

# やさしい地質学

## 第四紀の話 ②

坂本 亨

### §3 大氷河の時代

すでに 第四紀の特色が 人類の時代であること 氷河の広がった時代であることを述べました。この内 人類の進化・発展については この連載の前の方(地質ニュース 116・117号)でふれてありますので 氷河のことから話を始めましょう。

大氷河時代というのは 今日 アルプス・ヒマラヤに見られるような 山岳の氷河が拡大したばかりでなく 広大な大陸氷河(氷床)がヨーロッパや 北アメリカの平原に広がり 総じて陸地の30%(現在の3倍の面積)が氷河におおわれてしまった時代です。

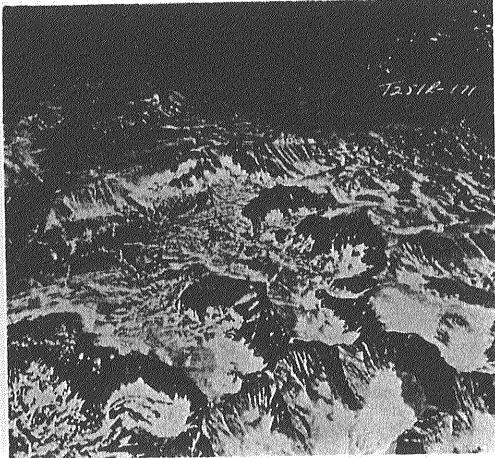
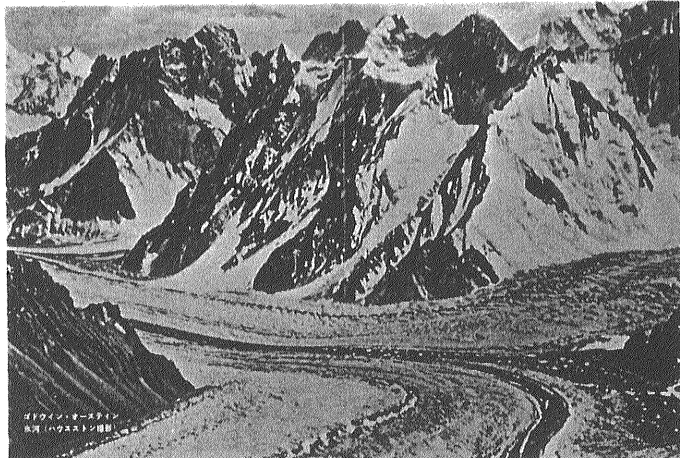
**大氷河時代の発見** アルプス山麓に住む人々は 氷河の末端にできる堆石(モレーン moraine)が谷の downstream まで何段も発達していることを以前から知っており 昔はそこまで氷河が広がっていたと信じていました。また 北欧の荒野に転在する巨大な岩塊 “迷子石”(erratic block)は 多くの人々の興味をひきました。たとえば ゲーテ(1749—1832)はその晩年の作品 “ウィルヘルム・マイステルの遍歴時代”の中で こういった岩塊が “天から降ってきたものか それとも過去の寒冷な時期に 氷河に乗って遠くから押し出してきたものか” という論争のことを述べているほどです。

科学者として 系統的・実証的にこの問題を研究し “大氷河時代”という概念をはじめて明確に表現したのは アガシー(Lovis Agassiz)とシャルパンティエ(Jean de Charpentier)でした。アガシーの大著 “氷河研究”は 1840年に出版されましたが この新しい革命

的な考え方は その後もなかなか一般的な支持を得られなかったようです。しかし アガシー等のこの業績が ライエル流の生物(とくに海の貝化石)の変遷に基礎をおいた第四紀の見方に対し 第四紀の全く別の側面を開拓した画期的なものであることは わかって頂けると 思います。

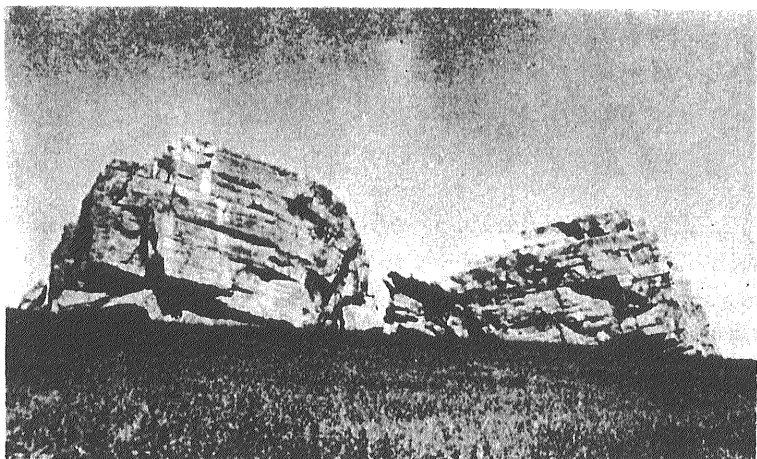
大氷河時代の存在が認められて後も 氷河の規模やその侵食作用の大小については 激しい論争がつつぎました。山の好きな人ならきっと知っていると思いますが 英国の登山家ウィンパーは “アルプス登攀記”(1871)の中で 氷食作用に関する論争の批判や彼自身の観察にもとづく考えを詳細に述べています。彼の考えの正否は別として ここでは 一つの学問・学説をでき上ったものとして権威的に受け入れる態度ではなく 専門家もそうでない人もたがいに批判し 協力しながら 無数の事実をつみ重ね 論理の糸で結び 大きな体系に組み立てて行く 学問の本来の基盤をよみとることができるでしょう。

**氷河の繰り返し** こうして地質学者の過去を復元する努力は たゆみなく続けられました。その結果 それまでただ一回だけと考えられていた氷河の発達 実際は4回に分けられるものであること しかも その氷河の発達期の間には むしろ現在より気候の温暖な時期が はさまっていたことが発見されました。この氷河の繰り返しの発見によって 第四紀の細分が可能になり かつ北米とヨーロッパという遠隔な地域の間の対比ができるようになったのです。氷河の発達した寒冷な時期

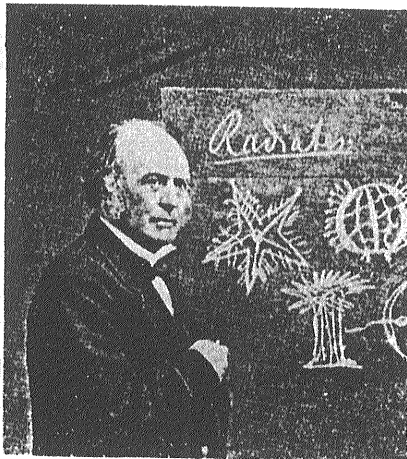


2 1 ヒマラヤの山岳氷河

3-2 ラブラドル半島北部の氷河地形



3-3 カナダ西部アルバータ州最大の迷子石 "Big Rock" 大きさ 45×20×10 m 重さ 18,000 トン



2-4 ルイ・J・R・アガシー

は氷期 (glacial age) その間にはさまる温暖な時期は間氷期(Interglacial age)と呼ばれています。

この氷期・間氷期は ふうう古い方から順に 第1氷期・第1間氷期・第2氷期 第2間氷期……と呼んでいます。そして アルプスでは それぞれの時期に発達した氷河の跡がもつともよく残っている谷の名前をとって 古い方から順に ギュンツ氷期・ミンデル氷期・リス氷期・ヴェルム氷期と名づけられました。スカンジナビア地域や北アメリカの氷期・間氷期にも それぞれ名前がついており 相互に対比されていますが それは 第3-1表をみて下さい。このうち 氷河発達の規模

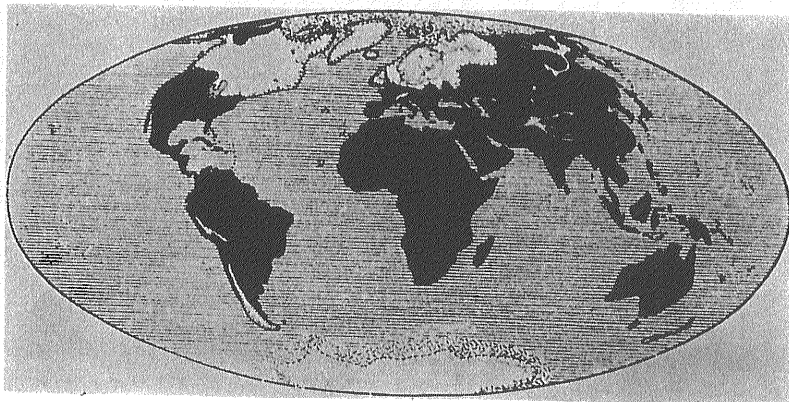
3-1 表 氷期の 編年

	アルプス	スカンジナビア	北アメリカ	年 数 (現在より前)
第4氷期	ヴェルム氷期	ヴァイクセル氷期	ウイスコンシン氷期	60,000±
第3間氷期	リス/ヴェルム間氷期	エーム 間氷期	サンガモン間氷期	110,000±
第3氷期	リス 氷期	ザーレ氷期	イリノイ氷期	
第2間氷期	ミンデル/リス氷期	ホルシュタイン間氷期	ヤーマス間氷期	180,000±
第2氷期	ミン・デル 氷期	エルステル氷期	カンサス氷期	
第1間氷期	ギュンツ/ミンデル間氷期		アフトン間氷期	
第1氷期	ギュンツ氷期 ドナウ/ギュンツ間氷期 ドナウ氷期		ネブラスカ氷期	280,000±

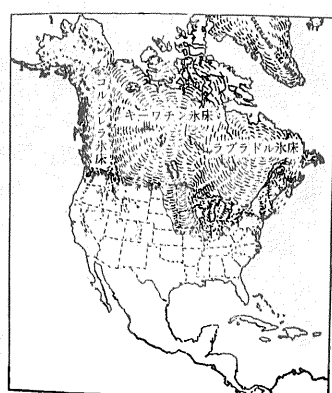
からいうと 第3氷期が最大で 第2氷期がこれにつき 第1氷期は最少のものでした。現在ではギュンツ氷期以前に なお寒冷な時期があったことが アルプスやライン川下流地域で認められ これをドナウ氷期と呼んでいます。なお 氷期のなかで認められるより小さい振幅の変化(氷河の発達と後退)に対しては 亜氷期・亜間氷期ということばがつかわれています。

**氷河の影響** ところで 第四紀は氷河の時代だといって話をすすめてきても なかには 「いくらそのころ寒かったとしても 熱帯地方まで氷河が広がったわけでもあるまい。してみると氷河時代といっても熱帯地方には関係ないのではないか」といった疑問を抱く人もあるでしょう。事実 北米やヨーロッパでこそ 広大な大陸氷河が発達しましたが 日本などでは 高山の山頂部に小規模な山岳氷河があったにすぎません。氷河の発達しなかった地域で 氷河時代の影響がどんな風に残っているかを まず考えてみましょう。

影響の第一は 当然「気温の低下」という形で表われてくるはずですが。それが 大氷河の発達した原因なのですから。日本での氷期(第4氷期)における年平均気温の低下は 種々の資料からみて 7~8°Cであったと



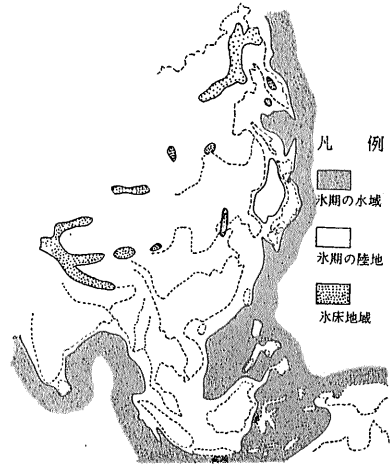
3-5 第四紀における氷河の発達



3-6 北米の第四紀の氷床

3-2 表 今日の世界の水河の容量とその融解による海面上昇の見積り

計算した人 (年代)	水河の容量 (km <sup>3</sup> )	海面上昇量 (m)
アンテース (1929)	16,067,400~23,154,960	40~60
ラムゼー (1930)	22,500,000	55
デーリー (1934)	20,884,000	50
ソラリンソン (1940)	9,528,249	24
クレーベルスベルク (1948)	25,500,000	55
カイユ (1954)	22,000,000~36,000,000	55~90
パウエル (1955)	21,740,000	54



3-7 第四氷期の東アジア

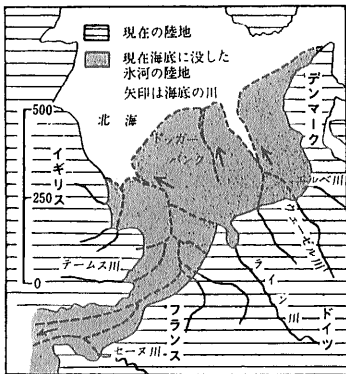
いわれています。もちろん こういう議論には たんなる年平均気温でなく 夏の気温・冬の気温について それぞれどのくらい低下したかを考えなくては正確とはいえません。しかし ごく大ざっぱにみても 年平均気温にして7°Cの低下といえれば 東京付近の気温が現在の札幌付近の気温になります。同様に 他の中緯度地方でも 氷期と間氷期との平均気温の差は おおよそ10°C前後と推定されています。このことから 氷河期の気温低下が 動物や植物の分布にいかにな大きな影響を与えたか 想像に難くないでしょう。

熱帯地方における氷期の気温低下は だいたい4°Cといわれています。ここでは 熱帯的な気候が氷期を通じて持続したと考えられています。生物群もそのまま生き残りました。

影響の第2として 氷床の発達にともなう海水量の減少→海面の低下が あげられます。世界中の海は一続きですから この影響が全世界に一樣に波及するのは

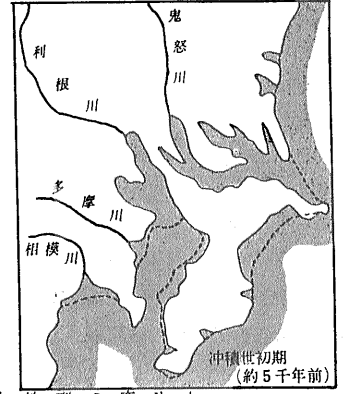
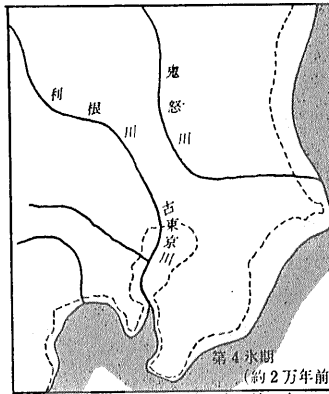
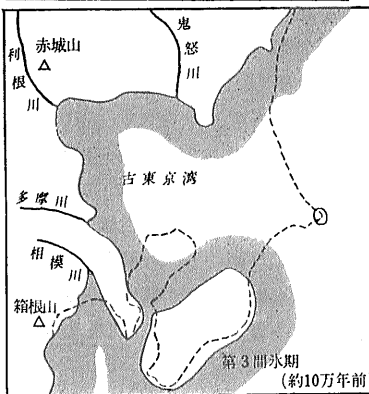
当然でしょう。

ここで 現在の地球上にある氷河の氷がすべて融けて 海に流れ込んだら 海面がどのくらい上昇するか考えてみましょう。現在 陸地や面積の1/10を占めて 氷河が発達しています。この氷の大部分は南極大陸(全氷量の87%が南極 12%がグリーンランド)にあります。氷の厚さを調査するのは きわめて困難なことです。南極では600mから3,000mぐらい グリーンランドでも最厚3,000mぐらいです。ここで 仮に 氷河の氷の平均の厚さを1,000mとして見ましょう。地球の表面積の1/4である陸地の面積の そのまた1/10を占める厚さ1,000mの氷がとけて 地球の表面積の3/4を占める海洋へ流れ込むのですから 単純な計算で 海面が33.33...m上昇することになります。逆に 大氷河時代には現在の3倍の面積を占めて氷河が広がったのですから 平均の厚さは変わらないとして66.66...mの海面低下が予想されることになります。

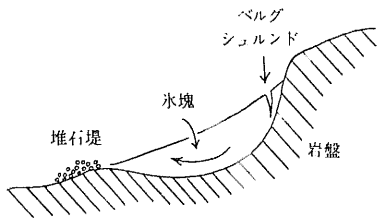


3-8 氷期(海面低下期)の北海

ところで このような粗雑な計算でなく 氷床の厚さについてもじゆうぶんの測定値を用い 海面近くの陸上と海底の地形も計算に入れて 何人かの人が氷床の融解による海面の上昇を算定しました(第3-2表)。こ



3-9 第四紀後半における関東地方の古地理の変せん



4-1  
円谷氷河の模式断面

れによると 約55m というのが 信頼できる数値ということになります。同様にして 氷河の広がった時期には 海面が現在より100m くらい低下したと推定されています。

100m の海面低下は 当然 現在みられる多くの島々を 大陸と陸続きにしました。日本やインドネシアの島々も このときアジア大陸の一部になりました。このことは 陸上の動物・植物の分布に大きな影響を与えずにはおきません。たとえば 日本の洪積層からは大陸から渡来したゾウの化石がたくさん発見されています。そればかりではなく 今日 これらの島々に大陸とよく似た あるいは全く同じ種類の生物が住んでいるのも この氷期の海面低下による大陸との接続が大きな原因です。逆に カンガルーやカモノハシなど 珍奇な古い型の動植物群をもったオーストラリア大陸は 大昔にアジア陸塊から分離して以後 洪積世の何回かの海面低下期にも ついにアジア大陸と陸続きにはならなかった——陸上動物の自由な往来が妨げられたままであった——ということができましよう。

陸上の生物だけでなく海を渡れない淡水魚が たとえば海をへだてた日本側と沿海州側との両地域でよく似ているのも 同じ原因によるものと説明されています。氷床の発達や衰退にともなって 海面が上昇 低下を繰り返し それにつれて大陸と島々とは陸続きになったり離れたったりしたことが 生物の分布に大きな影響を与えたのは当然です。

一方 海面が低下して それまでの浅海底が陸地となれば そこには陸上の川が延長して流れ 一部では谷も刻まれます。その後 ふたたび 海面が上昇すれば これらの川の跡は 浅海底にそのまま あるいは新しい埋積物に埋められて残ることになります。事実 世界各地いたるところの浅海底で このような成因をもった川の跡が発見されています。ヨーロッパのライン川やテムス川の延長が北海の海底に刻み込まれ また セーヌ川の延長がドーバー海峡に沿って西流していることは 古くからよく知られています。なかでも北海の中央には ドッガー堆 (Dogger bank) と呼ばれる 水深わずか18~36m の浅所があり ここで古い森林のあ

とが見つかったり しばしば獣骨が漁網にかかつて上げられることは有名です。前に地質ニュース No.85で紹介された“古東京川”(古い利根川・多摩川などの水を集めて 東京湾の西よりを南へ流れ 現在の浦賀水道で海に注いでいたかつての川)も このような川の一例です。また最初にあげた東京の下町の地下にかくれた谷も 実はこの氷河の発達に伴う海面低下の時期に深くえぐられてでき その後埋積されたものなのです。

このように見てきますと 氷河におおわれたと否とを問わず 氷河の発達が 全世界にわたって及ぼした影響の大きさがわかっていただけるでしょう。まさに第四紀は“大氷河時代”の名にふさわしい時代です。

#### §4 日本の氷河

日本にかつて氷河があったか 否か。あったとしたら どの位の規模のものであったか。この問題は19世紀末から長い間日本の地質学界に はげしい論争をまきおこしました。なかでも有名なのは 小川琢治氏を中心として 昭和10年前後に唱導された“低位置氷河説”です。これは 八ヶ岳の麓や松本北方の仁科三湖付近など 海拔700~800m のところをはじめ青森県下などの海拔100m前後の場所に 大規模な氷河遺跡があるというものでした。この説は当時 痛烈な論争を呼びおこしましたが その後の実証的な研究によって完全に否定されました。

今日確実に認められている氷河遺跡は 日本アルプスや北海道の日高山脈の山頂部に小規模に残っているものだけです。これは山頂部に小規模に発達した氷河が削ったあとで おわんを半分に割ったような半円形の谷になっています。圓谷またはカールと呼ばれているのがこれです。カールの三方は急な崖にとり囲まれ 底は多少くぼんで凹地状を呈し その先端には堆石堤があるのがふつうです(第4-1図)。こういったカールが南アルプスの荒川岳を最南端として 南アルプス・中央アルプスに数個ずつ 北アルプス・日高山脈にそれぞれ30個近くずつ知られています。カールから下方へつづくU字谷は 日本では発達のおわりのものがふつうです。カールは雪線(万年雪の下限を連ねた線)の近くでできるので 当然のことながら カール底の高さは南ほど高く北へ行くほど低くなります。

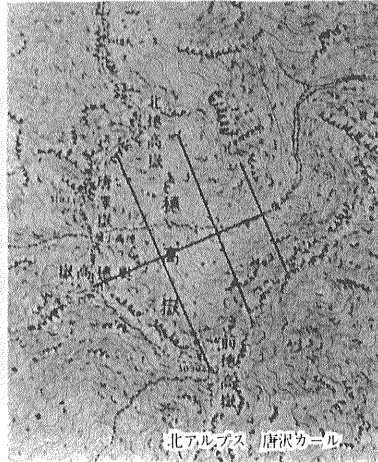
その海拔高度は 南アルプスで3,000~2,700m 中央アルプスで2,600m 内外 北アルプスで2,700~2,300m 北海道では1,600~1,450mです。なお カールの分布図を見てすぐ気づくように カールが山脈の東側に多いのは 中緯度地帯で高い所に吹く偏西風の影響によって 東側が吹きだまりとなり 積雪量が多いためです。

また 東斜面が西斜面に比べて 日射量が少ないので雪がとけにくいことも影響しています。

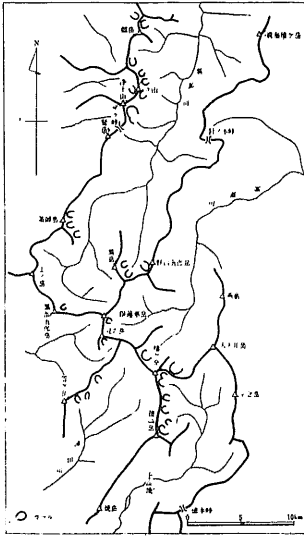
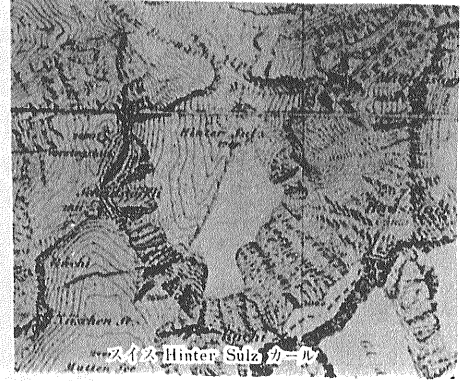
期のときできたものと考えられています。 これらの内には2段の堤石堤をもち 氷河が2回発達したことを示すカル地形の例

富士山や乗鞍岳のような高い山でも 新しい火山には氷河遺跡がありません。このことは これらの火山が最終的にでき上がったのが氷期以後なのですからむしろ当然といっていでしょう。

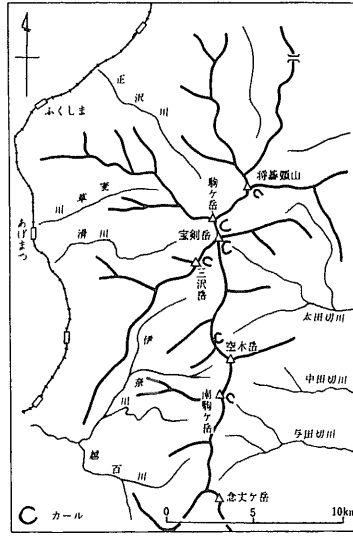
これらの氷河遺跡は現在のところ すべて最後の氷



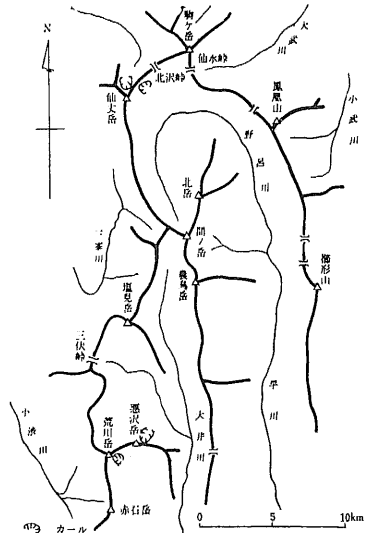
4-2 →



4-3 北アルプスのカール



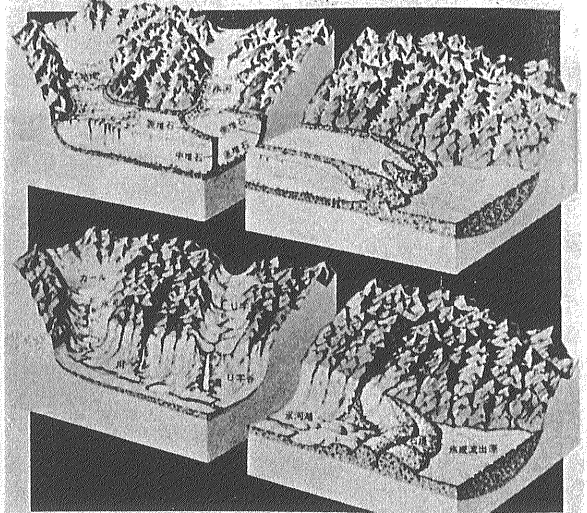
4-4 中央アルプスのカール



4-5 南アルプスのカール



4-6 中央アルプス駒ヶ岳の濃ヶ池堤石堤湖 左下が堤石堤



4-7 山岳氷河と氷蝕地形

5-1表 地質時代における氷期とその規模

新 生 代	第 三 紀	四 新 漸 始	紀 新 世 世	—
	白 三 紀	亞 拉 伯 炭 層	紀 新 世 世	—
	中 生 代	白 三 紀	紀 新 世 世	—
古 生 代	石 炭 紀	石 炭 紀	紀 新 世 世	—
	二 疊 紀	石 炭 紀	紀 新 世 世	—
原 生 代	二 疊 紀	石 炭 紀	紀 新 世 世	—
	石 炭 紀	石 炭 紀	紀 新 世 世	—
始 生 代	石 炭 紀	石 炭 紀	紀 新 世 世	—
	石 炭 紀	石 炭 紀	紀 新 世 世	—



5-1 氷礫岩の1例 アラスカミドルトン島の上部新生界

しているものもありますが これは第4氷期の中の2回の亜氷期に対応するものとみなされています。それ以前の氷期の遺跡が残っていないのは はじめはできたのだがその後の侵食で破壊されてしまったのか それとも山地が氷河をのせるほど高くなかった（その後の隆起で現在の高さになった）のか まだじゅうぶんなことはわかっていません。

### §5 古い氷河時代

地球上に広く氷河が発達した時代が 第四紀だけでないことは 前にもふれました。話はわき道にそれますが ここで簡単に第三紀以前の氷河時代について述べましょう。第5-1表は 長い地球の歴史のなかでの氷河時代の分布と その規模を示したものです。

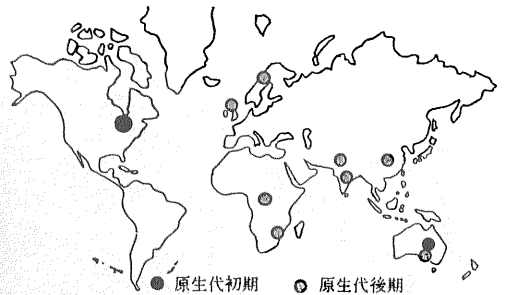
この図でみられるように なん回もくり返す氷河の発達のうち かなり大きいものとしては 原生代の初期と後期 古生代後期 それに北米のロッキー山脈地方に氷床が広がった始新世のものがあります。

原生代における氷河の発見は 「地球が熱い塊からだ

んだん冷えていく。したがって古い時代ほど暖かった」という者に冷水をあげさせた重要な事件でした。原生代の氷河を示す証拠は 北米・中国・オーストラリアをはじめ ほとんど全世界に分布しています。

この節で述べるような古い氷河の証拠としては ふつう大小雑多な角ばった岩塊と砂泥が不規則に混りあった地層—氷礫岩 (tillite)—が残っているだけのことが多いのです。しかし ときには 氷礫岩だけでなく 氷河が移動するとき岩盤につけた深い溝状のひっかき傷が発見されており この傷の方向から 当時の氷河の移動方向が複元されることもあります。

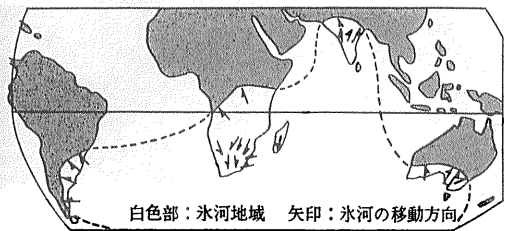
古生代後期の氷河も また 興味あるものです。第5-3図のように この時の氷河は 南半球の大陸とインドを繰り返しておきました。このことは 氷礫岩層が 間に海成層をはさんで 何枚も発達していること



5-3 原生代の氷河成の地層の分布



5-2 古生代の氷河の擦痕を残した岩石(南アフリカ)



5-4 古生代後期の氷河の分布

からわかっています。現在 はなればなれになっているこの4つの陸塊は 化石や地層の証拠からみると 当時は一続きの大陸— Gondwana大陸— をつづけていました。

有名な “大陸移動説” は この陸塊の分離・移動を一つの基礎としてたてられたものです。

**氷河時代の原因** 長い歴史の間で 地球表面はおおむね温暖な気候の下にありました。それでは 何度か繰り返す氷河発達の時代— 寒冷な時期— は どのような原因によって引き起こされたのでしょうか。これについては いくつかの原因論がありますが まだ決定的なことはわかっていません。原因論を大別して 一方は 外因論 すなわち地球外での天文学的な現象に

原因を求める立場です。たとえば 太陽活動の変化 地球が太陽から受けとる熱量の変化などに 氷河発達の原因を求めるのがこれです。しかし 第5—1表でみる氷河時代がすべて 地史における造山運動の頂点または直後にあることは 単に偶然の一致として見のがすわけにはいきません。この点に注目して 原因論のもう一方に内因論があります。造山運動による地熱の放出 陸地の増大 高山の出現などが 複雑な道程をへて 気候の寒冷化を引き起こし 氷河の発達をうながすという考え方がこれです。ここでは 地球の歴史の進展そのもののなかに 氷河時代の原因が必然的に含まれていると考えるわけです。

(筆者は地質部)

「やさしい地質学 地下資源の話 (その2)」  
の訂正とおわび

岸本文男

地質ニュース第126号で述べた「主として窯業原料となる資源」および「物理的特性を利用する鉱物資源」の内容に間違いがあったことを 深くおわびします。ついでには各専門家の忠告にしたがって とくに重要な点についての訂正をさせていただきます。もっとも正確で かつ詳しい各内容については 地質調査所編「地下の科学」シリーズ VI「わが国の工業原料鉱物」を読んで下されば幸いです。

III. 主として窯業原料となる資源

p. 34 左 今では コップの接合部の跡が残るような型は使っていない。

同 右 カメラ・レンズ用白珪石は  $\text{SiO}_2 > 99.99\%$  でしたが  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  はもっと少ないものである。

同 同 光学用ガラスのルツボは粘土質レンガ(葉織石・カオリン・ダイアスポアなどを材料として)で SK 32 以上。

同 同 洋食磁器だけでなく 一般に磁器・陶器の材料と配合率は各会社まちまちで したがって洋食磁器の場合も 陶石・長石・珪石などにカオリンを加えたものを材料にしていると訂正。

同 同 釉薬は葉織石・長石・白珪石を原料としその配合率は 各社各様である。

同 同 乾電池に用いる墨鉛は炭素棒の原料となるだけである。

p. 35 左 化粧品に石膏を用いたことはなく 今では全くカオリン・絹雲母も用いていない。

同 同 セメントの種類は実に多い。その普通にみられるセメントは 石灰石・軟珪石・粘土を混ぜて ロータリーキルンで焼いてから 石

膏を少し混ぜて粉にしたもの と訂正。モルタルも 現在では 耐火度の低いろう石や耐火粘土などを焼いて作る。

p. 35 左 人造石はマグネシア・セメントでなく 一般には白色セメントで着色する。

同 同 点火栓のところでは 紅柱石や珪線石・藍晶石をおもな材料にいろいろと加えて焼いたものという意味で 普通の点火栓は 現在ではボーキサイトなどから作ったアルミナをホットプレス法という方法で焼成したもので 粘土質のものはほとんど入っていない。

同 同 岩綿フェルトは石綿フェルトと訂正し その原料も 鉄分の比較的小さい蛇紋石やかんらん石を原料の1部とすることも ある といえ ば正確になる。

IV. 物理的特性を利用する鉱物資源

p. 35 右 酸性白土は石油・油脂などの脱色精製(黒い石油を家庭で使っている石油類のようにきれいにする)に用いられるのが主で 途中の副産物として出るシリカゲルなどが乾燥剤に使われる例もある。

同 同 硬水を軟水にするのに沸石粉末を使うことは その物理性からみて やがて工業化されるだろう と訂正。

p. 35 右 理科実験用のビーカーやフラスコが石英ガラスと書いたのは間違いで これは普通のガラス しいていえば 耐熱性を強くしたガラスである。石英ガラスは 高級な特殊な実験器具に使われることがある。

ここで いろいろと訂正の便をはかって下さった方々にお礼申し上げますと共に 間違った部分を早く正しく読み直して下さるよう 読者の皆さんに願うものです。