

発行：1993年9月27日

寒冷地形談話会通信

▷事務局：小金井市貫井北町4-1-1 東京学芸大学地理学研究室小泉研究室 気付 酒井 啓

TEL：0423-25-2111（内）2429

FAX：0423-26-3920

▷寒冷地形談話会例会

10月23日 15:00～ 於明治大学大学院

発表者：吉永秀一郎氏（森林総合研究所）ほか

▷7月17日（土）の例会報告 21名出席

発表者の方、コメントをして下さった方、どうも有り難うございました。

「リュツォホルム湾および プリンスオラフ海岸露岩地域の地形」

（JARE34 地形調査 報告）

林 正久氏（島根大）

リュツォホルム湾・プリンスオラフ沿岸地域については、地形部門の現地調査が最近10年間余り実施されていない。第34次南極観測夏隊では、以下の3つの視点から調査を行った。

- 1) 従来報告されている地形を現地で再確認・再検討する。
- 2) 一部の未調査地域の調査
- 3) より詳細な調査報告として、内陸山地で有効性を発揮した Be、Al、の放射線年代測定のための石英粒の試料採取。地形実験地の設定による周氷河環境の継続観測。新たな試みとしてESR（電子スピン共鳴装置）/TL（熱ルミネッセンス）による年代測定。

具体的には、隆起汀線・氷河地形・Fluvioglacial の再確認、未調査地域におけるポリゴンの分布や特徴・過去の氷河流動方向（擦痕）の設定、山頂部を中心とする石英粒の試料採取を行った。

プリンスオラフ海岸の地形については、かすみ岩付近において、次のような氷食地形の平行的配列がみられた（南の水床から北の海岸に向かって）。

氷床→till field→(erratic が覆う)→(erratic が覆わない)→[↓]風化した基盤(洗濯板状)→東西方向の
比高20m の崖→標高10m 以下のstrand flat →海

stoss-and-lee 地形の基盤岩には明瞭な氷食擦痕の残存が確認できた。

リュツォホルム湾沿岸の地形については、ラングホプデ付近においては、中の谷を境界として対照的な地形が
みられる。すなわち、北部では乾燥し、塩湖・結晶塩や風成砂がみられるのに対し、南部では融氷河川地形が広
く認められる。

リュツォホルム湾沿岸の隆起丁線については、海拔20m 以下に分布し、C 年代による海進時期から、オングル
→ラングホプデ→スカルプスネス→スカーレンの順に解氷したことが推定できる。

今後の指針としては、周氷河地形については、ラングホプデ南部の高所にはポリゴンがかなり広範に分布して
いる。沿岸地域における周氷河作用(凍結破砕など)には、温度よりも水分条件がかなり影響しているようであ
る。地形実験地での測定項目に水分条件を加味する必要がある。(文責:事務局)

特集: 氷河プロセス

プロセスの壁を突き破るヒント!

「山岳氷河の変動とその地域性について— I G C P 2 5 3 (Termination of Pleistocene) の紹介を兼ねて—」

白岩孝行(北海道大学低温科学研究所)

1. 氷河のダイナミクスと侵食・堆積プロセス

氷河を取り巻く学問分野はいろいろあるが、氷河自身の質量収支、動力学、熱的状态、水文特性などを扱う分
野を氷河学(狭義のGlaciology)と呼ぶ。地形学において氷河を扱う時、氷河と地形の相互作用を扱うが、日本
の地形学史における氷河地形研究は、氷河に形成されたであろう地形の編年論が中心であり、また、この編年か
ら復元される氷河変動を気候変動と読み替えた古気候論が主流であった。しかし、現在最も立ち遅れている研究
領域は、氷河が地形を作るメカニズム、言い換えれば、短時間かつ小規模なスケールの営力によって生じる地形
変化を、長時間かつ大規模なスケールに積分する方法、すなわち、氷食作用によってカールやU字谷がいかによ
て形成されるかという地形の本質論である。このためには、氷河学で得られた知識と、地形学で長年研究されて
きた形態的特徴を統合するような考え方が必要になる。今回は、その前段階としての氷河の基本的な特性と、ミ
クロスケールの侵食プロセスについてレビューを行う。

氷河学では、「氷河」を“連続して流動して水体”と定義する。氷河は、高緯度地方や中・低緯度地方の山岳地域に発達している雪氷現象である。季節的な積雪とは区別された氷河の存在自体は、アルプスでは1700年代には既に認識されていたようであり、19世紀中頃には氷河の流動のメカニズムを巡って活発な議論が繰り広げられた。中でも氷河を粘性体として扱ったフォースと、剛体としての水体が復氷現象によって流動すると考えたチンダルとの論争は有名であり、チンダルの著書「アルプスの氷河」（岩波文庫）に詳しく述べられている。氷河の流動は、第二次世界大戦のレオロジーの発達とともに次第に明らかにされ、今日では、氷の塑性変形と底面すべりによって理解されている。

氷河が基盤地形の上に発達すれば、氷河の自重と、氷河底面の境界部における流動によって岩石の破壊が生じる。また、氷河底面以外においても、氷河と接触ないし近接する箇所において、直接的な氷河の力学的・熱的作用によって、また間接的な力学的・熱的作用によって基盤地形の破壊が生じる。氷河底には、融解水が存在する場合もあり、このような融解水は被圧されているといまいと、基盤地形の侵食・堆積を行う。このように、氷河による直接ないし間接的な基盤地形の破壊を氷河の「地形形成営力」と呼び、このように形成された地形を「氷河地形」と呼ぶ。

氷河底部における侵食は、氷河の熱的状态によって大きく影響される。一般に、氷体の温度が圧力融解点にある氷河を温暖氷河と呼び、圧力融解点以下にある氷河を寒冷氷河と呼ぶ。通常、底面すべりは温暖氷河で活発であり、寒冷氷河ではほとんど無視できると考えられている（但し全くないわけでもない）。底面すべりが起きる結果、岩屑を取り込んだ水体は、基盤地形の上を滑動し、基盤地形を力学的に破壊する。一方、破壊された岩屑は氷河底で大きな静水圧と剪断を受け、ロジメント・ティルとして堆積する。また、寒冷氷河では、氷河底で圧力融解と復氷が起こって、侵食された岩屑がベイスাইティルとして氷河内にとりこまれ、下流へと運搬される。このように、氷河底での侵食・堆積プロセスは、基盤の破壊・運搬・堆積という過程を経ておこっている。

このような氷河底における氷河と地形の相互作用は、これまで理論、野外実験、そして室内実験などから研究されてきた。一方、地理や地形研究者は、カールやU字谷を形態的な特徴によって記載し、定量化してきた。両者の間をつなげる研究はまだ未開拓の分野であり、その解明にはさまざまな手法が用いられる可能性があるが、演者は数値シミュレーションがひとつの手法ではないかと考えている。

2. IGCP 253 (Termination of Pleistocene) の紹介とローレンタイド氷床の地形

6月下旬にカナダのマニトバ大学で開催されたIGCP（国際地質対比計画）プロジェクトNo. 253（更新世の終末）の会議に出席する機会に恵まれた。このプロジェクトは、J. Lundquist（Univ. of Stockholm）を代表とし、いくつかのワーキンググループ（Problematic Ice Sheet（N. Rutter）、Global Younger Dryas（D. Peteet）、Montane Glacier Fluctuation（C. Clapperton）、Glacial Lake Agassiz（J. Teller）etc.）から

構成されている。今回は、この会議の巡検として企画されたウィニペグ～バンフへ至る8日間の巡検で観察したローレンタイド氷床の堆積物と地形をスライドで紹介する。

カナダ中央部に位置するマニトバ州は、ローレンタイド氷床が消滅する過程で形成された水河縁辺湖であるLake Agassizの湖底堆積物に広く覆われている。巡検の前半は、マニトバ大学のJ. Teller教授を案内者としてLake Agassizに流入する融水水路で生じた洪水堆積物や、エスカーを観察した。マニトバ州からサスカチュワン州に入ると、ローレンタイド氷床の後退期に形成されたハンモッキー・モレーン・フィールドが続く。また、ティルの下位にある基盤や、ティル自体は、水河による上載荷重や剪断で著しく変形しており、いわゆるGlacial tectonicsの露頭を見ることができた。アルバータ州からは、案内者がアルバータ大学のN. Rutter教授に変わり、ちょうどヤンガー・ドライアス期の氷床末端部に沿って巡検が進められた。スカンジナビアのサルパウセルカ期相当の巨大なターミナル・モレーンや、白亜紀の地層から多くの恐竜化石を産出するDinosaur Provincial Parkを観察した。また、カルガリーの南東にあるメディシンハットでは、3回の水河作用によって堆積した、比高60mほどの見事なティルの露頭を観察した。衛星写真では、カルガリー近郊にはローレンタイド氷床による巨大なグループが認められるが、地上から観察した限りでは巨大すぎて地形を認識できなかった。バンフを起点としたロッキー山脈の巡検では、カルガリー大学のG. Osborn教授の案内で、最終氷期以降の山岳水河の侵食・堆積地形を観察した。中でも、バンフの下流において、ボウ川沿いに分布するBow Valley Advance期に堆積したベイサル・ティルは、比高約20m程度の厚さをもち、数km連続する露頭は圧巻であった。晩氷期以降の水河変動については、クロウフット氷河において詳しい説明があり、これまでマザマ火山灰堆積期(約6000年前)以前の前進期としてしかわかっていなかったクロウフット前進期が、最近の湖底堆積物の調査からヤンガー・ドライアスに相当すること、また、完新世の水河の前進規模は、小氷期のものが最大であったことなどが説明された。以上、しばしばローレンタイド氷床の堆積地形は教科書のモデルとして登場するが、実際に観察する機会を持てたことは演者にとって大きな喜びであった。(文責：白岩)

白岩氏の発表に対する松岡氏のコメント

「水河の侵食プロセスに関する最近の研究から」

松岡憲知(筑波大学地球科学系)

白岩氏が紹介したように氷食地形の形成機構に関する研究はまだ少ない。とはいえ、最近、重要な研究がなされているので簡単に紹介したい。氷河底での侵食の働きには、磨耗作用、ブラッキング、流水作用などがあるが、磨耗が最も重要だと考えられているので、話はこれに限定する。

氷河の磨耗作用の研究では、他の地形プロセスの研究と同様、野外観測、室内実験、理論の3つの手法が用いられている。氷河底では直接侵食機構を調べるのは極めて困難である(日本ではどうあがいても無理)が、最近

はいくつかの水河で試みられている。Echelmeyer and Wang (1987) は天山の水河底で変位計を用いて地層の変形(磨耗ではないか)を調べた。室内実験では、氷に圧力をかけ、人工岩石と擦り合わせて磨耗過程を調べた Iverson (1990) の研究が興味深い。理論的研究では Boulton と Hallet のモデルが有名である。Boulton (1974, 1979) は磨耗速度のモデルを提唱した最初の研究であり、Hallet (1979, 1981) がより現実的なモデルに修正した。彼らの理論の焦点は、水河底での岩石が多く、その流速 (V) が大きいほど、また岩片が氷河底に押しつけられる圧力 (F) が大きいほど、磨耗速度は大きいというものである(図1)。もちろん、岩盤の強度も磨耗速度に影響するということはいうまでもない。2人の理論の相違点は F にあり、Boulton は F が単に氷河の重量(厚さ)によるとしたのに対し、Hallet は F は氷厚とは独立する量であるとした。もし F が氷厚だけに依存するならば、フィヨルドのような厚い氷河の下では、氷が重すぎて岩片が動きにくくなる (V が小さい) ので磨耗も起こりにくくなるというのである。これらの氷食作用の研究は Drewry (1986) の教科書の3~5章に要領よくまとめられている。

磨耗速度のモデルは、氷食地形の発達過程にも適用されている。V字谷からU字谷への変化過程は Boulton (1974) も定性的に説明しているが、最近、Hallet モデルを使って定量的に説明した Harbor (1992) の研究が非常に興味深い。彼の計算では、V字谷に氷河が形成されたときに、谷底よりも少し上の部分で氷河の底面すべり速度(そして岩片の流速)が最大となり(図2)、したがって磨耗速度も最大となるのでU字谷に変化するという、発達過程が示されている。また彼は、氷期-間氷期の後退にともなう氷厚の変化がU字谷の形態に及ぼす影響についての計算結果も示している。

日本のカール・U字谷の形態を理解するうえでここにあげた文献が参考になると思うので、ぜひ読破してほしい。なお、筆者はこれらの文献をペラペラとめくっただけでこのコメントを書いているので、内容の誤解が多々あると思う。氷食作用に興味を持つ人は、ここに書いた事柄を信用せずに、必ず原典をあたってほしい。(文責: 松岡)

文献

- Boulton, G. S. (1974): in Coates, D. R. ed., *Glacial geomorphology*. State University of New York, 41-87.
- Boulton, G. S. (1979): *Jour. Glaciol.*, 23, 15-38.
- Drewry, D. (1986): *Glacial geologic processes*. London, Edward Arnold, 276p.
- Echelmeyer, K. and Wang, Z. (1987): *Jour. Glaciol.*, 33, 83-98.
- Hallet, B. (1979): *Jour. Glaciol.*, 17, 209-221.
- Hallet, B. (1981): *Ann. Glaciol.*, 2, 23-28.
- Harbor, J. M. (1992): *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 104, 1364-1375.
- Iverson, N. R. (1990): *Jour. Glaciol.*, 36, 304-314.

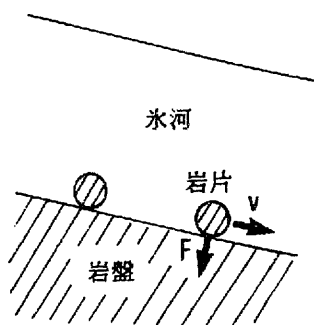


図 1

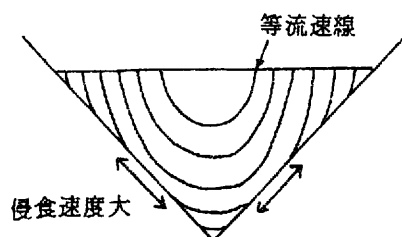


図 2

ティルの生成プロセスと成因分類について

長谷川裕彦（明治大学大学院博士過程）

現在の氷河ではティルの生成プロセスに関する研究は、1960年代後半に始まるBoulton の一連の研究以降、北極点やアルプスの谷氷河・溢流氷河で急速に進展した。それにともない氷期に大陸氷床が発達した地域では、ティルの堆積構造や構成物質の特徴からその生成プロセスが推定され、成因ごとのティルの細分がおこなわれるようになった。そのような中でINQUA Till Work Group (1973-1987) は、ティルの成因分類確立のため活発な議論を重ねその成果をまとめている (Goldthwait, R. P. and Matsu, C. L.: 1989)。

理論的にはティルは第1表のI-V の組み合わせにより成因分類が可能である。しかし実際には、氷河に取り込まれた岩屑が最終的に堆積するまでに複数の運搬経路 (IV) を経ることが多く、一次的に堆積した後に二次的に再移動するといったように複数の堆積プロセス (III) を経験することが多いため、その分類は簡単ではない。

岩屑の運搬経路は、ティルの岩相とくに礫の円磨度やマトリックスの粒度特性を決定するうえで重要である。すなわち氷河底より下位 (subglacial) に存在する岩屑や軟らかい基盤が氷河の滑動により引きずられる (basal drag) 時や、氷河最下部の岩屑密集層 (basal ice) が流動する時には、岩屑と基盤あるいは岩屑どうしの間で粉砕や削磨作用が生じ、礫の角がとれ、細粒物質が生産される。それに対して氷河上 (supraglacial) や basal ice より上位の氷河内 (englacial) を運搬された岩屑は粉砕・削磨作用を受けることなく角張ったままである。

生成プロセスに着目してティルを最も単純に区分すると、第1図のように4種のティルが区分される。それぞれのティルの間が直線で結ばれているのは、それらが漸移する関係にあることを示している。deformation till・lodgement tillは氷河の前進期に、melt-out till・gravity flowtill (以下flowtill) は主に氷河の後退時に堆積する。deformation till (あるいはglacioteconite) は、氷河に覆われる前に存在した堆積物や軟らかい基盤が氷河のbasal dragにより変形・運搬されて形成される。いっぽうlodgement tillは、basal ice 中の岩

屑が主として圧力融解により氷河底に放出され、それと同時にbasal dragを受けて形成される。melt-out tillは、停滞水がその上面・側面・底面から融解することにより、氷河上あるいは氷河底に堆積する。氷河上に堆積したものをsupraglacial melt-out till、氷河底に地積したものをsubglacial (basal) melt-out till と呼ぶ。このようにして堆積したティルは、氷河水が解けきるまで大量の融氷水の供給を受け、重力や水圧により再移動して二次的な堆積作用を受ける。これがflowtillである。

lodgement tillは、ティルの中で最も強力な粉碎・削磨作用とbasal dragを受けて形成されるため特徴的な層相を呈する。礫は角が取れfacet が形成されて、その表面には擦痕やチャターマークが認められることが多い。マトリックスは粘土分・シルト分に富み、同時代・同一地点のティルの中では最も細粒である。非常にコンパクトであると同時に、強力なbasal dragの結果として氷河上流側に傾く剪断面が多数形成され、典型的な場合にはfissility 構造が認められる。礫長軸のファブリックは氷河流動方向と平行で、氷河上流側に傾く。マトリックスのマикроファブリックもそれと同様である。

deformation tillは、運搬距離が短い時は基盤と、長い時にはlodgement tillと区分しがたいことが多い。

basal melt-out till は、普通basal ice の構造を残して堆積する。その結果、カラーバンドや砂およびマトリックスに乏しい岩屑のレンズが認められることがある。マクロファブリックはlodgement tillに比べ集中の度合いが弱まり、マクロファブリックは完全に乱されるのが普通である。しかしlodgement tillとの区分は難しく、不可能なこともあるため、両者を一括してbasal tillと呼ぶことが多い。

supraglacial melt-out tillは、氷河上・氷河内を運搬された角礫主体の岩屑と、圧縮流が生じる地点（特に氷河末端部）でshear plane に沿って氷河底からもたらされたbasal tillと同様の特徴を有する岩屑からなる。多くの場合、supraglacial melt-out tillは二次的な移動を受けてflowtillとなる。二次的な移動は、ティルのおかれた環境により滑動、泥流、ソリフラクションなど様々なプロセスで生じる。移動量の少ない時には melt-out tillと、含水比の高い泥流として移動した時には融氷流水堆積物との区分が難しい。いずれにしてもflowtillは、その生成の過程で少なからず淘汰作用を受けることに注意が必要である。

以上、ティルの成因分類と堆積物としての特徴について簡単に示したが、分類はティルを正しく理解していくために必要不可欠であるからおこなわれるのであり、分類すること自体が目的ではないことに留意しておくべきでない。

日本ではティルの生成プロセスに関する1970年代以降の研究成果をほとんど取り入れずに、ティルの記載がなされ氷河地形発達史が論じられてきた。今後、より詳しくティルをみることにより、細かな地形発達史や氷河環境の変遷が議論されるようになることを期待したい。同時に、「氷期の山岳氷河のティル」に関する研究は極めて少なく、日本のティルが非常に重要なデータを提供してくれる可能性のあることを最後に付しておく。（文責・長谷川）

文献 Dreimanis, A. (1989) : Till, their genetic terminology and classification. In R.P. Goldthwait and C.L. Matsch (eds) : Genetic classification of glaciogenetic deposits. 15-81. Rotterdam, Balkema.

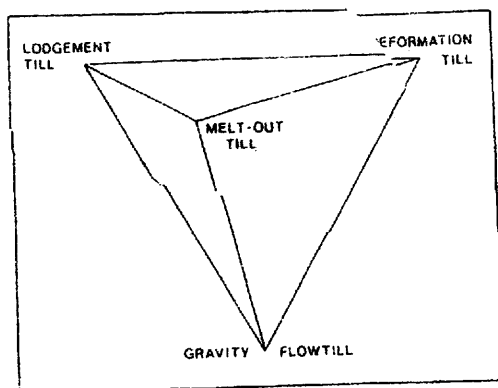


Figure 1. Schematic depositional genetic classification of till, with principal endmembers at the vertices of a tetrahedron. After Dreimanis (1989: Fig. 1).

Table 1. Selected parameters for expanded genetic classifications of till. After Dreimanis (1989)

RELEASE OF GLACIAL DEBRIS AND ITS DEPOSITION			IV. TRANSPORT	V. DERIVATION
I. ENVIRONMENT	II. POSITION	III. PROCESS		
GLACIOTERRESTRIAL	ICE MARGINAL	LOWERING OF SUPRAGLACIAL DEBRIS	SUPRAGLACIAL	SUPRAGLACIAL-EXOGENOUS
	SUPRAGLACIAL	MELTING OUT SUBLIMATION	ENGLACIAL BASAL (IN ICE)	SUBGLACIAL
GLACIOAQUATIC	SUBGLACIAL	PRESSURE MELTING AND REGELATION LODGEMENT SUBSOLE DRAG & SHEAR FLOWAGE: -GRAVITY FLOW -SQUEEZE FLOW OTHER MASS MOVEMENTS: -SLIDING -FALLING	SUBSOLE (TRANSLOCATION BY GLACIAL DRAG)	

NOTE: EACH VERTICAL COLUMN IS INDEPENDENT FROM THE OTHER FOUR, AND NO CORRELATION HORIZONTALLY IS IMPLIED. ONLY SOME COMBINATIONS ARE FEASIBLE. THE PROCESS OF DEPOSITION (COLUMN III) INCLUDES ALSO SOME TRANSPORT IMMEDIATELY PRIOR TO THE DEPOSITION.

03-4

長谷川氏の発表に対する岩田氏のコメント

岩田修二（三重大学人文学部）

長谷川君が紹介したA Dreimanis の論文は、1988年に出た INQUA の委員会の報告書に載ったもので、till については現段階で最もよくまとめられたものであろう。しかし、タイプ打ちの原稿をそのまま縮小印刷した読みにくいもので、意外と読まれていないのかもしれない。わたしは1989年秋にチベット高原のテントの中で読み終んだ記憶がある。

堆積物としてのtillの研究は、氷期に大陸氷床に覆われていた北アメリカ大陸の平原部で発展していた。それを、現在見られる氷河プロセスと結び付けて説明できるようになったのは、1960年代後半～1970年代のBoulton の研究によってであった。これは、アイスランドとスピッツベルゲンの小規模な氷床の縁や大きな氷河（アウトレット氷河）の末端を対象におこなわれたものである。したがって、ヒマラヤや日本アルプスのような急な山岳地帯の氷河堆積物を中心にみているものからすると、このDreimanis のまとめも、すぐに役立つとはいえない。しかし、最近では長谷川君自信もそうであるように、スピッツベルゲンやアイスランドでも調査ができるようになったから、このような知識はわれわれにも不可欠のものになった。そして、Boulton たちの研究を進展させるためには、氷河の底での研究が必要であり、それが廻り巡って山岳地形の地形プロセスの理解を押し進めるのはまちがいない。

長谷川君は、日本アルプスの氷河地形を研究する者が、最近の氷河堆積物の研究を知らないからこの論文を紹介すると枕でのべていたが、その意味では、次は、たとえば、施 雅風・崔 之久・李 吉均（1989）：「中国東部第四期氷川与环境問題」科学出版社の氷川堆積地貌、氷碛与泥石流堆積的判別の項（p. 24～62）を紹介していただきたい。（文責：岩田）