示や教育普及に活用されています。また、昭和 36 年頃からはライチョウやカモシカ、高瀬川流域の自然についての調査などを共同で進めてきました。

山岳博物館と山岳科学総合研究所とは、平成 17 年に研究協力協定を締結し、これまで北アルプス地域の山小屋の調査や理数系教員養成拠点構築事業などを一緒に進めてまいりました。今回の企画展は、この協定に基づき当館が研究所と共同で開催するものです。

山岳科学は、自然科学から社会科学までの幅広い分野を含みます。本企画展では山岳科学総合研究所に全面的にご協力いただき、多くの研究者から最先端の技術と情報で科学を究明した成果を提供していただくことになりました。また、会期中には 4 名の研究者による講演会・ミュージアムトークの開催を予定しております。

『山岳^{やま}を科学する 2011 — その最前線 —』の展示内容は、北アルプスの形成過程、雪からみた山の環境、昆虫にまつわる事象、山小屋の間取り、登山行為の生理等をテーマとし、結果のみならず調査の現場を知っていただく機会ともさせていただきました。皆様には山岳に関する科学にはどんなことがあるのか、そしてどのような研究を、どのように行っているのか、何が解明されようとしているのか、またこれまでに何がわかったのか、私たちの生活にそれがどのような関わりを持つかなどに視点を置いてご覧いただき、「山岳^{やま}」が持っている不思議さや魅力を感じていただければ幸いです。

市立大町山岳博物館 館長 宮野典夫

鷹の目と蟻の目で森を見る

加藤正人・成瀬真理生・伊藤克之・高主知佳

I. 森を診断する

地球温暖化や生物多様性など、森林の役割と重要性が増しています。森の様子を調べるには、上空から鷹の目で森の様子を広い視野から見ることで、蟻のように地上で樹木に触れながら五感を使って森林調査を行うことを組み合わせることが一番です。鷹の目となるセンサは日進月歩で開発され、種類や性能が向上しています。例えば、宇宙からの人工衛星や空からの航空機から50 cmから1 mの地上解像力のデジタルデータが取得できます。このデータを独自の解析手法を用いて、森林の様子を分析できます。

1. 森林調査の基本情報：どこにどんな木が、どれだけあるの？

樹木を一本ごとに色分けした樹種別樹冠区分図を作成しました(図1)。木の本数、樹冠の大きさ、樹種、位置、混み具合がわかるので、これからこの森をどうしたらよいか、計画や管理に有効です。



図1 樹種別樹冠区分図

信州大学農学部南箕輪キャンパス。ヒノキ(赤)とアカマツ(橙)、カラマツ(黄緑)、広葉樹(灰)がどこに、どれだけあるのか一目瞭然。

2. 健康な森づくりのために、不健康な混んでいる林を探します

森は木を植えてから、そのままにしておくと混んできて細くもやしようになり、災害に弱くなります。そこで健康な森にするため、間引く(まびく)ことが必要ですが、探すのは大変です。赤線で囲った範囲の森は、木の本数が多いので優先的に間引く作業の必要な森(間伐地)です(図2)。地球温暖化で問題になっている森林吸収源対策の間伐地の抽出に貢献できる技術(特許公開 2010-86276)として期待されています。

II. 北アルプス槍沢における航空写真画像を用いた高山植生の把握

1. 背景と目的

高山植生は分布している地域が限られており、貴重です。しかし、高山は気候変動の影響を受けやすく、今後植生が変化することが考えられます。



図2 間伐地の半自動区分(赤線)

樹種、樹冠の大きさ、混み具合などをもとに、ゾーニングを行い、森林情報を加えることで間伐地を割り出します。

そのため、高山植生の分布を把握することは重要です。しかし、高山は現地調査が困難です。そこで、離れた場所から、広範囲に調査地を把握できるリモートセンシング技術の活用が期待されます。

本研究の目的は、北アルプス槍沢において、高山植生の分布状況を航空写真画像を用い、標高・傾斜をもとに把握することです。

2. 調査地・使用データ

調査地は長野県北西部、北アルプス槍ヶ岳(3180 m)の南東に位置する槍沢上部で、標高が2100 m～3180 m、面積は240 haです。北アルプス一帯は中部山岳国立公園に指定されています。本研究では2008年に林野庁により撮影された空間分解能50 cmの3バンド(R,G,B)の航空写真および、国土地理院発行の10 mメッシュ標高データを使用しました。

3. 研究方法

本研究では、現地調査と航空写真画像解析を行いました。現地調査は、踏査、プロット調査を行い航空写真画像との整合性を確かめました。航空写真画像の解析には、フリーソフトのカシミール3DとMulti-SpecWin32を使用しました。

まずMultiSpecWin32を用いて、航空写真画像の教師付き分類による植生分類を行いました。次にカシミール3Dを用いて、植生分類画像を標高200 mごとに区分、また0～20°、20～30°、30～40°、40～60°、60～90°の5つの傾斜角ごとに区分し、抽出しました。得られた結果をも

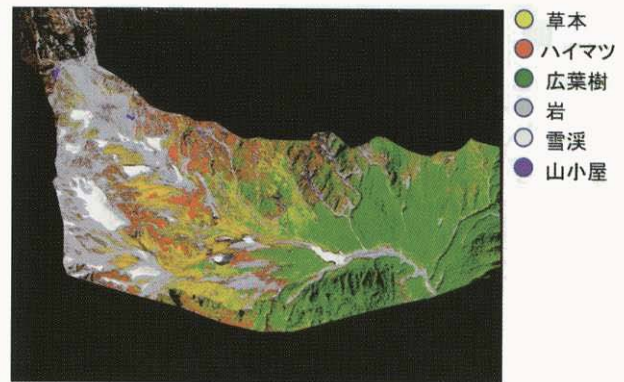


図3 槍沢上部の植生分類

とに、標高・斜面傾斜角と高山植生の分布状況の関係を考察しました。

4. 結果・考察

植生分類の結果は草本、ハイマツ、広葉樹、雪渓、岩、山小屋の6項目に分類でき、すべての結果において精度は良好でした。ただし、被覆率が小さいプロットでは誤分類が目立ちました(図3、表1)。

標高・傾斜と植生分布との関係では、広葉樹は標高2000 m～2600 mでは被覆率40%以上でしたが、2600 m以降は急激に低下しました。傾斜角では30～40°に多く全傾斜角においても一様に分布していました。広葉樹の分布は、傾斜角よりも標高の影響が大きかったです。ハイマツは標高とともに被覆率も上昇し、標高2600 m～2800 mでもっとも被覆率が高かったです。傾斜角では、40～60°でもっとも被覆率が高いです。しかし、標高2600 m～2800 mでは傾斜角30～40°被覆率が高かったことから、標高と傾斜と

表1 航空写真画像の分類結果

サンプル名	精度 (%)	面積 (ha)	被覆率最大クラス / 分布範囲 (m)	被覆率最大クラス / 分布範囲 (°)
草本	89.2	30.7	2400～2600/2000～3180	20～40° / 0～60°
ハイマツ	84.3	38.8	2600～2800/2200～3180	40～60° / 0～90°
広葉樹	97.3	89.9	2000～2200/2200～2800	30～40° / 0～90°
岩	99.4	69.2	3000～3180/2000～3180	60～90° / 0～90°
雪渓	100	11.9	2600～2800/2000～3180	20～30° / 0～90°
小屋	100	0.5	3000～3180/2800～3180	—
Kappa係数	90.9			

の相関性が見られません。草本は標高 2400 m ~ 2800 m において被覆率が高く、傾斜角では 20 ~ 60° において被覆率が高かったです。草本は 2800 m 以降および、60° 以上の急傾斜地以外では一様に分布していました。

5. まとめ

現地調査において、調査地を 8 つの植物群落に分けました。しかし、MultiSpecWin32 を用いた解析では、植生に関しては草本、ハイマツ、広葉樹の 3 項目にしか分類できませんでした。現地調査では、草本は雪崩斜面植物群落・崩壊地周辺植生・雪田群落・雪田周辺群落の 4 つに分けていましたが、画像解析ではそれらをまとめて 1 項目として分類しました。可視域の赤青緑の 3 バンドの画像では、群落による違いを抽出することはできませんでした。草本は特に被覆率が抽出精度に影響しており、植生率が低い箇所ではハイマツに誤分類されていました。ハイマツは現地調査では風衝低木群落としました。風衝低木群落にはハイマツ・ガンコウラン・シャクナゲが生育していましたが、画像解析ではそれらを個別に分類することはできませんでした。広葉樹も、現地調査ではダケカンバ・ナナカマド・ミヤマハンノキなどが確認できましたが、画像解析では分類することはできませんでした。雪田底荒原・岩場植生の 2 つは、岩の露出がほとんどを占めており、植生はまばらにしか生育していなかったです。そのため、今回使用した 50 cm の分解能の画像では判読することができませんでした。上記のように、画像解析では分類項目数は少なくなりましたが、Kappa 係数は 90.9% と非常に良好な結果となりました。

カシミール 3D を用いた解析では、画像解析画像を標高別・傾斜別に考察しました。その結果、標高区分・傾斜区分ごとに槍沢における植生の分布状況を把握できました。高山植生分布の変化は、傾斜より標高の影響が大きかったです。傾斜による直接的な影響は少ないですが、傾斜により風衝地や雪田が生じることにより植生分布に影響を与えたと考えます。

本研究では、林野庁撮影の航空写真（5500 円

× 2）、MultiSpecWin32（無料）、カシミール 3D（無料）を用いて解析しました。現地調査を除くと、計 11000 円です。どんなに良いデータやソフトウェアを使用しても、それらが高価なものであれば利用できる機会は少なくなってしまうです。フリーソフトを用いた研究は、研究の裾野を広げる一助になると私は考えます。

III. 上高地焼岳の地形変化箇所における植生回復の違い

1. 背景・目的

森林の機能の一つとして、土砂災害の防止機能があげられます。森林の高い浸透能や森林根系の緊縛力は土砂の流出を防ぐうえで重要です。このことから、森林が成立しやすい場所は成立しにくい場所に比べて災害が起きにくいと考えられます。そこで、本研究では木本植生の被覆率の増加が大きい場所にはどのような地形的特徴があるのか、またその要因について明らかにすることを目的としました。

2. 調査地概要

調査地は長野県と岐阜県の県境沿いに位置する上高地焼岳の東斜面にある下堀沢上部です。焼岳の標高は 2455 m で、現在も活動中の火山です。崩れやすい堆積物でおおわれているため、土砂災害が起りやすい場所です。

3. 調査方法

1994 年と 2008 年の空中写真を比較し、木本植生の被覆率（以下、被覆率とします）の増加が大きい場所（エリア②）と小さい（エリア①）を判読しました。現地では、5 m × 5 m のプロットを各々 9 か所ずつ設置し 2 m ごとの起伏と植生調査を行いました。また、エリア①にはササがあり、エリア②にはササがなかったためササの影響を調べるため毎木調査（立木本数、DBH、樹高、起伏）を行いました。さらに、起伏解析プロット 5 か所を設置し、GIS を用いて 10 m ごとの起伏解析と焼岳東斜面におけるササの分布について解析を行いました。

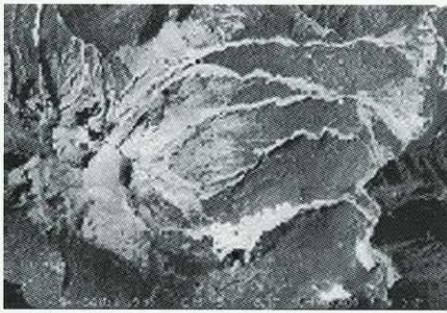


写真1 1994年空中写真



写真2 2008年空中写真

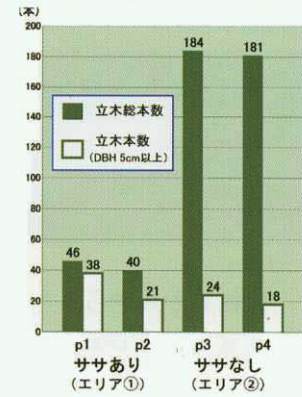


図4 立木本数の違い

4. 調査結果

①現地調査結果

起伏調査の結果、2 m ごとの傾斜方向の平均起伏はエリア①で0.81 m、エリア②で0.60 m、等高線方向ではエリア①で0.21 m、エリア②で0.15 mであり、差がありませんでした。植生調査の結果は表2に示します。毎木調査の結果、エリア①の総立木本数はエリア②の総立木本数の約4分の1でした(図4)。また、起伏調査と同様に毎木調査でも起伏を計測したところ、エリア①の方がエリア②よりも起伏が小さかったです。このことから、被覆率の違いには起伏よりもササの影響が大きいと考えられました。

②GIS解析結果

10mの起伏調査では、傾斜方向と等高線方向の

表2 植生表

調査エリア	エリア①(ササ有)	エリア②(ササ無)
主要樹木 (被度・群度)	ダケカンバ (1・1)	ミヤマハンノキ (3・3)
	ウラジロナナカマド (1・2)	ダケカンバ (+・1)
	ミヤマハンノキ (+・+)	ウラジロナナカマド (2・2)
下層植生	ササ	草本類

起伏の大小に明確な違いは見られませんでした。

しかし、どの調査プロットでも被覆率の増加が大きい場所では傾斜方向の起伏が小さいという傾向でした(表3)。ササの分布については焼岳のほぼ全域がササで覆われていることがわかりました。ササが生育していない全ての場所では被覆率の増加が大きかったです。

5. 考察

本研究では、被覆率の増加と地形起伏との明確な関係はわかりませんでした。被覆率の増加に変化がない場所では傾斜方向の起伏が大きい傾向でした。また、毎木調査とササの分布図から被覆率の増加にはササの影響が大きかったです。以上の事から、焼岳における植生回復の違いは、地形の起伏による影響もあると思われましたが、ササによる木本植生の更新のしやすさが大きな要因であり、両者が絡み合っていると考えられました。

6. 今後の課題

今後は焼岳だけではなく、その他の山岳地帯や山地帯で調査を行う必要があります。また、火山帯での植生回復の違いには地形よりも土壌や気候の違いが大きく反映されることから、土壌内の水分量等の土質を比較する事が必要であると考えます。

表3 10m起伏調査

	エリア①	エリア②	エリア③	エリア④	エリア⑤	エリア⑥	エリア⑦
平均起伏量(傾斜) m/10m	6.76	4.74	3.70	6.88	5.33	6.89	8.78
平均起伏量(等高) m/10m	2.07	2.02	1.23	1.30	1.63	2.50	3.17

灰色のエリアは過去と比べて被覆率が増加している場所である。

雪が語る山の環境

鈴木 啓助

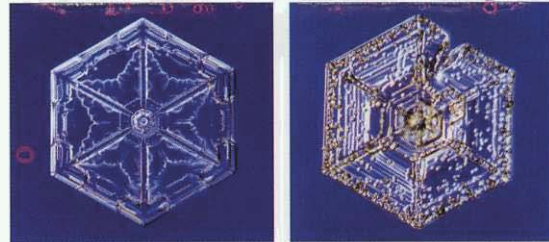
1. 雪は天から送られた手紙である

雪結晶の形がどうして決まるのかを世界で初めて明らかにした中谷宇吉郎は、そのことを「雪は天から送られた手紙である」と表現しました。

中谷は、気温と水蒸気の量を調整できる実験装置により、様々な条件で人工的に雪の結晶を作り、中谷ダイヤグラム (図1) を完成させました。これによると、樹枝状結晶は気温が -15°C 前後で比較的水蒸気量の多い雲の中ででき、角柱結晶は気温は -10 から -20°C 前後と幅広いが、水蒸気量の少ない雲の中でできることなどがわかります。つまり、地上で雪の結晶を観察することにより、雪の結晶が成長した雲の気温や水蒸気量がわかるということになります。まさに、雪は天から送られた手紙であり、その暗号を読み解く鍵が中谷ダイヤグラムなのです。

2. 雪に書かれたもうひとつの手紙

写真1は、どちらも角板結晶ですが、右の結晶にはニキビのようにたくさんの点々がくっついてあります。この点々は海塩などからできている雲粒です。海塩ですから、この雲粒がたくさん付いた雪結晶は海塩成分であるナトリウム・イオン濃度



水晶核以外は純水で出来ている角板結晶
 沢山の雲粒(エアロゾル)が付いた雲粒付角板
 化学的にはとても綺麗
 様々な化学物質を含む

写真1 雲粒の有無による角板結晶のちがいが
 吉田六郎撮影 (『写真集 雪の結晶』より)

が高くなります。それに対して左の結晶は、中心の水晶核以外は純水でできていますからとても純粋です。では、どうして雲粒が付いたり付かなかったりするのでしょうか。

わが国の日本海側地域にたくさん雪が降るのは、シベリア高気圧と日本海があるためです。シベリア高気圧から吹き出す寒冷で乾燥した気塊は、暖流が北上する日本海に出ると下層から熱と水蒸気の供給を受けて対流が起こります。下に暖かい海流があり、上には冷たい空気が流れ込みますから、次々と積雲ができます。この積雲は温度が低く水蒸気も豊富なので雪の結晶がたくさんで

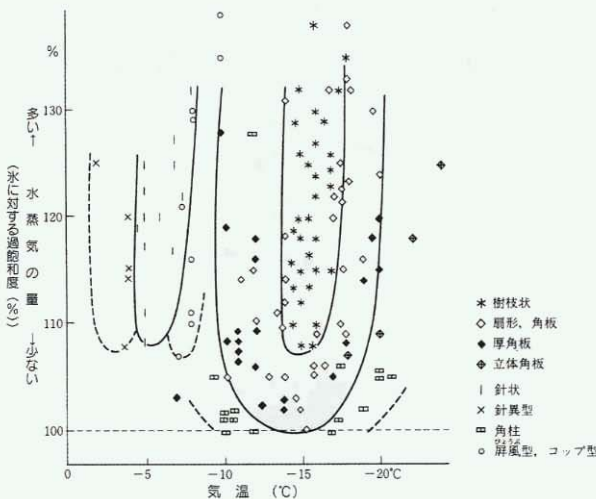
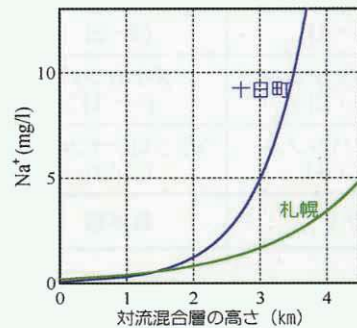


図1 中谷ダイヤグラム

『写真集 雪の結晶』(中谷宇吉郎雪の科学館)より



雪に含まれる海塩起源成分の濃度は雪雲の対流活動によって決まる!!

雲粒付結晶に見られるように、清浄な雪結晶に海塩粒子が付着することによって、海塩成分のナトリウム・イオン濃度が増加する。雪雲の対流活動が活発であれば、雪結晶に海塩粒子が付着する確率が高くなるので、左図のような関係になると考えられる。十日町と札幌の曲線の差異は、風上側の日本海の幅、つまり雪雲の継続時間の差を反映していると考えられる。

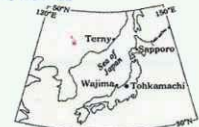


図2 札幌と十日町における、降雪中のナトリウム・イオン濃度と雪を降らせた雲の対流の強さの関係

きるのです。積雲が日本列島の真ん中に連なる脊梁山脈にぶつくと強制的に上昇させられるので、風上側の日本海側地域に大雪をもたらすのです。

波しぶきからできた海塩粒子は雲粒として積雲内に取り込まれますが、対流が激しいと雪の結晶と雲粒がぶつかりやすくなり、雪結晶に雲粒がたくさんくっつきます。札幌と新潟県十日町で採取した雪の中に含まれるナトリウム・イオン濃度と積雲対流の強さとの関係を図2に示します。どちらの地点でも、積雲対流が強くなると雪に含まれるナトリウム・イオン濃度が高くなります。札幌と十日町ではグラフが異なりますが、これは積雲対流が継続する時間の違いで説明できます。十日町の風上（北西）側の日本海は、札幌の風上側の日本海よりも幅が広いので、それだけ積雲対流が長く続くのです。このように、地上で降ってきた雪を採取してナトリウム・イオンなどの海塩起源物質濃度を調べれば、その濃度の大小から、雪を降らせた積雲の対流活動の強さがわかるということになるのです。「雪は天から送られた手紙である」の暗号を読み解く鍵を、もうひとつ見つけることができたのです。

積雲対流がほとんど無い雲は層雲です。層雲は日本海に低気圧がある時に北陸などで雪が降る場合や、信州の「上雪」のように南岸低気圧による雪雲などに見られます。積雲がたくさんできる冬の気圧配置の場合と日本海低気圧や南岸低気圧の場合では、降ってくる雪に含まれる硫酸や硝酸

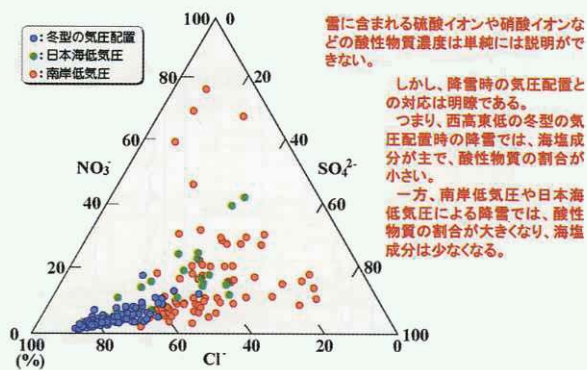


図3 十日町市における降雪時の総観場と降雪中の陰イオン組成

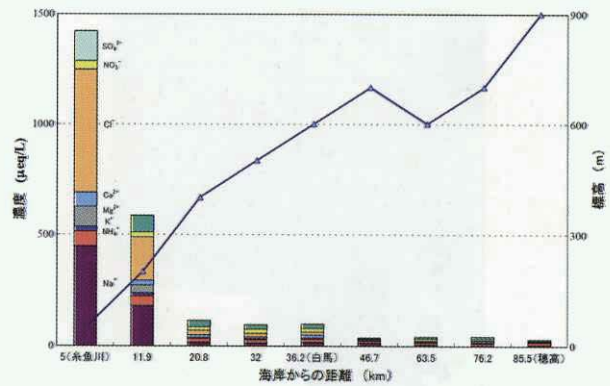


図4 糸魚川から白馬を通して穂高に至る国道148、147号沿いにおける新雪中の化学成分濃度の分布

海岸沿いでは海塩成分などの濃度が高いが、内陸ではとても清浄です。

などの酸性物質の濃度組成が異なることもわかっています（図3）。

3. 山沿いの雪と海沿いの雪

雲粒の付いた雪結晶は、付いていない結晶に比べて重くなることは予想できると思います。また、海塩粒子は主に海上で付着します。このことから、海上で海塩粒子をたくさん付けた雪結晶は、重いので海沿いで落下して内陸まで運ばれにくいと思いませんか。

糸魚川から穂高まで、同じ時に降った新雪を採取分析した結果を図4に示します。予想通り、糸魚川では海塩成分濃度がとても高いのですが、海岸から内陸に行くに従い、濃度はどんどん低くなっています。

4. 山に積もっている雪を調べる

写真2・3は、中部山岳地域での積雪調査の様子です。様々な気象条件で降った雪に含まれる化



写真2 中央アルプス・千畳敷での積雪調査

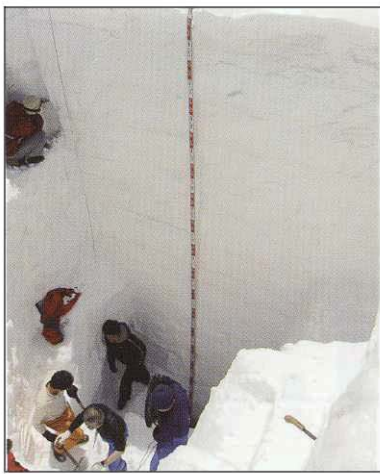


写真3 立山・室堂平での積雪調査
7mに及ぶ積雪を調べました。

学物質は、雪が融けなければそのままの層に保存されています。いろいろな山で雪を掘り、深さ方向に3 cmごとに雪を採取し分析すると、図5のようなグラフが描けます。西穂高岳から順に南側に位置する場所の積雪を調べた結果ですが、ほとんど同じ時期なのに、北側の方が雪の深さが大きくなっています。これは、北西の季節風で降る雪が多いからです。また、北から南へと順に海塩成分である塩化物イオン濃度が小さくなっています。これも図4と同じように海塩起源成分濃度は、風上である日本海に近い方が濃度が高いからです。さらに、西穂高岳と乗鞍岳の調査地点は18 km離れているのですが、塩化物イオン濃度のプロファイルがとても似ています。これは、ふたつの地点ではほぼ同じ気象条件で雪が降っていることを示します。乗鞍岳から南に24 kmの距離にある御岳（北面）では、前記のふたつの地点と大まかな傾向は似ているのですが、細部はか

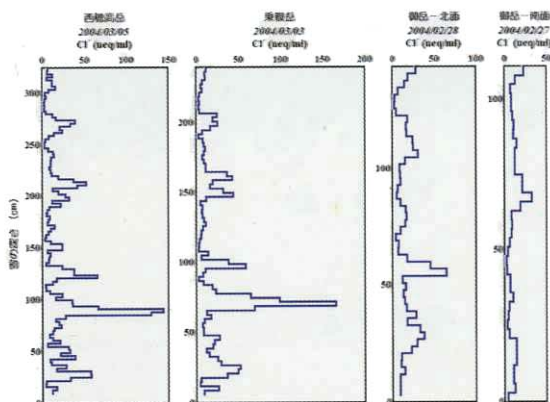


図5 北アルプス西穂高岳、乗鞍岳、御岳における塩化物イオン濃度プロファイル

なり異なっています。硝酸イオンについて同じようなプロファイルを描くと、塩化物イオンとは逆に、より南側の地点で濃度が高くなっているのです。これは、雪を降らせる南岸低気圧によって関西や中京地域からの影響が大きいことを示しています。

5. 山に降る雪の量

山にはたくさん雪が降っているだろうなと思いますが、どのくらい降っているのかは精確にはわかりません。大雪の時にはテレビなどで、どこそこでは積雪深が2 mを超えたとか言われますが、気象庁の積雪深観測点で最も標高が高いのは日光の1292 mに過ぎないのです。次が菅平の1253 mです。信州には3000 m級の山々が連なっていますが、高標高地点での観測データが無いのです。そこで、雪に書かれた手紙文から、高標高地点で降る雪の量を見積もる方法を紹介합니다。

これまで説明したように、降ってくる雪の化学的性質はその時の気象条件を反映しています。それが順番に積もって積雪になりますが、各積雪層の化学的性質は、融雪が無ければそのままの状態に保存されます。新雪は積もっている間にシマリ雪やザラメ雪に変わりますが、ザラメ雪は融雪のために液体の水の状態を経験した雪です。液体の状態を経ると（再凍結したのがザラメ雪ですから雪結晶が無くなるわけではありません）積雪層の化学的性質は変わってしまいますが、新雪からシマリ雪に変わる時には積雪層の化学的性質は変わ

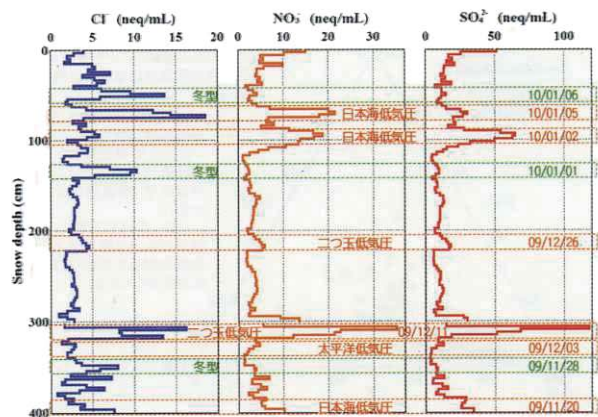


図6 陰イオン濃度プロファイルと降雪日の同定
穂高連峰・西穂山荘近傍での調査による。

らないのです。

この性質を利用すれば、積雪層の化学的性質を調べることによって、いつ降った雪なのかがわかることとなります。図6は穂高連峰にある西穂山荘の近く(標高2350m)で、2010年1月11日に、積雪表面から399cmの深さまで3cmごとに積雪層を採取して分析した結果を示します。それぞれのイオン濃度に凸凹がありますが、これと天気図とを見比べることにより図に示したように、それぞれの積雪層が雪として降った日付を決めることができます。そして、ふたつの日付の間に積もっている雪の量(それぞれの層について密度を調べていますから、水の量に換算することができます)は、その間の降水量に相当することになります(すべての層で融けていないことが雪質から判明しています)。これで、標高2350mの地点で、いつどのくらい雪が降っているのかがわかることになります。

では、次に、標高の低い場所での観測データと比べてみましょう。松本と宇奈月のアメダスの期間降水量と西穂での同じ期間での積雪水量との関係を図7に示します。宇奈月とはとても相関が良いのですが、松本とは相関が良くありません。これは、西穂で雪が降る時には宇奈月でも同じように降っているのですが、松本では降らないことが度々あることを意味します。西穂や宇奈月では冬型の気圧配置(シベリアに高気圧があり日本の東側に低気圧がある西高東低の気圧配置)で雪が降ることが多いのですが、松本では冬型の気圧配置ではほとんど降らずに、南岸低気圧で降ることが

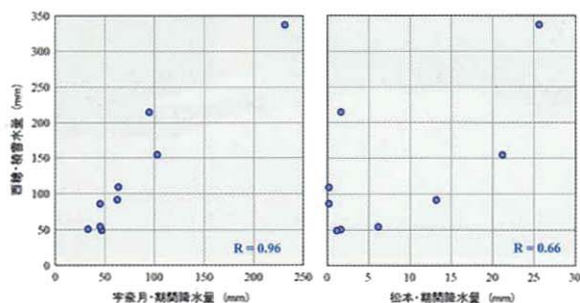


図7 松本および宇奈月での期間降水量と西穂における積雪水量の関係

多いからなのです。

6. 雪が融ける時

積雪がザラメ雪になる時には化学的な性質が変わると言いましたが、どう変わるのでしょうか。再凍結してザラメ雪になる時には、純水から先に凍ります。氷点降下によってイオンを含んだ水は凍りにくいからです。つまりザラメ雪になると結晶の周りに化学物質が高濃度に集積するのです。その時に、積雪表面から融雪水が流下すると、今度は雪粒子表面の化学物質は溶けやすいので、融雪水にどんどん溶け込んでいきます。結果的に、融雪水は高濃度になるのです。積雪の下層で融雪水を集めて分析した結果を図8に示します。融雪が起こる度に、積雪全体よりも高い電導度(水に溶けているイオン総量の目安)の融雪水が流れ下ることがわかります。同時に、融雪時には低いpH(酸性の強い)の融雪水が流去することもわかります。pHが低くなるということは水素イオン濃度が高くなるということです。このように、融雪によってイオン濃度が高く酸性の強い融雪水が、河川や湖沼などに流れていくのですが、このように融雪時に酸性の強い融雪水が陸水に供給される現象を、アシッド(酸性のという意味)・ショックと言います。北欧や北米では社会問題となったのです。これらの地域に比べて、日本では酸性の水を緩和する働きのある土壌が豊富なために、日本の雪国ではアシッド・ショックがあまり問題にはなっていませんが、山岳溪流では春先の融雪期には他の季節よりもわずかに酸性になっているのです。

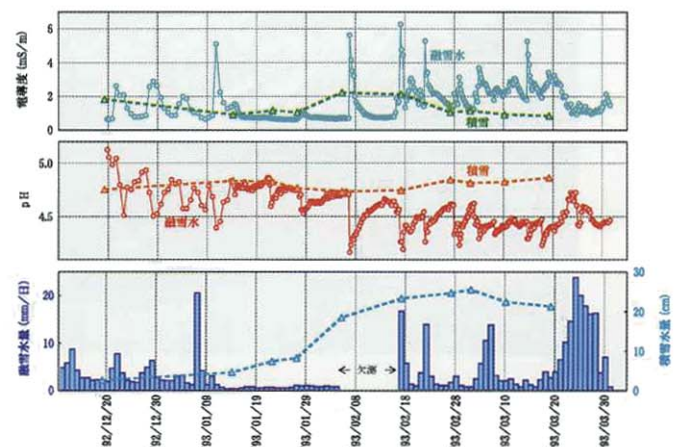


図8 融雪水量の変化と融雪水のpHと電導度の変化

上高地の生い立ちを探る

原山 智・河合小百合

1. 不思議な谷、上高地

上高地は不思議な谷です。森林限界を超える岩峰-穂高連峰を望みながら、梓川の川べりをゆったりと散策ができます。こんな場所は国内にはないでしょう。1915年(大正4年)の焼岳の噴火でせき止められてできた大正池でバスを降りて、田代池、河童橋、明神、徳沢と9kmほど梓川をさかのぼっても、わずか60mほどしか標高はかせげないのです。勾配は7%。(水平距離1000mの間に7mの高さの変化)で、長野県内の鉄道の線路より緩やかな、ゆったりとした流れなのです(写真1)。

山岳地帯の谷にはめずらしい平らな地形は、焼岳のせき止めによってできたと多くの人が想像してきました。調べてみると、確かに高山市の郊外や平湯温泉の近くにはかつて上高地方面から流下した河川の礫が残っていて、その昔梓川は岐阜県の宮川水系や高原川水系を経て神通川へ流下し、富山湾に注いでいたことを示しています。

2. 300m 学術ボーリング

しかし上高地の地下にかつての“古梓川”があって、せき止めによって埋められてしまったこ

とを確認した人はいません。2008年(平成20年)11月末から翌年の3月末まで、信州大学山岳科学総合研究所は上高地大正池北西の標高1495m地点で300mの深さまでボーリング(略称T2)を行いました(写真2)。学術ボーリングT2の目的は、①“古梓川”の河床を見つけることと、②、せき止め後にたまった地層を採取して埋め立ての状況や昔の気候や植生の記録を調べることにあったのです。

3. 掘削地点とボーリング試料の概要

学術ボーリングT2の掘削地点は、上流から梓川によって運ばれてくる檜・穂高連峰の砂礫や泥、西隣の焼岳火山群からの泥流や土石流で運ばれる火山性砂礫が集積する場です。掘削されたボーリング試料の構成物の概略を以下に示します

深度0～9.6m：焼岳火山砕屑物

深度9.6～60.0m：砂礫層(河川の堆積物)

深度60.0～77.8m：砂礫層と薄いシルトと粘土の繰り返す地層(湖の堆積物)

深度77.8～114.5m：砂礫層(河川の堆積物)

深度114.5～289.0m：薄いシルトと粘土の繰り返す地層(湖の堆積物)



写真1 河童橋から望む梓川の緩やかな流れ(2009年5月撮影)

大正池～徳沢間の平均河川勾配は7%。



写真2 大正池北西、標高1495m地点で行われた学術ボーリングT2掘削作業(2009年2月撮影)

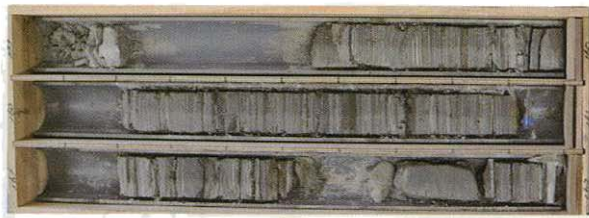


写真3 深度160 m付近の縞状構造を示す湖成層

深度289～300 m：穂高安山岩類などからなる径10 cm以上の大礫からなる礫層（河川の堆積物）

ただし深度123～129 mには無層理の粘土層（泥流堆積物）、147.3～153.6 mには焼岳火山群溶岩の大礫を含む地層（土石流堆積物）、226.5～244.0 mには厚い砂礫層（洪水流堆積物？）が含まれます。また随所に薄い砂礫層が含まれます。

なお、深度114.7 m付近からは厚さ5 mmの細粒ガラス質火山灰層が見出され、7300年前に南九州から噴出した鬼界アカホヤ火山灰層に対比されました。

大正池300 mボーリングの柱状図と放射性炭素年代値（暦年較正值）を図2の左端に示します。

4. 古梓川の河床礫層と湖成層

ボーリングT2の最深部、289 mから300 mまでの間には直径50 cmを超える丸い礫や砂があることがわかりました。これは流れの速い川があったことを示しています。間違いなくボーリングは「古梓川」のかつての川原に到達したと考えられます。

これより浅い289 mから114.5 mまでの間には、縞模様を示す粘土・シルト層がひんぱんに出現しました（写真3）。

こうした細かな縞模様を示す地層は湖の湖底で静かに堆積したことを示しています。樹木化石を放射性炭素年代測定法で測ると、289 m深で約12200年前という結果が、また114.5 m深では南九州から飛来した鬼界アカホヤ火山灰（7300年前）が見つかりました。これらのデータは上高地で5000年間にわたって巨大なせき止め湖（古上高地湖）が存在していたことを示しているのです。また、せき止めは焼岳火山群のうちのアカンダナ火山初期（白谷山火山末期）の噴火により、

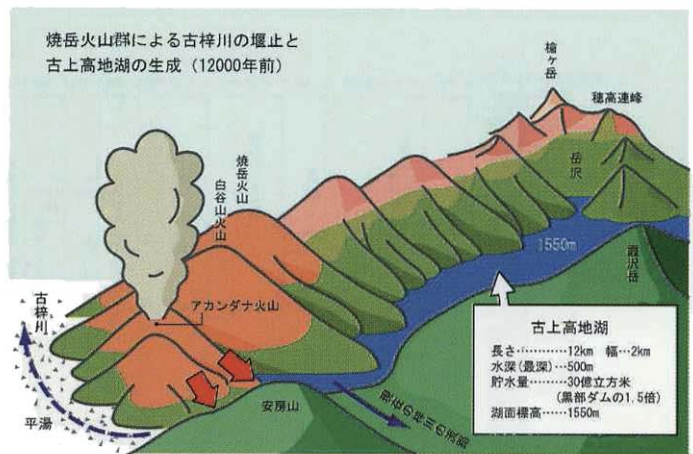


図1 12000年前に出現した巨大せき止め湖
イラスト：堀場ももよ

現在の安房峠北東1 kmの地点で生じたこともわかりました。

せき止め直後の湖は、湖面の標高が1550 m前後、規模は長さ12 km × 幅2 kmで上高地上流の徳沢まで達し、最深部で500 m、貯水量は30億立方メートル（黒部湖の約15倍）と推定されます（図1）。

コアの深度114.5 mには湖の地層を侵食した痕跡があり、その上に4千年前の砂礫が、50 m以浅では160年前の砂礫や火山の噴出物が見つかりました。それぞれ、焼岳から流出した下堀沢溶岩によるせき止め作用があったこと、後者は大正池ができた当時の土砂や火山泥流であることを示しています。T2ボーリングの柱状図を図2に示します。またボーリングコアT2の深度と年代の関係を図3に示します。

図3では第1次せき止め湖（1万2千～7千年前）では年間37 mmほど堆積作用が続いていたことが読み取れます。いっぽう4千年前の下堀沢溶岩によるせき止め後は、年間265 mmと急速な埋積作用（第2次せき止め）が進行したことを示しています。

こうして上高地は3度にわたるせき止めの結果生じたこと、特に第1次せき止め湖を埋積した作用が現在の上高地の原形をつくったことが明らかになったのです。

5. 巨大せき止め湖はなぜ消滅したか？

第1次せき止めによる堆積物は、114.5 m深よ

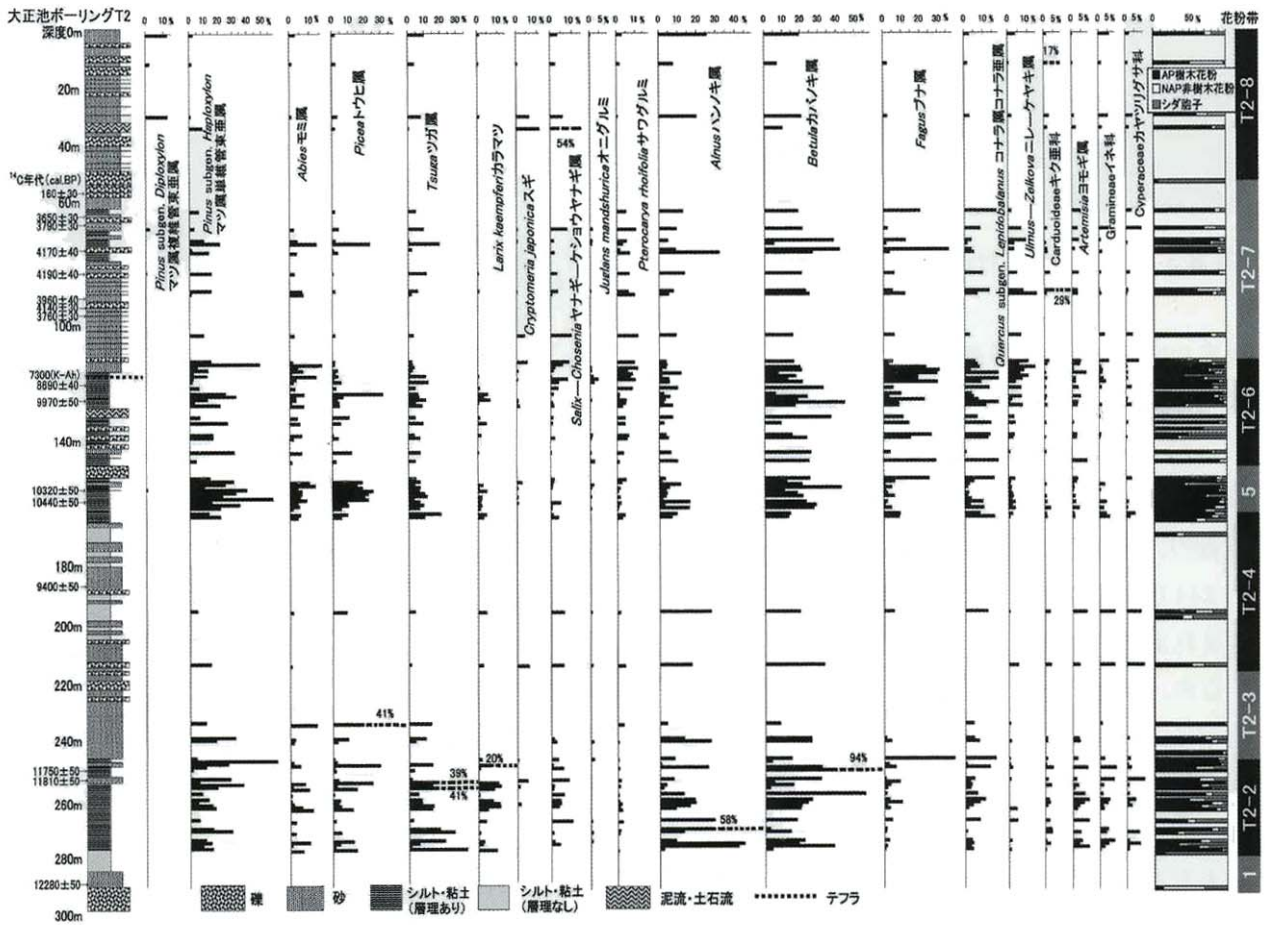


図2 柱状図、放射性炭素年代と花粉ダイアグラム
柱状図の左に ^{14}C (放射性炭素) 年代を示す。

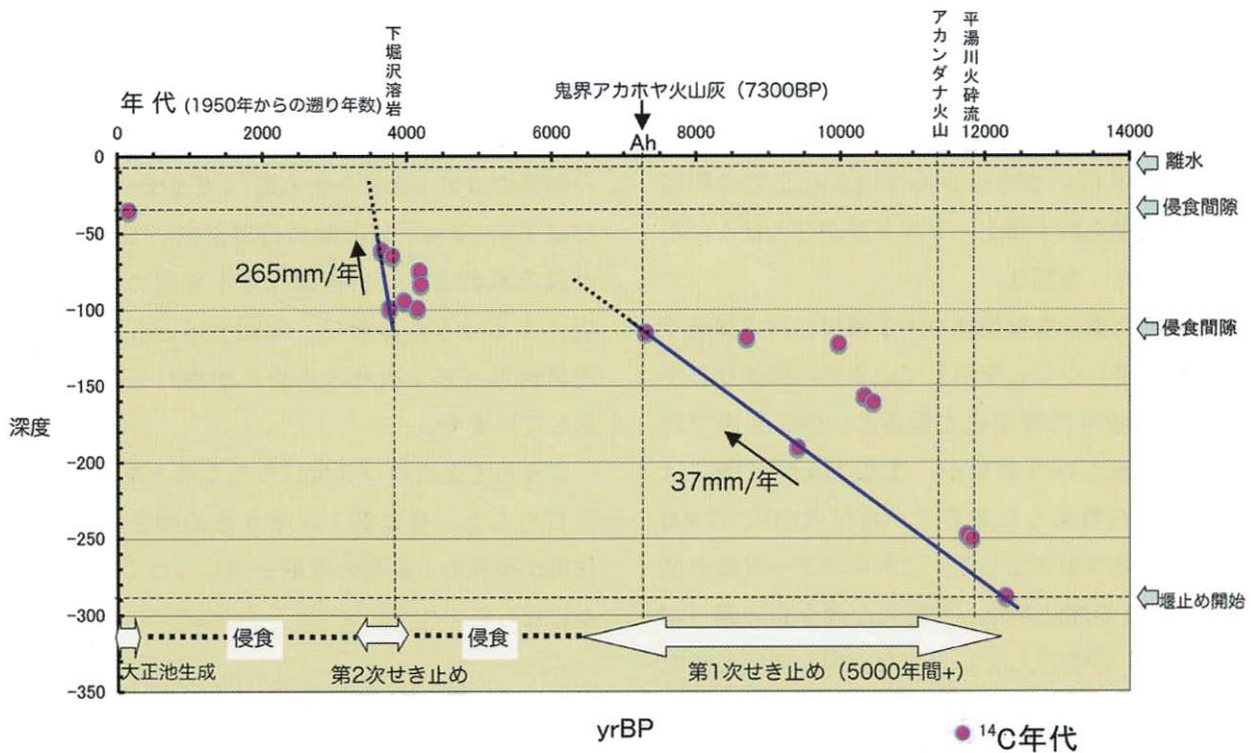


図3 掘削深度と堆積物の年代との関係

り上の部分が侵食作用で削剥され、第2次せき止め（約4千年前）による堆積物により被われています。この記録のない期間（7-4千年前）には何が生じていたのでしょうか？ 以下にお話しするのは、今まさに研究に取り組んでいる“古上高地湖決壊”仮説です。

かつての神通川水系と犀川水系の分水界は、霞沢岳から釜トンネルの南を通り、安房山に達する稜線に位置していました。この分水界のうち最も低い鞍部（標高1550m）をなしていたのが釜トンネルの南です。せき止め直後の古上高地湖の水位はこの高さに達しており、あふれた水流は鞍部を侵食していきましたが、湖のあった5千年間に谷が侵食作用でほりこまれた下刻量は100m程度です。しかし下堀沢溶岩が4千年前にせき止めをおこすまでの2～3千年間に、現在の河床に近い標高1300mまで170mの下刻が進んでいるのです。おそらく下刻作用を加速するイベントがあったことを示しています。最近の調査で6000～5000年前後に地震を引き起こしたことが判明した境峠断層は、分水界鞍部を通過しており、この断層の動きが古上高地湖を決壊させたの

であろうとらんでいるのです。古上高地湖の消滅期に対応するだけでなく、松本盆地に流下した梓川に沿って分布する段丘礫層中に、上高地起源の礫が供給され始めるのも7-4千年前の形成とされる低位面（丸田面）からであり、この時期に上高地からの堆積物が急増したことを示していて、なおのこと信憑性が高いとらんでいます。

6. 上高地の植生の変遷

ボーリングコアの花粉分析によって明らかとなった上高地地域の植生変遷史を図4に示します。堰き止め直後の12000年前は山岳氷河が残存しており、まだ寒冷で乾燥した気候だったといえそうです。その後徐々に温暖化が進み、7000年前頃には現在よりもやや暖かい気候になっていました。現在の上高地よりの標高の低いところに分布するブナやコナラ属が上高地まで侵入していたのです。その後湖の消滅により記録が途絶えますが、4000年前頃は引き続き温暖な気候が支配的で、また200年前には現在と同じようなヤナギ属の多い河畔林が成立していたようです。



1. 位置図 2. 12000年前より昔、深い谷であった上高地と西流する古梓川。 3. 12000年前頃、「古上高地湖」誕生。氷期の名残で植生は貧弱。先駆林の出現。 4. 12000年前頃、



5. 11000年前頃、針葉樹林に遷移。 6. 10000～7000年前、「古上高地湖」の埋積進行。落葉広葉樹林に遷移 7. 4000年前頃、「古上高地湖」消失と梓川の東流。 8. 広々とした川原に河辺林が広がる現在の上高地。

図4 上高地の古環境変遷のイメージ

アリの巣にいそろうする昆虫

小松 貴

1. 自然界の強者—ア리를味方にする

みなさんは、家の中に突然ゴキブリやネズミがでて驚いたことはありますか？ 人間の家の中は、暑すぎず寒すぎず、食べ物も沢山あるので、しばしばこうした生きものが勝手に入ってきて住み着いてしまうことがあります。実は、そんなゴキブリやネズミにあたる生きものが、アリの巣の中にも住み着いています。

アリは、人間のように家族みんなで大きな巣を作り、その中へ沢山の餌をため込んで生活しています。その上、アリは怒りっぽくて、敵が来ればすぐにみんなで噛みついたり、蟻酸（ぎさん）という毒を飛ばして攻撃します。人間はア리를ちっけな生きものだと思っていますが、実はアリは自然界ではとても強く、多くの肉食動物から避けられている存在です。

でも、もしそんなアリたちを逆に味方につけることができれば、どんなに楽でしょう。敵は追い払ってくれるし、巣の中には食べ物がいくらでも有り余っています。アリは自分たちの体から出る匂いをかぎ分けることで、自分の家族とそうでないものとを厳しく区別しており、たとえ同じ種類



写真1 クボタアリツカコオロギ

クロヤマアリの巣で発見した。DNAの解析から、この種類には見た目では区別できない2種がいることがわかった。

のアリでも違う家族であれば容赦なく攻撃してしまいます。アリは、違う家族でさえ仲良くできないのに、アリですらない他の生きものと仲良くなれるのでしょうか？ 実は、アリと仲良くなることに成功した虫はたくさんいます。そのひとつの例が「アリツカコオロギ」です（写真1）。

2. アリツカコオロギの特別な能力

アリツカコオロギは、米粒ほどの大きさのとても小さくて茶色いコオロギで、ふつうのコオロギと違って翅がなく、鳴きません。見た目は小さなゴキブリです。見たところ、何一つ取り柄のないつまらなそうな虫ですが、彼らは他のどんなコオロギにもまねが出来ない、特別な能力を持っています。それは、「アリじゃないのにアリになる能力」です。

アリツカコオロギは主に夜、アリの巣を探して地表をうろつき、見つけると何食わぬ顔で巣に入り込んでいきます。当然、アリはこの泥棒のようなコオロギを取り押さえようとしますが、アリツカコオロギは素早く動いてアリの攻撃をかわし、捕まることはありません。巧みにアリの巣内を逃げ回りながら、アリツカコオロギはやがておかしい行動を始めます。なんと自分からアリに近づき、アリの体にそっと触ってすぐに逃げるのです。しかも一度や二度でなく、何度でも繰り返します。この行動によって、アリツカコオロギは、アリの体表面に付いている、仲間を認識する匂い成分をはぎ取っているのです。この後、彼らは自分の体をこすったり引っ掻いたりすることで、アリから奪った匂い成分を自分の体にぬりつけます。2、3日の間、これをひたすら繰り返せば、アリツカコオロギは完全にアリの匂いを身にまとうことができ、アリからはよそ者ではなく仲間だと考えられるようになります。こうなれば後はしめたもの。

アリヅカコオロギはアリの巣内を我が物顔で歩き回り、アリがせっかく外から集めてきた餌を盗み食いしたり（写真2）、アリの大切な卵や幼虫までも食い荒らしてしまうのです。アリヅカコオロギは、幼虫も成虫も一年中アリの巣内に住み着いています。こうなってしまうと、もはや、居候（いそうろう）などというかわいらしいものではなく、押し入り強盗ですね。

こんな強盗団が、一つのアリの巣に何十匹も住み着いていることは珍しくありません。こんなにたくさんの強盗がいたら、アリの巣はつぶれてしまうように思えます。しかし、アリヅカコオロギに住み着かれることでアリの巣がダメになってしまうことは、普通は起こらないようです。アリの巣の中には、アリの卵と幼虫が大量にあるし、餌も十分に蓄えられています。さらに、アリヅカコオロギたちは、ひとつの地域にたくさんあるアリの巣に散らばって生活することで、ひとつひとつのアリの巣へのダメージを減らしているのです。

イソップ童話の「アリとキリギリス」では、夏の間遊びほうけていたキリギリスは冬にアリたちの所に助けを求めたものの冷たく追い出されてしまいました。しかし、もしキリギリスがアリヅカコオロギだったら隙をついて強引にアリの家に入り込んだかも知れませんね。

3. DNA 解析によるアリヅカコオロギの分類

アリヅカコオロギの仲間は、アフリカと南米を除くほとんどの大陸に60種類程度が知られており、特に東南アジアに多くの種がいます。その中でも日本にはおそらく3種類か4種類がいるとされていました。ずいぶんといい加減な言い方ですが、これには仕方ない事情があります。彼らは、どの種類も見た目の形や大きさが全く同じで、似たり寄ったりの姿をしているので分類がとても難しく、昔の学者の「カン」にも等しい方法で分類されてきました。

しかし、最近になって、アリの巣に居候する虫を専門に研究する学者が現われ（そんな訳のわからない事をやって食べていける人がいるのですか



写真2 餌を盗むアリヅカコオロギの仲間
アリ同士が口移しで餌を分け合っている間に割り込んで、盗み食いしている。

ら、世の中不思議なものです）、電子顕微鏡でしか見ることが出来ないような微細な体表の毛の形で、アリヅカコオロギの分類ができそうだと言い出しました。そして、彼はこの方法によって日本のアリヅカコオロギは10種類になるとしました。確かに、この方法は今まで使われてきた分類方法よりは客観的で分かりやすいものでしたが、この分類方法は新鮮な成虫のアリヅカコオロギでないと使用できません。幼虫や擦り切れて弱ったコオロギでは毛の形がはっきり分からないという欠点がありました。アリヅカコオロギの種を見分けるには、どんな状態の個体にも通用する、より客観的で正確な方法が必要です。

そこで、私はアリヅカコオロギを日本各地から採集してDNAを抽出し、遺伝子の情報を読み取って解析することで、今までの「見た目のカン」や「毛の形」による分類がどの程度正確だったのか、そして日本には何種類のアリヅカコオロギがいるのかを調べました。その結果、今まで形態で分類されてきたクボタアリヅカとクサアリヅカという種類それぞれの中に、明らかにDNAのタイプが異なる2グループがいて、この2グループは居候するアリの種類まで違うことが分かりました（図1）。つまり、見た目が全く同じなものに関わらず、遺伝情報で見ると全く違う種類であり、さらにそのうえ生態も違うものが1種のアリヅカコオロギに混ざっていたわけです。その一方

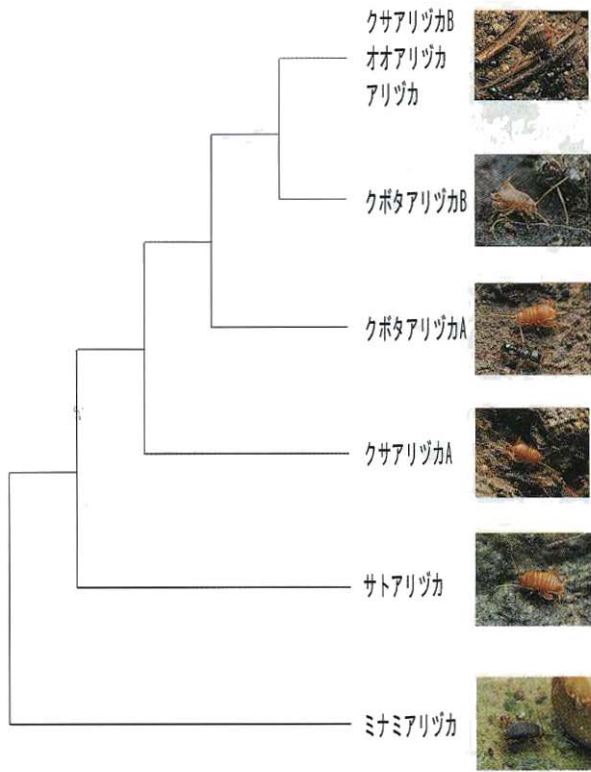


図1 DNA解析の結果から認められた、日本産アリヅカコオロギの系統関係

ミナミアリヅカとサトアリヅカはそれぞれひとつの種類になったが、クボタアリヅカとクサアリヅカは2つの系統に分かれた。また、外形は違うクサアリヅカ、オオアリヅカ、アリヅカコオロギの3種はDNAの型が同じだった。

で、今まで複数の種類に分けられていたアリヅカコオロギが、DNAから見ると、実は1種類であるという証拠も発見されました(図1)。つまり、本当は同じ種類なのに姿かたちが(わずかながら)ことなるアリヅカコオロギもいたということです。このように、これまで知られていた種類が増えたり減ったりしてまだはっきりとはしませんが、結局日本産の種は10種類前後に落ち着きそうです。今まで見た目だけで区別されてきた生物に、DNA解析という新たな方法を使用することで、これまでよく分からなかった生物の細かな分類が次第に明らかになったわけです。

4. いそろうの相手は決まっている

もうひとつ、このアリヅカコオロギについてわかった重要な事があります。これまで彼らの全種類は、どんな種類のアリの巣にも居候できると思われてきました。ところが、実際には、彼らは種ごとに居候するアリを違えていたのです(図2)。

野外でアリヅカコオロギの調査をおこなうと、明らかにコオロギ種ごとに居候ができるアリ種が違います。実験的に、彼らを本当の居候相手でない他の種類のアリの巣に放り込むと、いつまでもそのアリと仲良くなりにくいという結果も出ています。まだ詳しいメカニズムはわかりませんが、アリヅカコオロギは種ごとに匂い成分を盗み取りやすいアリの種が決まっています、それ以外のアリ種とは仲良くしたくてもできないのではないかと考えています。さらに調査を続けると、アリヅカコオロギの中には複数の近縁な種類のアリ種に居候できるコオロギもいることがわかりました。彼らはそれぞれのアリとはそんなに仲良くないけれど、自分で餌を拾って食べたりと自分のことは自分でできます。その一方で、決まった種類のアリ

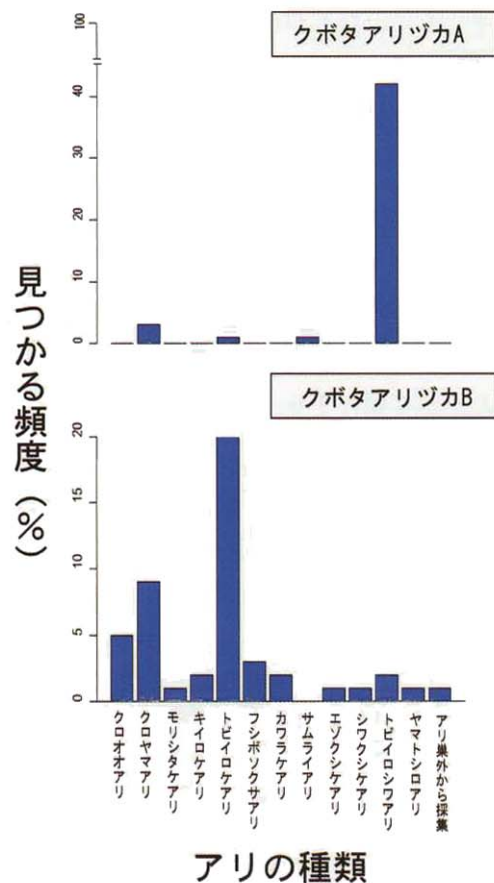


図2 2種のアリヅカコオロギにおける居候先のアリ種の頻度

日本各地で調べた結果。クボタアリヅカAは、トビイロシワアリばかり利用するのに対して、クボタアリヅカBは、何種類かのアリを利用していた。

の巣に居候するアリヅカコオロギは、そのアリととても仲がよく、口移しでアリから餌をもらったりできる反面、アリのいない場所では自分で満身に餌も食べられずに死んでしまうということが分かってきました。決まった種類のアリだけとても仲良くなるべきか、いろんな種類のアリと広く浅い付き合いをすべきか。この天秤の上で、アリヅカコオロギは、生き残りをかけて日々アリたちと駆け引きを続けているように思えます。



写真3 タカネアリノスハネカクシ

山間部に住むヤマクロヤマアリの巣だけにいる珍しい甲虫の仲間。腹のわきの毛からアリの好む汁を出す。

5. アリの巣は「陸の深海」

アリヅカコオロギの仲間は、日本では標高1400mあたりまで生息しています。東南アジアで繁栄しているこのグループが、こんな寒い山の上にもまで旅をしてきたなんて、壮大な話ですね。

さらに、日本の高山には平地にはいない特殊な「高山アリ」が何種類もいて、それらに居候しなければ生きられない、アリヅカコオロギと同じような習性をもつ不思議な虫たちもすでにいくつも

見つかっています（写真3）。

我々人間は、誰もがアリの巣を身近に感じていながら、誰もその中で起きていることを知りません。アリの巣は、アリとともに多くの未知なる虫たちが人知れず息づく「陸の深海」なのです。

… [コラム] …

DNA 塩基配列の決定法

上田 昇平

最近の分子生物学のめざましい進歩によって、生物が進化してきた歴史を研究することが出来るようになりました。動物、植物や細菌など、すべての生物の遺伝子はデオキシリボ核酸（DNA）であり、全生物の設計図はDNAに記載されていることがわかったからです。

DNAの設計図は、4つの塩基、アデニン（A）、

チミン（T）、グアニン（G）、シトシン（C）の並び、つまり塩基配列の形で保存されています。この塩基配列を生物間で比較して、どれくらい設計図が異なっているかを調べれば、2つの生物がどれくらい昔に分化したのかがわかるようになりました。

塩基配列の決定には（1）DNA抽出、（2）ポリメラーゼ連鎖反応、（3）サイクルシーケンス反応、これらの3つの実験をおこなえば、生物のDNAの塩基配列を調べることができます。

（1）DNA抽出

DNA抽出は、生物の細胞からDNAのみを取り出す技術です。生物細胞が新鮮であれば、ほんのわずかな細胞でDNAの抽出は可能です。

（2）ポリメラーゼ連鎖反応（Polymerase Chain Reaction, PCR）

PCRは、抽出した微量のDNAから、目的のDNAを取り出し、100万倍以上に増幅する実験です。塩基配列を調べるには大量のDNAが必要なので、PCRで増幅した部分の塩基配列だけを調べることができます。

（3）DNAシーケンシング反応

DNAシーケンシング反応は、PCRによって増幅したDNAの塩基配列を読み取る技術です。

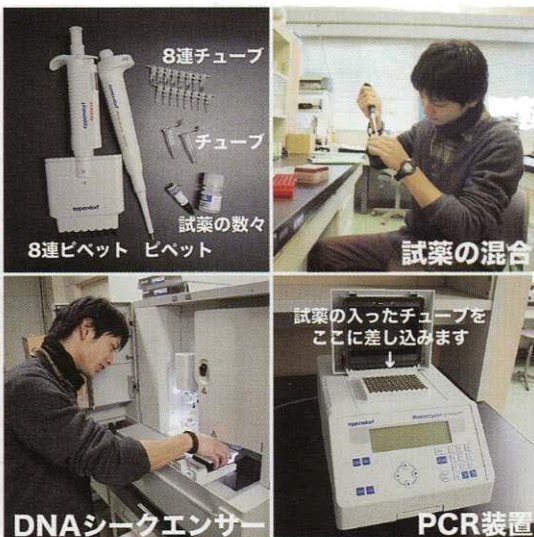


写真1 実験の手順（左上から時計回り）

水生昆虫のすみわけと DNA - 流程分布と遺伝的構造 -

東城 幸治

登山の際に、標高に応じて周囲の植生が変化することは多くの方がお気づきのことと思います。特に、低山帯・亜高山帯・高山帯の境界域では劇的な変化がみられます。このような標高による垂直分布は、植物だけでなく、動物においてもみられる現象です。

私の研究室では、陸生昆虫類や水生昆虫類を対象に、このような垂直分布の状態の把握とともに遺伝的構造の比較検討を行っています。今回は、その中でも溪流に棲息する水生昆虫類（特に、ヒラタカゲロウ科昆虫）について取りあげてみたいと思います。

ヒラタカゲロウ類を対象とした垂直分布の研究は、1930年前後から、今西錦司氏により精力的に展開され、日本発祥の進化理論「すみわけ理論」として大きな反響をよびました。今西氏にとって身近なフィールドであった京都の貴船川・加茂川での調査（図1）から浮きぼりになってきた垂直分布の現象が果たして普遍的であるのかどうかを探るため、今西氏は、より高い標高や冷水環境までもを扱うことのできる、日本アルプス（特に、槍・穂高連峰）や樺太でも徹底的に調査を行いました。

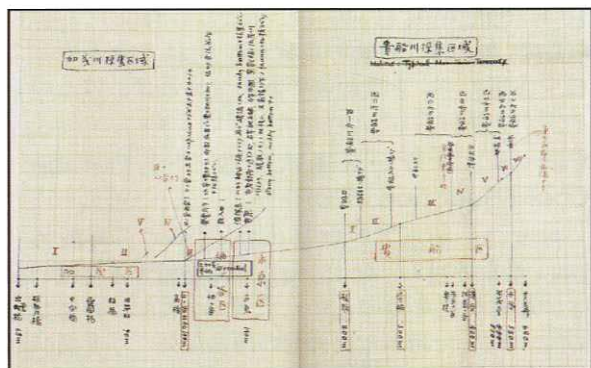


図1 今西錦司フィールドノートより、
京都・貴船川・加茂川における水生
昆虫類の流程分布調査時の野帳
今西錦司（石田英実編）（2002）より。

そして、ヒラタカゲロウ種群においては、河川の上流から下流方向への垂直方向でのすみわけ、また、溪流の岸際から流心へ向かう水平方向でのすみわけが生じていること、これらのすみわけは季節や水温、流速などの影響を強く受けていること、そして、これらの基本的なすみわけ現象に関しては、京都の溪流でも日本アルプスや樺太の溪流においても共通した傾向がみられることなどを論じてきました。

今西氏がフィールドで取得した、ニッチ分割（生態的地位の分割）に関するこれらの情報が非常にきめ細かく優れたものであることは、近年まとめられた「今西錦司フィールドノート」からも明白です。しかし、論理の飛躍や、自然淘汰説に礎をおくネオ・ダーウィニズム理論に反し、「変わるべくして変わる」などの表現に代表されるような今西氏独特の言い回し、そして、「競争」ではなく「協調」に因るとするすみわけ論の展開など、「今西進化論」は科学的議論の俎上にのるようなものですらないとの批判もなされてきました。

今西進化論が、言わば「直感的すみわけ論」であるとして、「非科学的」との評価が下ることには私自身も異論ありません。しかしながら、今西氏がいち早く水生昆虫のヒラタカゲロウ類に着目し、「すみわけ」現象を詳細に記載したことや、ヒラタカゲロウ類の棲み場所分割（すなわちハビタット分割、あるいはニッチ分割）から進化の本



写真1 ヒラタカゲロウ類の一種
Bleptus fasciatus

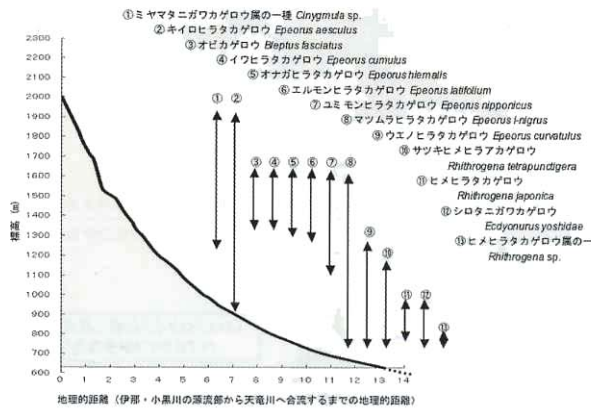


図2 ヒラタカゲロウ類（ヒラタカゲロウ科 Heptageniidae）における流程分布の例
(扇谷・中村, 2008; Tojo, 2010 を改変)

質に迫ろうとしたこと自体、そして、彼の徹底したフィールド主義に基づく類い稀な観察力や洞察力の偉大さには、ただただ感心させられます。

実際に、本邦に生息するヒラタカゲロウ類は種多様性が極めて高く、近縁種間で顕著な垂直分布・水平分布を呈するため、流程がそれほど長くないような一つの溪流においてさえも多数の種群が関係する事例が認められています(図2)。これは、進化生物学研究の盛んな欧米の河川に比べて、「日本の河川は滝である」などと表現されることにも起因することですが、このように急な勾配で流下することが劇的な種群変化を伴う顕著な垂直分布に結びついているものと考えられます。つまり、「すみわけ理論」を検討するにあたり、日本の山岳河川そしてヒラタカゲロウ類は、世界的にみても最適対象なのです。

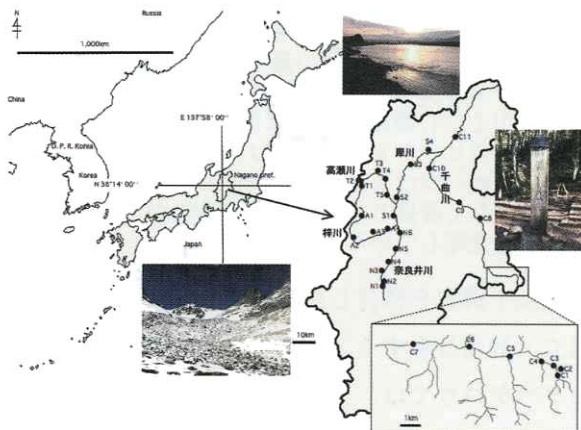


図3 ヒラタカゲロウ類の流程に沿った個体群構造と遺伝的構造の調査地点(全30地点)

そうであるならば、ヒラタカゲロウ類を対象に、科学的議論に基づいたアプローチのもとで、この課題に取り組んでみたいという思いが湧いてきます。北アルプス・上高地を貫流する梓川をはじめとする中部山岳地域の山岳溪流には、多くのヒラタカゲロウ類が棲息しています。

そこで私の研究室では、中部山岳地域をフィールドに、梓川、高瀬川、奈良井川、そしてこれらが合流した犀川、およびこの犀川が注ぐ千曲川本川を対象に、それぞれの河川の源流域も含めた広域を調査地に含め、先ず、ヒラタカゲロウ類の垂直分布（流程分布）に関する定量的調査を行ってきました(図3)。

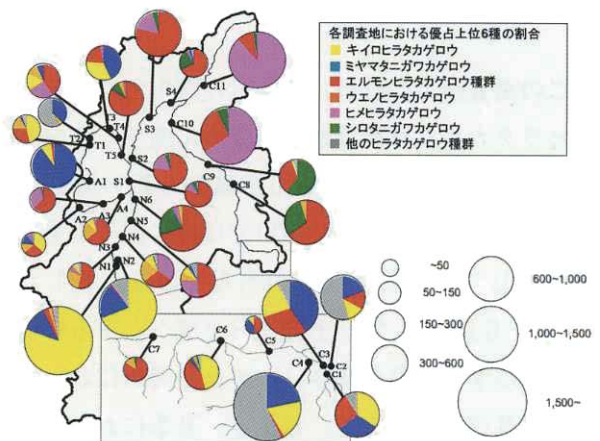


図4 年間を通して季節ごとに4回の定量調査（採取努力量一定：20分間）において採取されたヒラタカゲロウ類の割合（優占上位6種群とそれ以外の種群）



図5 優占上位6種群が採取された調査地点マップ
源流域からのみ採取されたスペシャリストと、広域から採取されたジェネラリストに大別される。

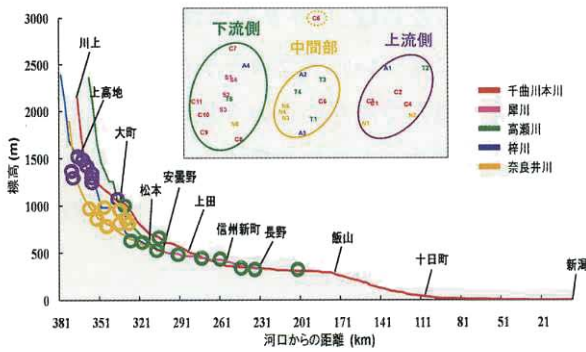


図6 各地点で採取されたヒラタカゲロウ類の種群組成と個体数データに基づく個体群構造の類似度分析と、3群に大別されたそれぞれの地点の河川断面図へのマップ

個体群構造の類似度は、NMDS (Non-metric Multi dimensional Scaling) 解析 (非計量多次元尺度構成法) による。プロット同士の距離が相対的に近いほど、個体群構造が類似していることを示す (Ogitani and Tojo, 2011)。

この調査研究の結果、これらの河川では、多くのヒラタカゲロウ種群が垂直分布に関与していること、特に3,000 m級の山岳域から短い流程で一気に流下する梓川や高瀬川では特に顕著な垂直分布をしていることなどが明らかとなりました (図4・5)。そして、上流から下流へと下りにつれて出現する種群の順序はいずれの河川においてもほぼ共通する一方で、雪深く、夏季においても比較的低水温が維持される梓川・高瀬川では源流棲種群が比較的低標高域にまで棲息していることも明らかとなりました (図6)。おそらく、この程度のことであれば、今西氏も約80年も前に気づいていたに違いありません。しかし、これらの傾向を、定量的データや様々な統計的処理に基づいてきちんと論じていくことには大きな意味があると考えています。

加えて、これらの調査結果から浮き彫りとなった垂直分布の最上流側だけに極めて限定的に分布する種と、上・下流域広域に棲息している種間での遺伝的構造を比較検討しました。具体的には、源流域のスペシャリスト種であるキイロヒラタカゲロウ (学名 *Epeorus aesculus*) と、上流から下流にかけて広域に棲息しているジェネラリスト種であるマツムラヒラタカゲロウ (学名 *Epeorus l-nigrus*) との遺伝的構造の比較です。

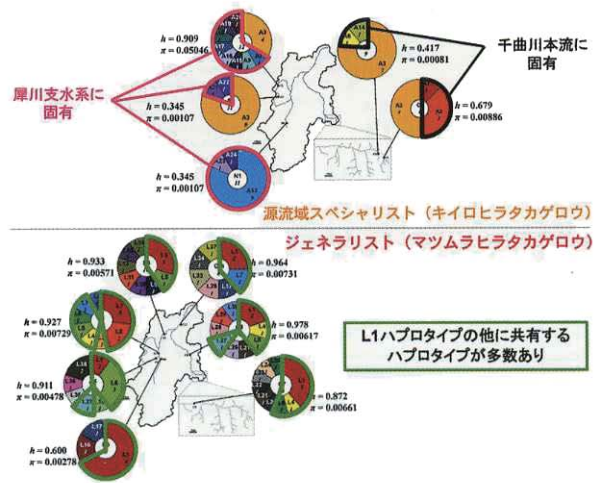


図7 各調査地点において確認された遺伝子型の構成グラフ

円の中央には地点名と解析個体数を示した。遺伝的な多様性 (h : ハプロタイプ多様度, π : 塩基多様度) もあわせて示す (数字が大きいほど、遺伝的に多様であることを示す)。

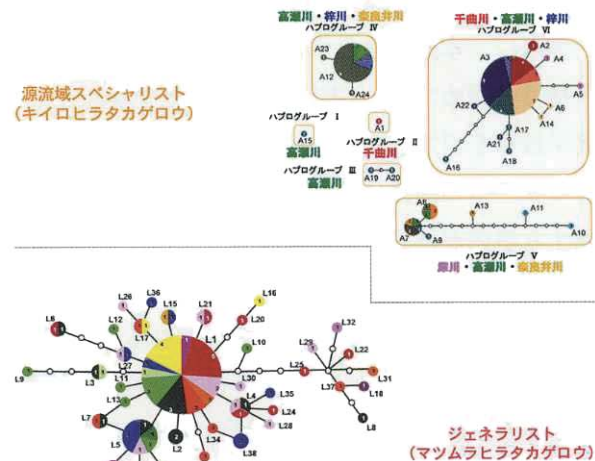


図8 遺伝子型(ハプロタイプ)のネットワーク樹

各遺伝子型(各ハプロタイプ)の類縁性に基づき、近い遺伝子型同士が線で結ばれる(1本の線で結ばれるハプロタイプ同士は、1回の突然変異による差異に相当する)。白丸は検出されていない仮想の遺伝子型を示す。マツムラヒラタカゲロウでは、L1ハプロタイプを中心に、数塩基置換程度の関係にあるが、キイロヒラタカゲロウでは突然変異が多すぎるため一つの樹形として表現しきれずに分断樹として評価された。遺伝的分化が大きいことを意味している。

遺伝子構造を検討した結果、各支流の源流域に孤立・散在分布するスペシャリスト種のキイロヒラタカゲロウでは、予想通り、個体群間での遺伝子流動 (gene flow) は低く抑えられ、個体群単位でいずれかの遺伝子型への固定化 (fixation)

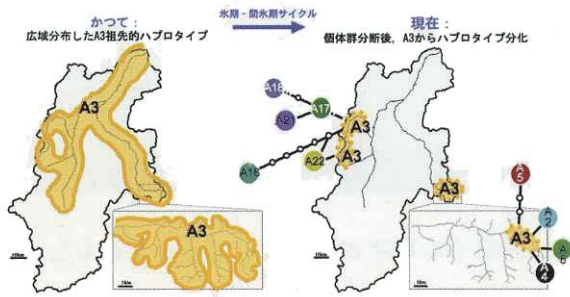


図9 キイロヒラタカゲロウにおける遺伝子解析結果から推察される過去の個体群分断プロセス

が加速しており、また、この固定に際しては遺伝的浮動 (random genetic drift) の影響を強く受けていることが明らかとなりました (図7・8)。具体的には、各調査地点に占める遺伝子型 (ハプロタイプ) の構成をみると、A3 ハプロタイプだけは、千曲川本流にも犀川支水系にもみられるものの、他の遺伝子型は千曲川本流に固有であるか、犀川支水系に固有のものでした。

この結果からは、図9に示したような歴史的イベントがあったのではないかと推察されます。かつて (おそらく現在よりも水温が低かったであろう氷期において)、キイロヒラタカゲロウは、千曲川本流と犀川支水系に広域連続的に分布しており、遺伝子流動も頻繁に生じており、とくに A3 ハプロタイプはその頃に優占的であったものと思われる。間氷期には、冷水適応したキイロヒラタカゲロウの分布域がより源流域側へと縮小し、その結果、個体群の分断化が生じたのではないのでしょうか。分断された千曲川本流域側の個体群からは、A3 ハプロタイプを中心に1回から数回の突然変異による A2-6 ハプロタイプが分化し、一方の犀川支水系においても A3 ハプロタイプを中心に A16-18, 21, 22 ハプロタイプなどが分化したと考えるのがもっとも妥当な解釈であると思われます (図9)。ただし、それぞれが、どの氷期-間氷期の出来事であるか? の判断は非常に難しく、遺伝的変異の程度といわゆる「分子時計 (一定期間に生じる平均的な突然変異率)」を比較検討してみると、千曲川本流と犀川支水系間での遺伝的分化は、最終氷期などよりもはるかに古い時

代であると評価されますが、今後、より精査する必要があると考えています。

一方で、上・下流に広域的に棲息するジェネラリスト種のマツムラヒラタカゲロウでは、支流を跨ぐような遺伝的交流が示されるなど、メタ個体群構造が認められました。

このように、遺伝的解析などの現代的手法も導入することで、現在のすみわけ状態を科学的アプローチのもとに記載できるようにはなってきました。しかし「なぜヒラタカゲロウ類には顕著な垂直分布が成立し得たのか? 種分化の原動力は?」などの根本的課題には、依然として答えられておりません。これらは、これから取り組まなくてはならない大きな課題ですが、この課題に取り組むためには、極めて種多様性の高いヒラタカゲロウ種群が棲息する中部山岳域の山岳溪流が、間違いなく世界一適したフィールドであるので (図10)、さらなる精進を重ねてゆきたいと考えています。



図10 集団遺伝学の一般的理論に基づく個体群構造と遺伝的構造に関する傾向

河川に生息する動物の場合、源流域に適応した種群ほど、個体群は分断化されやすく、遺伝的分化も生じやすい。大きな水系であるほど、傾向が顕著となりやすい。

南北アルプスの稜線とお花畑の蝶

中村 寛志

1. モニタリングサイト 1000 ってなに？

日本列島では、いろいろな地形や気候に育まれたたくさんの動物や植物を見ることができます。このような多様な生態系について、どのくらいの数の生物が暮らしているか（生物多様性）、また生物たちはどのような関係で成り立っているのか（生態系）についての変化を調べるために、全国の1000か所にモニタリングサイトを設置し、基礎的な環境情報の収集を長い時間にわたって行う事業のことを「モニタリングサイト1000（略してモニ1000）」といいます。

モニ1000は環境省生物多様性センターというところで行っています。調べる場所は森林、里地里山などの生態系タイプごとに、これまでにすでに1028か所が設置されています。調査は環境省だけではできないので、関係する研究者や地域の専門家、NPO法人、市民ボランティア等、たくさんの人が協力して長い期間継続して調査できるようネットワークが作られています。

2. 高山のモニ1000は何を調査するの？

現在、地球温暖化が問題になり、地球がSOSを出しています。特に標高が高い高山ではその環境にしか住めない生き物が生息しているので、ちょっと温度が上がっただけでも影響を受

け、生息する場所がなくなってしまうかもしれません。そこで、その変化の状況を正しく捉えるため、2008年に高山のためのモニ1000（通称山モニ）検討会を作り、調査する場所や調査する方法について話し合いました。その結果、大雪山、北アルプス（立山、蝶ヶ岳～常念岳）、白山、南アルプス（北岳）、富士山の5か所が調査場所として決まりました。これらの場所では①気温、②地温、③植生、④開花フェノロジー、⑤ハイマツ年枝生長、⑥チョウ類、⑦地表徘徊性甲虫などの項目について予備の調査が始まり、これから始まる本格調査に向けての問題点や調査の仕方について話し合いが行われています。

3. 信州大学農学部AFC昆虫生態学研究室の役割

信州にある私たち昆虫研は、チョウの生態やチョウと環境との関わりを研究しています。そこで、環境省が行っている山モニに協力して、北アルプス蝶ヶ岳(写真1)と南アルプス北岳(写真2)のチョウのモニタリング調査を行っています。

4. どうやってチョウの調査をするの？

調査というのはだれが行っても同じ結果がでなくてはけません。そこで、チョウがどこにどれくらい住んでいるかを調べるためにトランセクト



写真1 蝶ヶ岳稜線のトランセクトルート



写真2 北岳から見た北岳山荘

調査と定点調査という2つの方法を使いました。
トランセクト調査 標高約2000m以上の登山道に2~3km程度のルートを決めて、同じペースで歩いて、見つけたチョウのうち高山にしか住んでいないチョウの数を記録します。もし可能ならすべてのチョウの種類についてデータをとりま

す。
定点調査 高山帯のお花畑をある程度見渡せる所で、見たチョウの種類と数をすべて記録します。ずっと観察しているわけにもいかないので、午前8時から午後2時30分の間に、1時間ごとに15~30分調査し、これを7回繰り返します。

すべての調査のはじまりとおわりの時に天候、温度、照度、風速を記録しておきます。高山は天気が良くなったり悪くなったりが目まぐるしいので、しっかり、気候のデータをとることも重要です。

5. 蝶ヶ岳ってどんなところ？

長野県安曇野から西の北アルプスを眺めてみると、常念岳が大きく目の前にそびえ、その南側のピークのないなだらかな山が蝶ヶ岳です。この常念岳から蝶ヶ岳は、かつて田淵行男が高山チョウの生態を詳しく調べ、「高山蝶」という有名な本を書きました。長野県はこの本に載っている10種類の高山チョウを天然記念物に指定しました。ちなみに蝶ヶ岳の名前は、春にこの山に現れるアゲハチョウの雪形に由来しているそうです。高山チョウの有名な生息地だからというわけではありません。

2010年の調査は7月と8月の2回行いました。2回行ったのは目的とするチョウが違うからです。まず7月の調査の目的は、高山チョウのタカネヒカゲ(写真3)とミヤマモンキチョウ(写真4)を見ることです。調査は上高地明神にある信州大学山岳科学総合研究所のステーションから徳沢~蝶ヶ岳~蝶ヶ岳というコースで7月18日~19日に行いました。その結果、目的としていたタカネヒカゲとミヤマモンキチョウに出会うことができました。詳しく見るとトランセクト調査では、キ



写真3 タカネヒカゲ(蝶ヶ岳、2010年7月)



写真4 ミヤマモンキチョウ(蝶ヶ岳、2010年7月)

アゲハ、ミヤマモンキチョウ、ヤマトスジグロシロチョウ、アサギマダラ、ミドリヒョウモン、キベリタテハ、タカネヒカゲが観察されました(表1)。そのうち69%がタカネヒカゲでした。定点調査では、キアゲハ、ミヤマモンキチョウ、ヒョウモンチョウ類、タカネヒカゲ、イチモンジセセリが観察されました。そのうち64%がタカネヒカゲで、18%がミヤマモンキチョウでした。この2種は幼虫の食べる餌も住んでいる場所もすべて高山であるために、高山帯生態系を調べるためにはとても重要なチョウなのです。

表1 蝶ヶ岳2010年7月トランセクト調査結果

種名	科名	個体数(%)
キアゲハ	アゲハチョウ科	2(6.3)
ミヤマモンキチョウ	シロチョウ科	2(6.3)
ヤマトスジグロシロチョウ	シロチョウ科	2(6.3)
アサギマダラ	マダラチョウ科	1(3.1)
ミドリヒョウモン	タテハチョウ科	2(6.3)
キベリタテハ	タテハチョウ科	1(3.1)
タカネヒカゲ	ジャノメチョウ科	22(68.8)
個体数合計		32(100)



写真5 ベニヒカゲ（蝶ヶ岳、2010年8月）



写真6 クモマベニヒカゲ

次に8月の調査の目的は、高山チョウのベニヒカゲ（写真5）とクモマベニヒカゲ（写真6）の個体数を調査することです。信州大学の昆虫研メンバーとたくさんの専門家がチームを組んで登山をしました。私は途中で膝を怪我してしまいましたが、どうにかデータを取ることができました。高山の調査はまさに命がけです。トランセクト調査は天気が悪くてたくさんのデータをとることができませんでした。お花畑の定点調査の結果は58%がベニヒカゲで、12%がクモマベニヒカゲでした。このように定点調査では目的のデータは取れましたが、午後から天候がくずれてしまいました。やっぱり高山に登るときはてるてる坊主が必要です。

6. 北岳ってどんなところ？

調査した北岳は日本百名山の一つで、近くにある間ノ岳、農鳥岳とともに白根三山と呼ばれ、日

本では富士山に次いで2番目に高い山です。森林限界を超えるとハイマツが現れます。山頂近くにはキタダケトリカブトやイワベンケイ、北岳にしかないキタダケソウなど多くの高山植物を見ることができます。調査の途中にはライチョウも見ることができました。調査は2010年8月23日～26日まで3泊4日で行いました。当日の行動を見てみましょう。

8月23日の5時30分に信州大学農学部を出発し、車で伊那ICから中央高速道に入り白根ICを出て7時10分に南アルプス市芦安の駐車場に到着しました。自家用車はここまでで、乗り合いタクシーで広河原まで行きます。8時30分から調査登山を開始しました。見たチョウの種類と数を記録するとともに、主なポイントの位置情報を記録しました。二俣で昼食と30分の定点観察をした後、右俣コースから小太郎尾根分岐を経て標高3100mの肩の小屋に着いたのが16時40分でした。調査しながら登山しているので通常のコースタイムの1.5倍もの時間がかかりました。

翌8月24日は定点調査とトランセクト調査を行いました。定点調査は肩の小屋前のお花畑で朝7時から30分間出現したチョウの種類と数をカウントし、次の30分は休憩するスタイルにしました。高山特有のガスであたりが見えなくなる14時15分まで調査を行いました。お花畑でチョウを眺めているだけという一見ラクな調査に見えますが、500mの急斜面の山道を30分で往復してデータをとっているのも、相当疲れます。そんな苦勞をして見たチョウはたったの6種類でした。高山チョウのベニヒカゲが67%で、さらにクモマベニヒカゲを加えると全体の74%が高山チョウでした。その他は信州の高原に生息するタテハチョウであるクジャクチョウ（写真7）とキベリタテハ（写真8）でした。さらに渡りのチョウとして有名なイチモンジセセリ（写真9）が見られました。また朝と昼間でチョウの出現した数を比較すると、明らかに朝の7時から11時までの時間帯に多く観察されています。これは午後にはガスがでてくる高山帯のチョウの日周活動の特



写真7 クジャクチョウ (北岳)



写真8 キベリタテハ (北岳)



写真9 イチモンジセセリ (北岳)

徴です (表2)。

一方、トランセクト調査は標高 3193 m の北岳を越えて 2.3 km の距離を歩いて行いました。その結果、定点より少し多い 9 種類のチョウを見ることができました。高山チョウのベニヒカゲが 87 % を占め、あとはクジャクチョウやキベリタテハなどタテハチョウ科が多く見られました。咲き誇る高山植物にベニヒカゲだけが多数飛び交っている姿は高山に登らないと見ることはできません。

8月25日は予備日でしたので、たくさんの動物や植物の写真を撮りました。高山植物ウサギギクのいい写真が撮れたので2011年兎(ウサギ)年の年賀状に採用しました。このような出会いも高山ならではの。

8月26日は5時10分御来光をおがみ、5時55分に北岳に見送られて出発しました。ルートは草すべりを経て白根御池から広河原まで、確認したチョウと位置情報を記録しながら無事下山することができました。

7. 高山を調査して分かったこと

北岳と蝶ヶ岳を調査して分かったことはやはり高山帯独自のチョウたちが住んでいることです。全体の60%以上が高山チョウでした。さらに北方系のタテハチョウがたくさん高山にいました。今後は高山チョウたちが温暖化によって、どのように変わるかを調査しつづける必要があります。また高山は天候に左右されてしまい、平地のよう

に自由に調査することができない時も多くあります。そこで一般の登山者にも協力してもらうために、誰でも簡単にチョウを見分けて調査できるようなガイドブック作りを行う必要があります。みなさんも山に登って、高山チョウと出逢いかれらのメッセージを受け取ってみてはいかがでしょうか？

表2 北岳 2010年8月定点調査結果

種名	科名	個体数		
		7-11時	11-15時	合計 (%)
クジャクチョウ	タテハチョウ科	9	4	13 (18.1)
キベリタテハ	タテハチョウ科	1	0	1 (1.4)
ベニヒカゲ	ジャノメチョウ科	31	11	42 (58.3)
クモマベニヒカゲ	ジャノメチョウ科	3	0	3 (4.2)
アサギマダラ	マダラチョウ科	0	1	1 (1.4)
イチモンジセセリ	セセリチョウ科	1	10	11 (15.3)
タテハチョウ類	タテハチョウ科	1	0	1 (1.4)
個体数合計		46	26	72 (100)

山のタテモノをはかる

梅干野成央・土本俊和

山は、信仰の場として、古くから人の暮らしと関わってきました。山のなかには、神を祀る社や仏を安置する堂がたてられたとともに、こうした社や堂の巡礼者が体を休める建物もたてられました。その代表例として、立山の^{むろどう}室堂（国指定重要文化財）をあげることができます。また、山は、生業の場としても、古くから人の暮らしと関わってきました。山のなかには、食材、薪炭材、建材などの資源が豊富にあり、こうした資源を得て生活していた^{きこり}猟師や木樵などの小屋が無数にたてられました。

近代になると、山登りを純粋に楽しむアルピニズムが普及し、山は広く拓かれました。その大きなきっかけとなったのは、明治27年（1894）に志賀重昂が『日本風景論』のなかで発表した「登山の気風を興作すべし」であるといわれています。また、明治29年（1896）に日本アルピニズムの父と称されるウォルター・ウェストン（Walter Weston）の山行記が発刊されて、日本の山の美しさが世界へと伝えられたことも、その大きなきっかけになったことでしょう。そのなか、明治38年（1905）に山岳会（現・日本山岳会）が発足し、同年には、松沢貞逸が白馬岳の山頂直下に山小屋（現・白馬山荘）を開設しました。この山小屋は、日本で最初の山小屋であるといわれています。そ

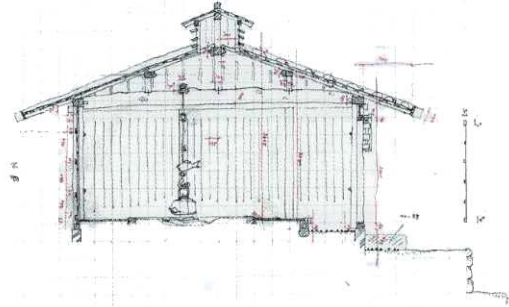


図1 野帳（嘉門次小屋）

の後、山のなかには、山小屋が続々とたてられました。

山には、厳しい自然があります。その一方で、人は、山のなかに建物をたてつづけてきました。そこには、厳しい自然のなかで人が生きていくための空間を得てきた、山の建物の歴史が脈々と息づいていることがわかるでしょう。では、人は、どのような姿の建物を山のなかにたててきたのでしょうか。また、人は、どのようにして山のなかに建物をたててきたのでしょうか。こうした疑問に端を発し、山の建物の調査・研究を進めています。

調査・研究は、まず、建物をはかることから始めます。建物をはかる際には、建物の様々な情報を現場で記録します。現場での記録紙を野帳といいますが、野帳には、建物の形や寸法を書き込みます。また、野帳には、建物の部材にのこる痕跡



写真1 島々から上高地に至る登山道からの眺望（2010年）

なども書き込みますし、さらには、部屋の呼び名や利用のされ方なども書き込みます。これらをもとに、建物がたてられてから現在に至るまでの歴史を把握します。

ここでは、島々から上高地に至る登山道沿いの山小屋を事例に、山の建物の一つの歴史をみてみましょう（写真1）。現在、この登山道沿いには、岩魚留小屋、徳本峠小屋、明神館、嘉門次小屋、山のひだやなどの山小屋がたてられています。かつて、この登山道は、上高地に入るための本道でした。その様子をウェストンの山行記である『日本アルプス—登山と探検 (MOUNTAINEERING AND EXPLORATION IN THE JAPANESE ALPS)』、『日本アルプス再訪 (THE PLAYGROUND OF THE FAR EAST)』、『日本アルプス登攀日記』にみてみましょう。これらの山行記によれば、ウェストンは、明治24年(1891)、明治25年(1892)、明治26年(1893)、大正元年(1912)、大正2年(1913)



写真2 上條嘉門次と獵小屋

大平 晟「乗鞍の堂守と穂高の仙人」
『山岳』第4年第2号(日本山岳会,1909)より転載

にこの登山道を歩いています(図2)。たとえば、明治24年(1891)の山行では、島々を出て、農商務省の出シノ沢小屋に宿泊したこと、次の日、雨にあって木樵小屋に避難したこと、その後、農商務省の徳本小屋に宿泊したこと、などが記されています。また、大正元年(1912)の山行では、島々

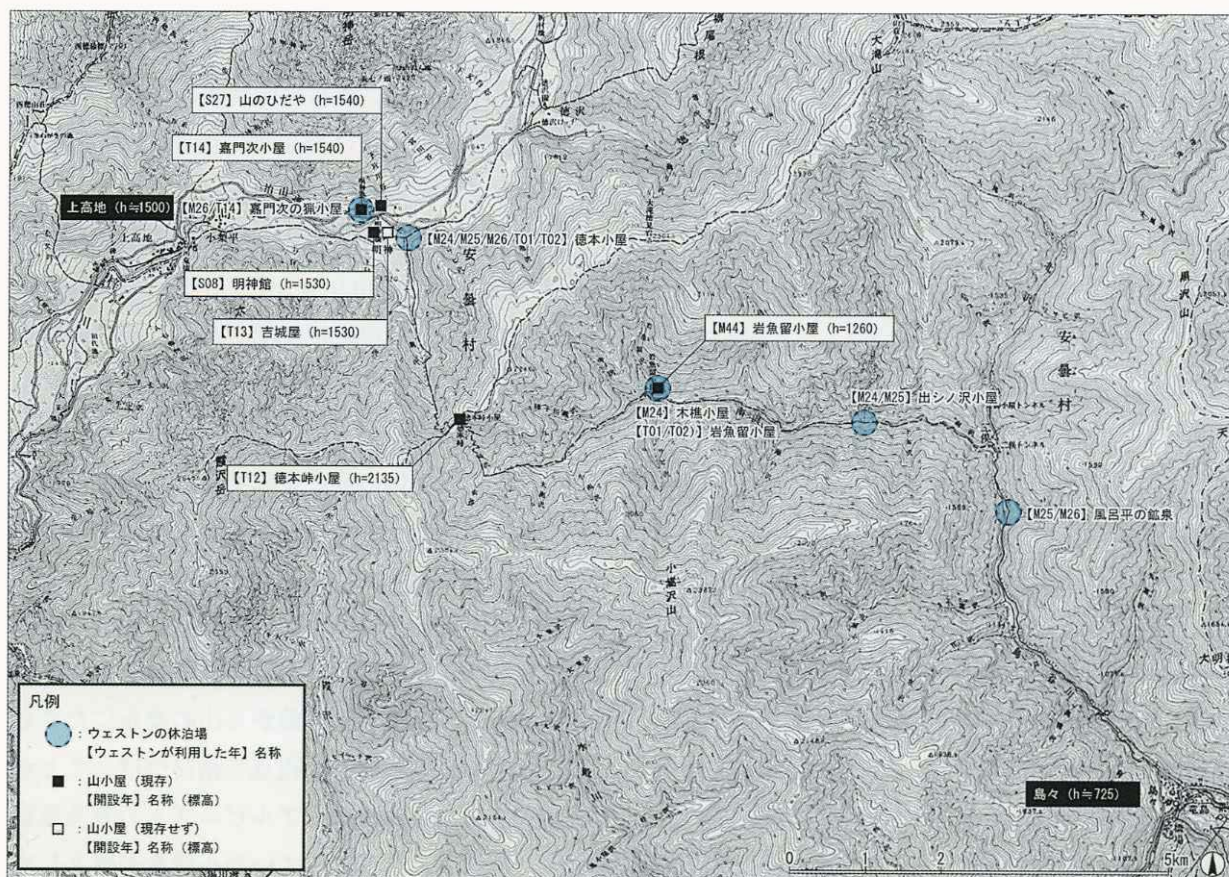


図2 ウォルター・ウェストンの休泊場(島々から上高地に至る登山道)

縮尺 1/100000

を出て、木樵小屋の土地にできた岩魚留小屋で休憩したこと、農商務省の徳本小屋で休憩したこと、その後、槍ヶ岳と奥穂高岳に登った後に上條嘉門次の猟小屋を訪れたこと、などが記されています。嘉門次とは、明治13年(1880)から明神池の畔の猟小屋に住み、猟をいとなむ傍ら、登山者の山行に案内人として同行した人物です(写真2)。

これらウェストンの山行における休泊場のなかで、現在の山小屋と同義のものは、岩魚留小屋だけでしょう。それ以外は、どれもアルピニズムの普及以前から山のなかにたてられていた小屋です。ウェストンがこの登山道を歩いていた間に、木樵小屋の土地に岩魚留小屋ができたように、その後、嘉門次の猟小屋の土地に嘉門次小屋ができ、上高地牧場の牛番小屋の土地に明神館ができました。他方、徳本峠小屋のように、新たな土地にも山小屋ができました。その際には、ウェストンが大正元年(1912)の山行記に「泡立つ奔流を渡るのは昔よりはるかに少なくてすんだ。この行程のかなりの部分で、はっきりとわかる踏み跡が流れのそばについていたからである。これは嘉門次の案内で、参謀本部の測量士が最近この谷で仕事をしてくれたおかげである。嘉門次の槍近辺地域に関する知識は、歯医者^{かんし}の助手がその雇い主の歯医者についていったように、〈もっぱら歯を抜く^{かんし}鉗子〉であり、その地域の登山のルートやプランはすべて彼に相談されるのである。」と記しているように、嘉門次のような、アルピニズムの普及以前から山を生業の場としていた人の土地勘にもとづいて条件のよい土地が開拓された過程を想定することができるでしょう。

山の厳しい自然のなかでは、建物をたてることのできる土地が限定されます。山のなかの土地は、急勾配の傾斜地が大部分を占め、道や水場の位置に限られます。さらには、雪崩などの災害にあう危険性もあります。したがって、アルピニズムの普及以前から山のなかにたてられていた小屋の土地に山小屋が開設されたことや、アルピニズムの普及以前から山を生業の場としていた人の土地勘にもとづいて山小屋の土地が開拓されたことは、

きわめて合理的な過程であったといえるでしょう。

こうした過程は、建物を通してみることができます。古い建物がのこる岩魚留小屋、徳本峠小屋、嘉門次小屋を調査し、これらの山小屋の建設当初の姿を復原しました。

岩魚留小屋(写真3) / 標高: 1260 m / 建設年: 明治44年(1911)以前

岩魚留小屋は、鳥々谷南沢岩魚留沢出合にたつ山小屋で、明治44年(1911)に上高地温泉株式会社(現・上高地温泉ホテル)によって開設されました。開設にあたっては、農商務省の岩魚留官舎を移築・転用したと伝えられています。

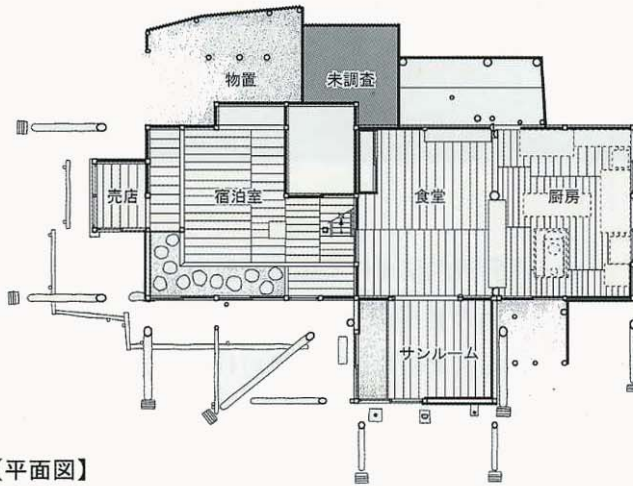
徳本峠小屋(写真4、図3) / 標高: 2135 m / 建設年: 大正12年(1924)

徳本峠小屋は、鳥々から上高地に至る登山道の最高地点である徳本峠にたつ山小屋で、大正12年(1923)に上高地温泉株式会社(現・上高地温泉ホテル)によって開設されました。

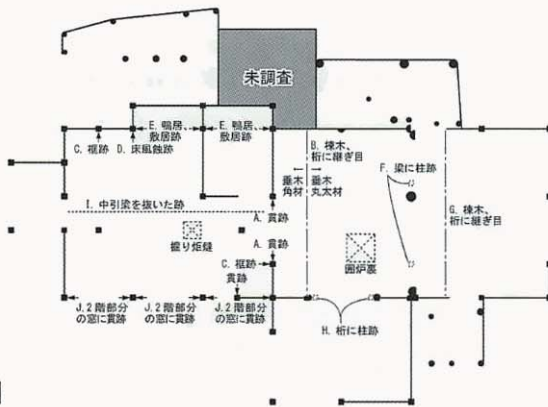
嘉門次小屋(写真5) / 標高: 1540 m / 建設年: 大正8~11年(1919~1922)

嘉門次小屋は、明神池の畔にたつ、嘉門次に由来する山小屋です。現在の^{いろり}囲炉裏の間は、嘉門次の猟小屋が大正8年(1919)から大正11年(1922)の間にたてかえられたものです。

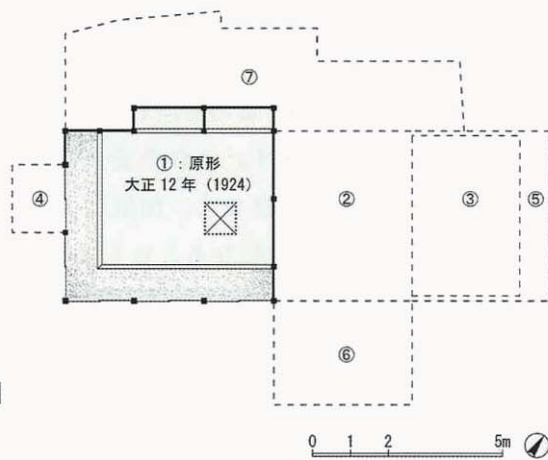
復原の結果、これらの山小屋の建設当初の姿は、どれも、2間(3636mm)×3間(5454mm)ほどの広さの、室内に炉が配された一間の建物であったことがわかりました。この姿の建物は、山の厳しい自然のなかで、人が唯一、暖をとり、食事を取り、体を休めることのできる、多機能な最小限の空間であったといえるでしょう。木樵小屋や猟師小屋などアルピニズムの普及以前から山のなかにたてられていた小屋(図4)にもこの姿の建物を多数確認することができますので、山小屋とアルピニズムの普及以前から山のなかにたてられていた小屋を通史的な視点で結びつけることができます。ここからは、アルピニズムの普及以前から山のなかにたてられていた小屋を基盤として山小屋がたてられた、という山の建物の一つの歴史がみえてきます。



【平面図】



【痕跡図】



【復原図】

図3 徳本峠小屋の調査 (2008年)
縮尺 1/200

今後は、こうした山の建物の歴史を、未来へと受け継ぎ伝えていくための取り組みが重要になるでしょう。山の建物の調査・研究を継続的に進めながら、その取り組みを実践していきたいと考えています。



写真3 岩魚留小屋 (2008年)



写真4 徳本峠小屋 (2008年)



写真5 嘉門次小屋 (2010年)

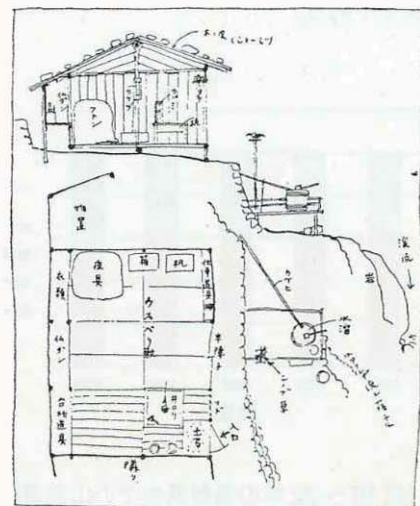


図4 木樵小屋 (武蔵・西多摩郡のきこり小屋)
今和次郎『住居論』(今和次郎集第4巻)ドメス出版より転載



1. はじめに

登山は「憧れ」を思い出せるスポーツです。私の住む安曇野から北アルプスの山々を眺めていると、若いころの記憶がよみがえり「また挑戦したい」と思います。歳をとったからといって諦める必要はありませんが、安全に登山をすることが重要です。中高年者の事故の原因は「自分の体力を自覚していない」、「登山というスポーツのキツさを知らない」、そして「自分の体力に合った登山計画をたてられない」といったことが挙げられます。これらをクリアすれば、中高年登山はもっと安全で、楽しくなるはずですよ。

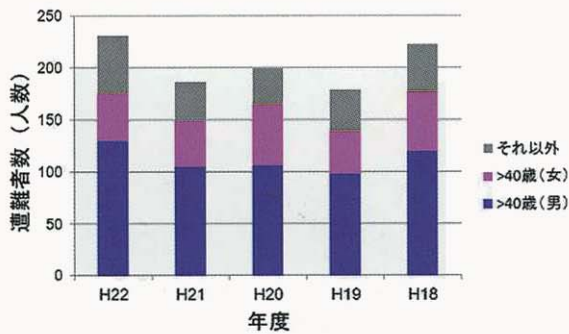


図1 平成18～22年の長野県内での山岳遭難者数
 ほぼ200人前後だが、その80%が40歳以上の中高年である。

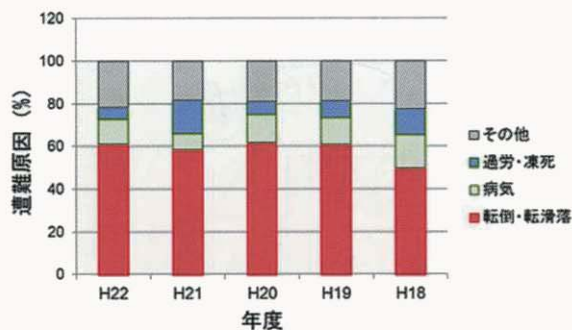


図2 平成18～22年の長野県内での山岳遭難の原因
 転倒・滑落が60%と最も多く、病気、凍死が10%ずつ続く。いずれも体力が関係している事故原因である。

2. 長野県内における山岳遭難事故原因

長野県の夏季の登山者は50万人、長野県において登山は大切な観光資源のひとつです。しかし、登山者の70%は中高年者で、図1で示すように過去5年間の遭難件数は約200件を推移しています。そして、その80%が40歳以上の中高年者で、男女比は2:1です。

また、その事故原因を詳細にみると図2で示すように、60%が滑落・転倒、10%が病気、10%が疲労・凍死と、その80%が登山をする以前の体力が原因と推定できます。

3. 登山力とは体力である

図3に加齢と体力との関係を示しました。私たちの体力が人生で最も高いのが20歳代で、それを超えると、10歳をとるごとに5-10%ずつ体力は低下します。この主な原因は、髪の毛が薄くなったり、肌にしわがよると同じメカニズムで筋肉の委縮が起こります。これを老人性筋委縮（サルコペニア）と呼びます。加齢によって体力が20歳代の25%以下になるとヒトは自立した生活

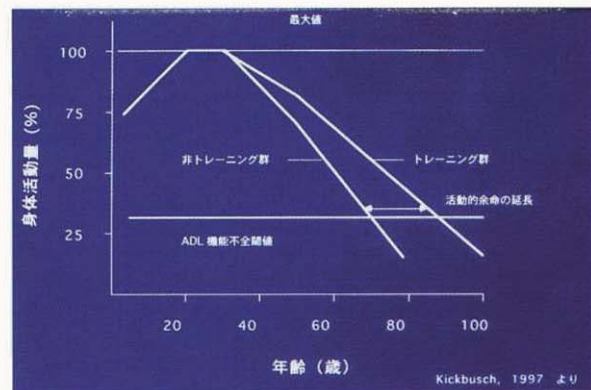


図3 年齢と体力との関係

我々の体力は20歳代をピークに、それ以降10歳加齢するごとに5-10%ずつ体力は低下する。これは遺伝子に刻み込まれたプログラムである。これを自覚しないことが、山岳事故につながる。

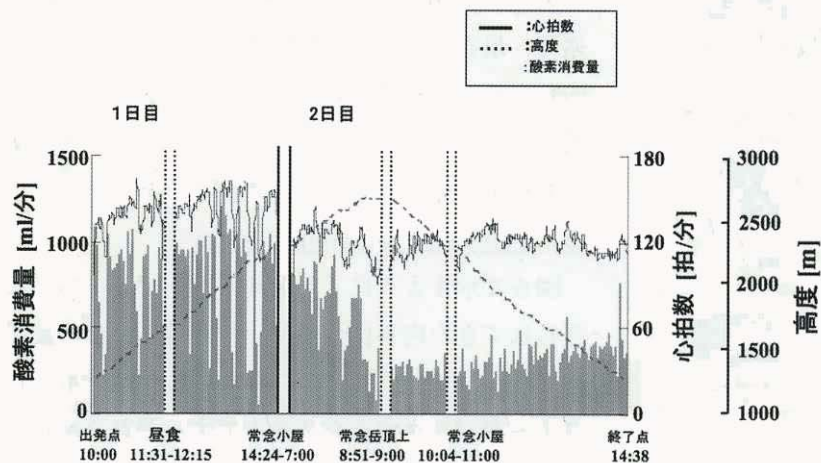


図4 常念岳（2857m）を登山した際の単位時間当たりの酸素消費量、心拍数、高度変化

酸素1mlを消費することで約5calのエネルギーを消費する。したがって、常念岳の頂上まで到達するのに約800kcalのエネルギーを消費する。これは、ご飯5膳分に匹敵する。

ができなくなり、これをADL (Activity of Daily Life) 不全閾値と呼びます。この閾値をできるだけ遅らせるには運動トレーニングしかありません。登山も運動トレーニングの一つです。

体力は有酸素運動能によって評価します。有酸素運動能は1分間あたりに酸素をどれくらい消費できるか、によって評価します。体重を70kgとすれば、20歳代で3000ml/分、60歳代で1500ml/分、80歳代で750ml/分ぐらいです。この有酸素運動能は、1分間あたり心臓が拍出できる血液量とそこから酸素を取り込む骨格筋量で決定されます。さらに、心臓が拍出できる血液量は心臓の大きさだけでなく、1分間あたりの最大心拍数によって決定されます。これは220-年齢によって計算できます。例えば、20歳代で200拍/分、60歳代では160拍/分、80歳代で140拍/分です。また、筋肉量は20歳代を100%とすれば、60歳代で85%、80歳代で65%です。

図4は60歳代の人が自分の好きなペースで常念岳登山をした時の1分間あたりの酸素消費量、高度変化を我々の開発した携帯型カロリー計測機「熟大メイト」で測定した結果です(図5)。心拍数は携帯型心拍計で測定しました。その結果、図

で分かるように、上りは4メートル高度/分のペースで、最大有酸素運動能の50-60%で登っているのがわかります。さらに、その際の心拍数をみると登り始めは最大心拍数の80-90%ですが、登山の終わりごろには90-100%と同じペースで登っているにもかかわらず心拍数が徐々に上昇しているのがわかります。この心拍数の上昇は登山中の体温の上昇とそれに伴う脱水に原因があります。このように、中高年の登山は個人の有酸素運動能のほぼ最大の強度の「非常にきつい」運動であることがわかります。だから、少しの油断で

事故がおきるのです。

4. インターバル速歩で体力アップ

以上から快適な条件で登山を行うには、加齢による体力の劣化を防ぐか、むしろ向上させることが必要です。さらに、登山中に体重過多による膝痛、ねんざによる滑落、転倒を防ぎ、また、心筋梗塞などの急性疾患によって命を落とさないためには、日頃から基礎疾患となる肥満など生活習慣病を予防することが大切です。

ところで、運動処方各人の体力に合わせた個別運動処方が理想です。すなわち、まず各人の最大体力を測定し、その一定レベル以上の強度の運

専用計測器を使えばサッサカ歩きの速さが正確に設定でき、トレーニング記録の蓄積も可能

熟大メイトトレーニングバック



インターバル速歩の目標運動負荷(サッサカ歩きの速さ)が設定・記録できるスケレモノ。
三次元加速度センサーと気圧計(高度計)が組み込まれ、登山時の消費エネルギー計測なども可能。
ネットを通じて、データの蓄積・閲覧ができ、5か月間、専門家の遠隔指導が受けられる。

価格：4万9,770円

問い合わせ先：熟年体育大学リサーチセンター ☎0263-37-2697

図5 携帯カロリー計(熟大メイト)

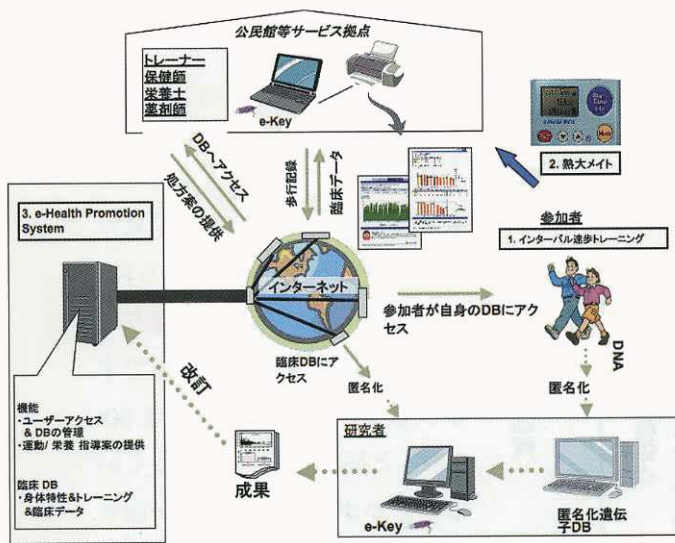


図6 e-Health Promotion System

インターバル速歩トレーニングの参加者は、2週間に一度、最寄りの地域公民館に行き、熟大メイトの歩行記録をインターネットを通じてサーバーコンピュータに転送する。すると折り返し、サーバーコンピュータから歩行記録のトレンドグラフが返送されてくる。これと6か月ごとに実施される血液検査、体力測定の結果を参考に、トレーナー、保健師が個別に運動指導を行う。さらに、参加者から白血球を採取し、それを運動反応性遺伝子の探索にも用いている。

動を、一定の頻度と期間実施することが推奨されています。しかし、これを実施するには、ジムなどの専門施設と専門のトレーナーの整備のための費用が必要で、このことが個別運動処方国民に広く普及することを困難にしています。

そこで、我々は、平成9年から中高年者を対象に、健康スポーツ教室「松本市熟年体育大学」事業を立ち上げ、誰でも自宅ですぐにできるインターバル速歩トレーニングを発案し、その効果について科学的証拠の蓄積を行ってきました。現在この事業はNPO法人・熟年体育大学リサーチセンターが運営しており、詳細はそのホームページ (<http://www.jtrc.or.jp>) を見てください。この事業の特徴は3つあります。

1) インターバル速歩トレーニング

個人の最大持久力の70%以上の速歩と40%以下の普通歩きをそれぞれ3分間ずつ交互に繰り返す運動を、>30分/日、>4日/週、5か月間繰り返すトレーニング方法で、自転車エルゴメータやトレッドミルなどの特別なマシンを必要としません。

2) 携帯型カロリー計 (熟大メイト)

速歩で運動トレーニングした際の、エネルギー

消費量を正確に測定できます。参加者は1回/2週間、最寄りの地区公民館に行き、端末から記録内容をサーバーコンピュータへインターネットを通じて転送します。これによって、いつでも何処でも自由に速歩トレーニングができます。

3) e-Health Promotion System

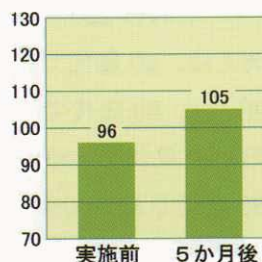
図6で示すように「熟大メイト」でサーバーに送られてきた内容について、折り返し、歩行記録のトレンドグラフ、アドバイスをつけ、本人にフィードバックするシステムです。それを基にトレーナー、保健師は、現場で運動指導を行うので、一人当たりに要する指導時間が短縮され、少人数の専門家でも多数に対する個別運動指導が可能になりました。

その結果、4000名の参加者についての結果を検証したところ、5か月間の「インターバル速歩トレーニング」の効果について、以下のことが明らかとなりました。

- 1) 体力が最大20%増加し(図7)、10歳程度若返った気分になる。
- 2) 生活習慣病指標(高血圧症、高血糖、肥満)が最大20%改善する。
- 3) うつ傾向のある人もその指標が50%程度にまで改善する。
- 4) 5か月間の運動継続率が90%以上と通常の歩行トレーニングの60%より著しく高い。
- 5) 年間6万円の投資で、医療費が12万円(20%)削減される。

大腿部筋力の変化

(等速性筋力 N·m)



全身持久力の変化

(最大酸素摂取量 ml/min)

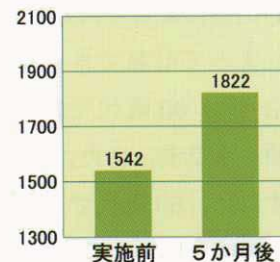


図7 平均年齢65歳の男女88人が5か月間にわたりインターバル速歩を行ったときの実施前・後の結果

大腿部筋力と全身持久力(有酸素運動能)の変化をみると、筋力は10%、持久力は18%増加している。

5. インターバル速歩をやってみよう

では、熟大メイトをもたない読者のためにインターバル速歩のやり方を簡単に説明しましょう。

1) まず、服装は軽い運動ができる程度のもので、靴は底が柔らかく曲がりやすく、かかとにクッション性のあるものを選びます。

2) 数分間の下半身を中心とした軽いストレッチを行った後、図に示すように、視線は25 m程度前方に向け、背筋を伸ばした姿勢を保ちます。

3) 足の踏み出しはできるだけ大股になるように行い、踵から着地します。慣れないうちは、1、2、3とカウントして、3歩目を大きく踏み出すようにします。この際、腕を直角に曲げ前後に大きく振ると大股になりやすいので注意します。

4) 速歩のスピードは5分間歩いていると少し汗ばむ程度、10分間歩いていると息が弾み、動悸はするが、もし、友人と歩いているのなら軽い会話ができる程度、15分間歩いていると脛に軽い痛みを感じる程度を目安とします。

5) 速歩の期間は3分間を基準としますが、これは、大部分の人が、これ以上の歩行継続を困難と感じるからです。したがって、3分間の速歩のあとに3分間のゆっくり歩きを挟むと、また、速歩をしよう、という気分になります。また、時計で正確に時間を測定しなくても、電柱などウォーキングコースの適当な目印にしたがって自分で設定してもかまいません。このセットを、5回/日以上、4日/週以上を繰り返しますが、この基準量を、1日の通勤、買い物の行き帰りと分けて実施してもいいし、週末にまとめて実施してもかまいません。要するに週合計速歩時間が60分以上5か月間行えば、上記の効果が得られます。

6. まとめ：体力が10%上がれば登山が変わる

では、5か月間の体力が10%向上すれば、何かわるか、を考察してみましょう。

1) 10歳歳をとると10%体力が低下するのだから、逆に10歳若返った気分になる。

2) 今まで4時間必要としていた登山時間が3時間30分で登れるようになる。すなわち、登山

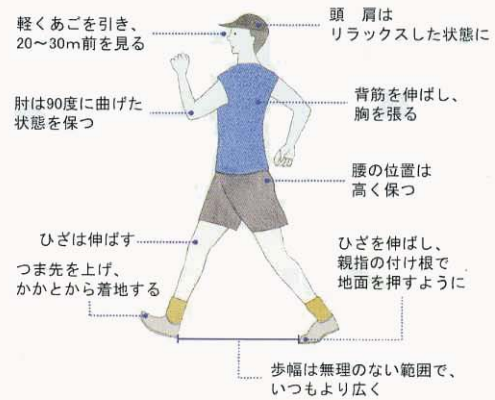


図8 インターバル速歩の理想的なフォーム

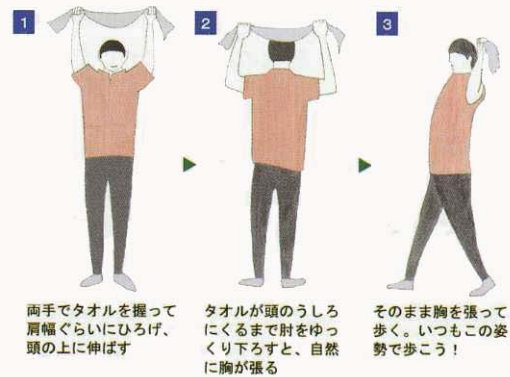


図9 タオルによるフォームチェック

- ① 筋肉の緊張をほぐし、ウォーミングアップを十分に行う。
- ② 息がはずむが、軽い会話ができる程度でサッサカ歩きを続ける(例えば3分間)。
- ③ 次に呼吸を整えて、リフレッシュしながらブラブラ歩きをする(例えば3分間)。
- ④ ②と③を目標の回数繰り返す。
- ⑤ 最後に整理運動をしてクーリングダウンをする。

図10 インターバル速歩の手順

スケジュールに余裕ができ、登山対象となる山のバリエーションが増える。

3) 同じ山を同じ速度で登るのなら、心拍数が10拍/分ほど低下し、それだけ主観的な運動にキツさを感じなくなる。その結果、気持ちに余裕ができ、景色や登山仲間との会話を楽しむことができるようになる。

4) 登山中の関節痛、心筋梗塞などの病気のリスクが20%低下する。

5) 以上の結果、登山力がアップし遭難事故の危険性が著しく低下する。

文献

鷹の目と蟻の目で森を見る

伊藤克之・加藤正人 (2011) 北アルプス槍沢における航空写真画像を用いた高山植生の把握. 中部森林研究, 59: 57-58.

加藤正人 (編著) (2010) 「森林リモートセンシング第3版 - 基礎から応用まで -」. 日本林業調査会, 東京.

高主知佳・加藤正人 (2011) 上高地焼岳の地形変化箇所における植生回復と起伏の関係性について. 中部森林研究, 59: 207-208.

雪が語る山の環境

中谷宇吉郎 雪の科学館 (1999) 天から送られた手紙 [写真集 雪の結晶]. (財)加賀市地域振興事業団, 48p, 加賀.

Suzuki, K. and Endo, Y. (1995) Relation of Na⁺ concentration and $\delta^{18}\text{O}$ in winter precipitation with weather conditions. *Geophysical Research Letters*, 22: 591-594.

Suzuki, K. (2003) Chemistry of stream water in a snowy temperate watershed. *Hydrological Processes*, 17: 2795-2810.

Suzuki, K. (2003) Chemical property of snow meltwater in a snowy temperate area. *Bulletin of Glaciological Research*, 20: 15-20.

上高地の生い立ちを探る

原山 智 (1990) 「上高地地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅)」。地質調査所, 175p, つくば.

原山 智 (1996) 飛騨山脈を起源とする大規模火砕流 (その1) - 更新世中期上宝火砕流堆積物と給源火道 - . 日本第四紀学会第四紀露頭集編集委員会 (編) 「第四紀露頭集-日本のテフラ」, 256.

加藤鉄之助 (1912) 硫黄岳 (焼岳) 火山地質調査報告. 震災予防調査会報告, 75: 27-73.

及川輝樹 (2002) 焼岳火山群の地質-火山発達史と噴火様式-. 地質学雑誌, 108: 615-632.

植木岳雪・岩田修二・塚本すみ子 (1998) 岐阜県上宝村福地に分布する下部更新統福地凝灰角礫岩層のファブリックと礫種組成. 第四紀研究, 37: 411-418.

山田直利・足立 守・梶田澄雄・原山 智・山崎晴雄・豊 遙秋 (1985) 「高山地域の地質. 地域地質研究

報告 (5万分の1地質図幅)」。地質調査所, 111p, つくば.

アリの巣にいそろうする昆虫

Akino, T., Mochizuki, R., Morimoto, M. and Yamaoka, R. (1996) Chemical camouflage of myrmecophilous cricket *Myrmecophilus* sp. to be integrated with several ant species. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.*, 40: 39-46.

小松 貴 (2008) 研究紹介 好蟻性昆虫アリヅカコオロギ属の寄主アリおよびハビタット特異性の進化 - ならびにアリヅカコオロギの知られざる採集法 -. 蟻, 31: 69-75.

Komatsu, T., Maruyama, M., Ueda, S. and Itino, T. (2008) mtDNA phylogeny of Japanese ant crickets (Orthoptera: Myrmecophilidae): diversification in host specificity and habitat use. *Sociobiology*, 52: 553-565.

Komatsu, T., Maruyama, M. and Itino, T. (2009) Behavioral differences between two ant cricket species in Nansei Islands: host-specialist versus host-generalist. *Insectes Sociaux*, 56: 389-396.

Komatsu, T., Maruyama, M. and Itino, T. (2010) Differences in host specificity and behavior of two ant cricket species (Orthoptera: Myrmecophilidae) in Honshu, Japan. *Journal of Entomological Science*, 45: 1-12.

Maruyama, M. (2004) Four new species of *Myrmecophilus* (Orthoptera, Myrmecophilidae) from Japan. *Bull. Nat. Sci. Mus.*, 30: 37-44.

Maruyama, M. (2006) Family Myrmecophilidae Saussure, 1870. In: Orthopterological Society of Japan (ed) *Orthoptera of the Japanese archipelago in color*. Hokkaido University Press, 687p, Sapporo.

Sakai, H. and Terayama, M. (1995) Host records and some ecological information of the ant cricket *Myrmecophilus sapporensis* Matsumura. *Ari*, 19: 2-5.

Schimmer, F. (1909) Beitrag zu einer Monographie der Gryllodeengattung *Myrmecophila* Latr. *Z. wiss. Zool.*, 93: 409-534.

Terayama, M. and Maruyama, M. (2007) A preliminarily list of the myrmecophiles in Japan.

- Ari, 30:1-38.
- Wheeler, W. M. (1900) The habits of *Myrmecophila nebrascensis* Bruner. *Psyche*, 9:111-115.
- 水生昆虫のすみわけと DNA ー流程分布と遺伝的構造ー**
- 今西錦司 (1941) 「生物の世界」. 弘文堂, 東京.
- 今西錦司 (1948) 「生物社会の論理」. 毎日新聞社, 東京.
- 今西錦司 (1969) 「日本山岳研究」. 中央公論社, 東京.
- 今西錦司 (2002) 「今西錦司フィールドノート・採集日記 加茂川 1935-」. 京都大学学術出版会, 京都.
- 市野隆雄 (2003) 壮大なフロンティア精神の現代的意義. *科学*, 73:1321-1327.
- 扇谷正樹・中村寛志 (2008) 天竜川支流小黒川におけるヒラタカゲロウ科幼虫の流程分布と季節変動. *信州大学環境科学年報*, (30):57-66.
- Ogitani, M. and Tojo, K. (2011) Habitat segregation and genetic relationship of two heptageniid mayflies, *Epeorus latifolium* and *Epeorus l-nigrus*, in the Shinanogawa River basin. *Limnology* (in press).
- Tojo, K. (2010) The Current Distribution of Aquatic Insects Inhabiting River Systems, with Respect to Their Population and Genetic Structures. In: Harris, E.L. and Davies, N.E. (eds.) *Insects Habitats: Characteristics, Diversity and Management*. Nova Science Publishers, Inc., New York.
- 南北アルプスの稜線とお花畑の蝶**
- 有本 実・中村寛志 (2007) 南アルプス北岳と仙丈ヶ岳周辺のチョウ類群集の定量的調査. *環動昆*, 18:1-15.
- 福田晴夫・浜 栄一・葛谷 健・高橋 昭・高橋真弓・田中 蕃・田中 洋・若林守男・渡辺康之 (1984) 「日本原色蝶類生態図鑑 (Ⅲ)」. 保育社, 大阪.
- 浜 栄一・栗田貞多男・田下昌志 (1996) 「信州の蝶」. 信濃毎日新聞社, 288p. 長野.
- 環境省 (2000) 日本産昆虫類レッドリスト. URL: <http://www.biodic.go.jp/> (環境省生物多様性センター).
- 環境省 (2010) モニタリングサイト 1000 高山帯調査速報. No.1. 環境省生物多様性センター／自然環境研究センター.
- 環境省 (2011) モニタリングサイト 1000. URL: <http://www.biodic.go.jp/moni1000/monitoring> (環境省生物多様性センター).
- 長野県自然保護研究所 (2004) 「長野県版レッドデータブック 動物編」. 長野県, 長野.
- 田淵行男 (1959) 「高山蝶」. 朋文堂, 392p. 東京.
- 山のタテモノをはかる**
- 今和次郎 (1971) 「住居論 (今和次郎集第 4 巻)」. ドメス出版.
- 梅干野成央・土本俊和・小森裕介 (2011) 近代登山の普及における山小屋の建設過程ーウォルター・ウェストンの槍ヶ岳山行経路付近に開設された山小屋を事例として. *日本建築学会計画系論文集*, 76 (659):211-220.
- 大平 晟 (1909) 乗鞍の堂守と穂高の仙人ー板殿正太郎翁と上條嘉門次翁. *山岳*, 4 (2):70-74.
- 志賀重昂 (1894) 「日本風景論」. 政教社, 東京.
- Weston, W. (1896) *Mountaineering and exploration in the Japanese Alps*. John Murray, London.
- 岡村精一 (訳) (1995) 「日本アルプスー登山と探検」. 平凡社, 東京.
- Weston, W. (1918) *The playground of the Far East*. John Murray, London.
- 水野 勉 (訳) (1996) 「日本アルプス再訪」. 平凡社, 東京.
- ウォルター・ウェストン (三井嘉雄訳) (1996) 「日本アルプス登山日記」. 平凡社, 東京.
- 登山と体力 ーインターバル速歩で登山力をアップー**
- 宮川 健・松川恵子・丸岡禎之・上條義一郎・能勢 博 (2009) 登山中の糖質電解質摂取が疲労感・心拍数に与える効果. 第 64 回日本体力医学会大会, 新潟, 2009. 9. 18-20. *体力科学*, 58 (6):834.
- 宮川 健・丸岡禎之・下平博和・能勢 博 (2010) 中高齢者登山時の 3 軸加速度累積値と筋力・筋損傷マーカー. 第 65 回日本体力医学会大会, 千葉, 2010. 9. 16-18. *体力科学*, 59 (6):838.
- 長野県警山岳情報. URL:<http://www.pref.nagano.jp/police/sangaku/sangaku.html>
- 能勢 博 (2010) 「人は山を目指す 山岳科学ブックレット No.4」. 信州大学山岳科学総合研究所 (編). オフィスエム. 長野.
- 能勢 博・山崎敏明・根本賢一・増木静江・岡崎和伸・上條義一郎・源野広和 (2010) 運動処方方を核にした健康長寿社会の構築ー「松本市熟年体育大学」事業の挑戦. *基礎老化研究*, 34:7-12.

謝 辞

企画展の開催にあたり、下記の個人・団体等の皆様ならび関係機関から、多大なご協力を賜りました。ここにご芳名を記して心より深く感謝の意を表すとともに、厚くお礼申し上げます。

扇谷 正樹
奥野 隆史
小森 裕介
関根 一希
玉川 幹夫
田村 啓
堀田真理子
堀場ももよ

岩魚留小屋
嘉門次小屋
徳本峠小屋
槍ヶ岳山荘

河川生態学術研究会
財団法人河川環境管理財団 河川整備基金
財団法人自然環境研究センター

環境省
国土交通省千曲川河川事務所
文化庁
林野庁

社団法人日本山岳会
株式会社ドメス出版

(順不同、敬称略)

信州大学山岳科学総合研究所・市立大町山岳博物館 連携企画展
「山岳を科学する 2011 - その最前線 -」

執筆者(執筆順)

加藤 正人	信州大学山岳科学総合研究所 地域環境共生学部門
成瀬真理生	信州大学大学院総合工学系研究科(大学院生)
伊藤 克之	信州大学農学部(学生)
高主 知佳	信州大学農学部(学生)
鈴木 啓助	信州大学山岳科学総合研究所 所長/山岳基礎科学部門
原山 智	信州大学山岳科学総合研究所 山岳基礎科学部門
河合小百合	信州大学山岳科学総合研究所
小松 貴	信州大学理学部
上田 昇平	信州大学理学部(2011年4月から信州大学山岳科学総合研究所)
東城 幸治	信州大学山岳科学総合研究所 山岳基礎科学部門
中村 寛志	信州大学山岳科学総合研究所 地域環境共生学部門
梅干野成央	信州大学山岳科学総合研究所 山岳環境創生学部門
土本 俊和	信州大学山岳科学総合研究所 山岳環境創生学部門
能勢 博	信州大学山岳科学総合研究所 高地医学・スポーツ科学部門

発行日	2011年3月31日 発行
編集	信州大学山岳科学総合研究所・市立大町山岳博物館
発行	市立大町山岳博物館
	〒398-0002 長野県大町市大町 8056-1
	TEL : 0261-22-0211 FAX : 0261-21-2133
	E-mail : sanpaku@city.omachi.nagano.jp
	URL : http://www.city.omachi.nagano.jp/sanpaku/
印刷・製本	(株)奥村印刷
	〒398-0002 長野県大町市大町 2470
	TEL : 0261-22-0205 FAX : 0261-22-1345

©Omachi Alpine Museum 2011 Printed in Japan

この解説書は再生紙を使用し、石油溶剤の代わりに大豆油を使用した大豆インキで印刷しています

市立大町山岳博物館

〒398-0002 長野県大町市大町 8056-1

TEL : 0261-22-0211 FAX : 0261-21-2133

E-mail : sanpaku@city.omachi.nagano.jp

URL : <http://www.city.omachi.nagano.jp/sanpaku/>