

日本の Neoglaciation について

堀 江 正 治

ON THE NEOGLACIATION IN JAPAN

By *Shoji HORIE*

Synopsis

In this paper, the writer discussed on the Neoglaciation in the Japanese Islands. One information is derived from the writer's own glacial-geologic field work in both Central Japanese Mountains (Hida, Kiso and Akaishi) and Hidaka Mountains; the other information is based on the paleolimnological evidence in the core sample of Lake Biwa-ko.

There are two groups of moraines (Moraine V and Moraine VI) which are extremely fresh in morphology, only in the Central Japanese Mountains in which climate is warmer and wetter than Hidaka Mountains. Accordingly, the writer owed their origin mainly to the increase of the precipitation. Regarding age of them, the writer inferred tentatively 1,500 years B. P. and 500 years B. P. Basis of that inference is the paleolimnological data indicating wetter climate by ignition loss and residue ratio and by pollen diagram (AP:NAP) and also cooler climate by the low amount of calcium carbonate. In addition, wood found in the outwash deposits of Shirouma Kitamata gave data of 520 ± 80 years B. P.

Although the existence of pluvial climate in the age of several thousands years ago is also shown in the diagram of Biwa-ko, advance of glaciers in that time must be reexamined since the amounts of calcium carbonate suggest considerably high temperature during the Hypsithermal Interval in the Japanese Islands.

1. は し が き

地質時代の最後を劃する第四紀の長さは、古生物学、古地磁気学、岩石の年代測定の資料により、過去200～300万年といわれている。この第四紀を二分して、現在より遡ること約1万年間を沖積世、その以前の大部分の第四紀を洪積世と呼んでいるが、この洪積、沖積の境界はかなり曖昧なものである。すなわち、洪積世を特徴づける一大事変として、氷河の形成があるが、洪積世を別名、氷河時代と呼ぶように、一般には4～5回の大きな氷期があったといわれ、ベンク、ブリュックナー以来の、ドナウ、ギュンツ（ネブラスカン）、ミンデル（カンサン）、リス（イリノイアン）、ヴェルム I（ウイスコンシン I）、ヴェルム II（ウイスコンシン II）の欧米の呼称（括弧内は北アメリカにおける呼称）がこれに当たるが、最後の大陸氷河融解を伴う気候暖化の始まりが、洪積・沖積世の境界とされている。しかしながら、グリーンランドや南極大陸は未だに大陸氷河におおわれていて、上の沖積世の定義に当てはまらない。従ってこの境界は極めて便宜的なものといえる。

ところで、これらの大陸氷河は、約1万年前に中緯度（たとえば北アメリカの五大湖域）より後退して、今日のグリーンランドや南極大陸へと単に縮小しただけであろうか。この点について先ず疑問を投じたのは

Matthes¹⁾である。彼は合衆国西部のシェラネヴァダ、カスケード、ロッキー山地における地形学的証拠に基き、それらの圏谷氷河の大部分、恐らく全部は最近における生成と考え、後氷期における氷河進出の問題を提示した。その進出時代について、彼は直接的証拠を欠くことから、アラスカとカナダ国境に近い Bear River のデルタの進出度や、南オレゴンの湖水中の塩分含量、Owens 湖の堆積物等の証拠に基き、冷涼湿潤気候が約4,000年前に発生したと考えたのである。これは正に卓見であって、氷河地質学史上、特記すべき業績といえよう。更にその後の地質学的調査の進展によって、カナダ東部のラブラドル半島付近も、4,000年前に再進出した大陸氷河に被われていたことが明らかとなり、大西洋を越えたヨーロッパ大陸にも同様な事実の存在することが判明した。

一方、筆者は日本の湖沼沿岸にみられる湖岸段丘の地学的性質を調べてみて、それらの湖面低下は単に排水や地殻運動の結果生じたものではなく、気候変化(気温の高低、降水量の増減、または蒸発量の増減、またはその両者)の要素のかみ合さっていることを発見し、その時代を沖積世中～後期に帰した^{2)(注)}。ともあれ、太平洋を隔てたアジアの東側にも、コルディレラ山脈と同様に、後氷期中に多雨期の存在したことが認められるのである。

1959年、筆者は、American Geographical Society, Southern Chile Expedition の一員として、南半球の氷河、湖沼の調査に着手した。その目的の一つに数えられるものは、南半球の氷河の進出が果して北半球と同時に生じたか否かを解く鍵を見出すことにあった。この問題は、既に北ヨーロッパの学者によって古くからとり上げられ、北欧の antipodes に当る南米南部にスウェーデン、フィンランドの氷河地質学者が何回にも亘って、大規模な探検隊を送った所以もそこにある。そして大筋では、北ヨーロッパと平行して、氷河の進出、後退の生じたことが認められている。しかしながら、これらの北ヨーロッパの学者の諸報告^{3)~(8)}を読んでも、筆者には首肯出来ない点が幾つかある。大局的に見る限りにおいては、こうした気候変化は、両半球を通じて Synchronous であろう。しかし細かい時間のズレは存在しないのであろうか。また対比の方法は、当時としては止むを得なかったとはいえ、火山灰を用いる tephrochronology や glacial varve に依存したことは今日、再検討を要しないであらうか。こうした点に筆者は疑義をさしはさんだ。短期間ながら、我々一行の調査の結果、アンデス氷河は4,000~5,000年前にかなり大きな進出をしていることが、モレーン中に含まれている有機物の C¹⁴ 測定結果から判明した。北半球との時間のズレの詳細については未だ論ずるに至っていないが、この問題については、海流、卓越風、山地地形などをもっと詳しく調べてみなければならぬ。

さて日本と欧米とを比べてみた場合に気候変化の足どりは如何であらう。巨視的に見る限り、両者において平行した変化が生じているとみなされるが、これを細分してみる為、筆者は余呉湖湖底堆積物を分析した際、窒素量の変化から湖面高度の fluctuation を推定し、欧米の recurrence surface と比較した⁹⁾¹⁰⁾。その結果、日本では北ヨーロッパやアラスカよりもやや(300年位)先んじて、降水量の変化の生ずることを注意した。そこで若し、後氷期の氷河進出が欧米で確かめられているように、高温期中の降水量増加で生じたならば、日本の山地にも、欧米よりややずれて氷河の形成が起ることが考えられる。これについては、筆者以前に言及した人は恐らくあるまい。すなわち、低位置氷河説はしばらく措くとして、日本の高山域の氷河によるカール(圏谷)、モレーン(堆石堤)の形成、あるいはそれに対応する glaciofluvial deposits 等は、ヴェルム氷期、あるいはリス氷期にまでさかのぼって考えられてきた。しかしそれらの時代論は確たる証拠の上に樹立されたものではないといつてよい。まして後氷期の氷河進出などについて論ぜられた論文は殆んど無かったのである。

筆者が過去10年来のフィールドデータに基き考えるところでは、日本にも欧米の Neoglaciation¹¹⁾に比せらるべき最新氷河進出期が存在していたものと思われる。Neoglaciation とは、いわゆる後氷期の高温期(Hypsithermal Interval, 5000~8000年 B. P.)中に、温度上昇により縮少した氷河が2,600~2,800年

(注) 但しその後の C¹⁴ による年代測定資料の集積により、時代論の一部は訂正する必要が生じた。

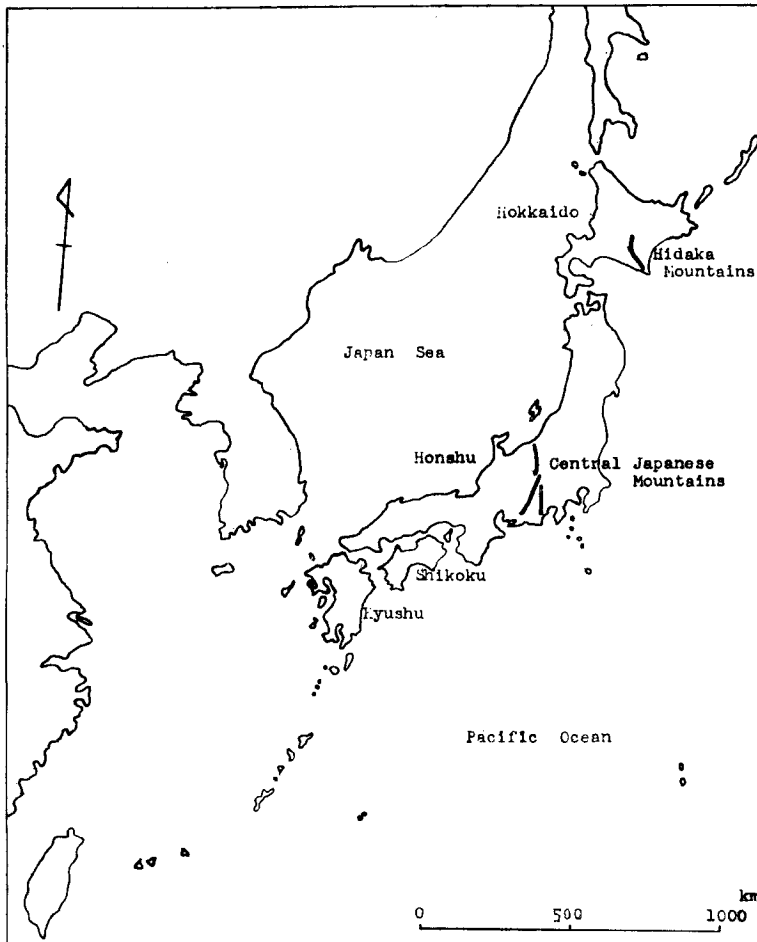


Fig. 1 Map showing the location of the glaciated districts in the Japanese Islands.

前^(注)、この Hypsithermal の終末と共に氷蝕域を拡大したことをいう。そして一般に、18世紀に至って最大の氷河進出が生じたとされている。

以下、日本の氷蝕域について、筆者の従来^(注)の調査結果を述べてみよう。

2. 日本の氷蝕域の特性

筆者のこれまでに踏査した日本の氷蝕域は、飛騨、木曾、赤石山脈のいわゆる日本アルプスと、北海道の日高山地である (Fig. 1)。これ以外には確認された氷蝕域は日本には存在しない。筆者はこれら高山の氷蝕域の殆んどを調べたが、ここには特に Neoglaciation に関係の深い例の幾つかをとり上げてみよう。上記の氷蝕地域の地形、時代論の詳細については、何れ別紙に報告する予定である。

(1) 槍 沢

横尾小屋より上流はずっと氷蝕谷形であるが、地図上に赤沢岩小屋として示されている地点付近より、少

(注) しかしこの時期も各地で不同であり、高緯度地域程、早く表われている。

くとも左岸は急斜谷壁で、U字谷の疑を示している。しかし明かなモレーンはこの付近には発見出来ない。槍沢小屋のあるババ平付近で、初めてモレーン（Iに相当）が現われ始めるが、モレーンの頂の巾は数10 m で上流から下流へのびる長さは100 m 近く、下流よりの比高は数10 m でモレーン頂は平坦である。本モレーンは下流より見ると、樹林の間に谷を塞ぐように位していることが認められ、御山谷モレーンを連想させる。モレーン頂を流れる沢は、僅かに1~2 m 刻むのみで緩かに流れているが、モレーン先端よりは比高数10 m の早瀬、急流となって落下している。このように、モレーン開析の僅かなこと、及び岩塊礫が一般に小さく、数10 cm 大のサイズを主とすることは、あるいは古いモレーンが現河床礫でカバーされているものかとも考えられる。植生は喬木におおわれている。槍沢小屋付近では谷は広く、また明るく、U字形を示して兩岸共にきり立っている。前述のように、これは地図上の赤沢岩小屋付近の地点まで続くが、一般に兩岸の崖錐はよく発達していて、厚さも100 m 以上であり、U字谷形成以来、かなりの時間の経過していることが注意されよう。

槍沢が東西方向に転向する付近より槍沢小屋方面を遠望すると、小屋より200 m 上流までは川は蛇行しているが、それより上部では河床傾斜は増加し、やや急流となり川巾も狭くなって、氾濫原は存在しないことが認められる。U字谷形は依然として兩岸に連っている。この付近の崖錐の厚さは30 m 以上あり、河床に面する高さ約20 m の崖でみると、2~3 cm 大のものも含む雑多な亜角礫より成っている。樹林のために、明らかなモレーン平坦面は認め難いが、この崖錐状地形は、1モレーン上を崖錐が覆ったとみなされ、モレーンIIに相当するといえる。長さは川に沿い100 m 近い。上に述べたモレーンI及びIIは、槍沢、中の岳、天狗原よりのびてきた各氷舌が合流してつくった合成モレーンであることを特に注意しておく。

上記の変向点より上流、中の岳モレーンまでの間は、河床は急傾斜を保つ。中の岳から延びてきたこのモレーンはIIよりの水平距離200 m、比高は数10 m の地点にあり、長さ250 m、東に面する三日月形で、内部は岩塊礫から成っている。高度は約2,300 m である。このモレーンの下部には、川の下流に向い、長さ数10 m の緩斜面があり、モレーン頂よりの比高は30 m で、草におおわれているが、モレーンサイズ、横断面、縦断面などを地形的に検討すると古いモレーンが新しいモレーンで部分的におおわれた複合モレーンのようにみえる。この複合モレーン（III・IV）には沢の侵蝕が殆んど及ばず、三日月形の先端に僅に浅い沢の谷頭が及ぶ位である。本モレーンはハイマツや灌木におおわれている。

高度2,500 m 付近にある大槍モレーンは、安山岩等の岩礫より成り、東南に面し70 m を越える比高を以て下方の沢に臨み、長さは100 m 以上、モレーン頂は多少の起伏を有するが巾10 m 近く、ハイマツや小灌木、草におおわれた大小の雑然たる岩塊礫が堆積している。本モレーンには未だに沢の侵蝕は及ばず、原形はよく保存されている。大槍モレーン下部には、ハイマツや灌木におおわれた基盤岩石が存在し、ルンドヘッカーの性質を見えている疑がある。またこの大槍モレーンよりも数m以上高い1モレーンが大槍モレーン上につっており、モレーン頂の巾は数mで、槍沢の西南部、中の岳寄りからの氷舌で形成されたらしく、この大槍モレーンは大氷舌分裂後、槍沢に残された複合モレーン（III・IV）と思われる。水蝕は本モレーンには殆んど及んでいない。上記の中の岳よりの複合モレーンにしても、この大槍の複合モレーンにしても、モレーンI及びIIに比べ、著しい氷舌の縮少、各支谷への氷舌の分裂、後退を示している。

上の大槍モレーンより比高20 m 程上方で、水平距離数10 m の地点に1モレーンがあり、モレーンVに相当する。長さは数10 m で谷を塞ぎ、巾は約30 m であるが可成りの起伏を有していて独立モレーンとしては不明瞭なものである。組成は、数m大のものも含む雑多な岩礫のみより成り、僅に草が点在し水蝕は及んでいない。ここには坊主岩小屋の跡がある。更に本地点より15 m 程上方に、僅かに草におおわれ、長さ数10 m、巾数mで下流に面して尖る雪蝕モレーン形の存在が認められるが、これがモレーンVIに当り、微弱な水蝕または雪蝕を示す。沢の侵蝕はやはり未だ殆んど及んでいない。

このVIモレーンより水平距離約100 m、比高100 m の位置にモレーンのようにみえる地形があるが、これはカール底先端に存在するもので、カール底から見るとモレーンとしての地形は示していない。植生は僅かな草のみで、数m大のサイズも含む雑然たる岩塊礫が堆積し水蝕を受けておらず現雪蝕モレーン（殺生モ

レーン)と判断される。本カールは、長径 100 m 以上、奥行は 100 m 近く、カール側壁の崖錐はかなりよく発達している。

(2) 白馬嶽北股

金山沢の直ぐ南の丘陵は、馬尻小屋と猿倉との中間付近、河床高度 1,300 m 付近にあり、下流に向い約 400 m 長くのびて緩斜し、登山路の対岸に位置している。丘陵基底は川に沿い 200 m 近く連り、河床よりの比高は数 10 m で、雑多なサイズの岩礫より成るらしい。下方には、約 15 m 程の高さの基盤岩石の露頭があり、川はこの付近で小さな峡谷をつくっている。この付近の北股の川巾は、数 10 m 位である。氷蝕谷の地形、丘陵の形態、構成物質からみると、これは一大モレーンであって、モレーン内側の急傾斜地形及び弧形は、今日、金山沢側によく保存されているが、恐らく本モレーンは、金山沢と北股との合成モレーンで、北股の部分は河蝕で消失したのであろう。ところで本モレーンは、これをよく見ると 2 モレーンの複合とみなされる。即ち基底の東南半、長さ 200 m と、西北半、長さ 200 m とであって、その境の谷地形は、他には谷が見出されないから、後成的な谷ではなく、モレーン長軸に平行するこの凹地はモレーン I と II との接触部に相当するとみなされる。I も II も頂高は略等しく、I の進出が II よりもやや大きかった程度らしい。I と II との開析度が余り異なることは、両者の時間的間隔がそれ程長いものでなかった故とみなされ、これは剣沢、槍沢、御山谷でも同様である。なお、河床傾斜は、I の側面より急になり、深い谷形を示している。I の基底にも、また、基盤岩石が露出している。

馬尻小屋北方のロプウェイ台上より遠望すると、小屋南方の緩斜面は 1,600 m 高度付近より、U 字谷状の広い谷に沿い傾下し、地形的に金山沢のモレーン II に連続する側堆石であって、河岸段丘ではなく、この側堆石が金山沢出合で端堆石をつくったのであろう。この側堆石はまた、モレーン I と II との複合である可能性がある。この側堆石頂の緩斜面は、次に述べる III・IV モレーン頂の緩斜面と平行して下流へ向い傾下しているが、数 cm ～ 数 m 大の雑然たる角礫層から成り土壌化がかなり進み、灌木がよく発達している。しかし左岸にはこの地形は保存されていない。本モレーン内側に、下流へ向い小屋付近で急斜し(馬尻小屋直下の

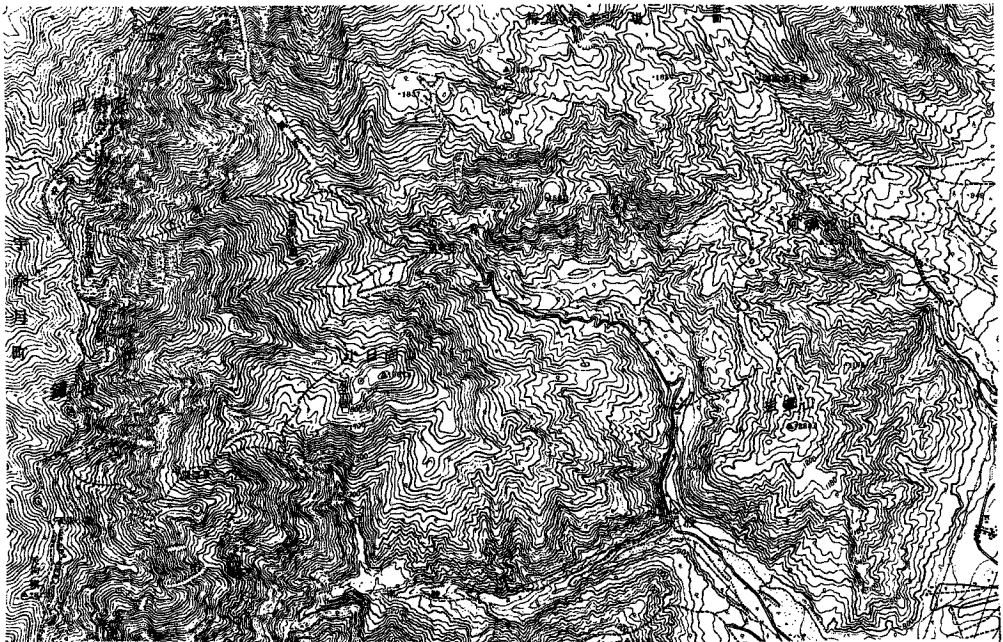


Fig. 2 Map showing the geomorphology around Mt. Shirouma-dake.

登路は、モレーン前面の急斜面を登るもので、ここのモレーンの厚さは数10mに及ぶらしい)、上流に向っては極めて緩かに数100mにわたり、V字形谷入口まで長くのびるモレーンがある。この頂高度を調べてみると、白馬沢口を扼する弧状モレーン頂高度と等しく、これはモレーン順位よりⅢ・Ⅳとみなされ、Ⅰ及びⅡの時代の氷河の著しい進出後、氷舌が大雪渓と白馬沢とに分離したことより生成したモレーンであろう。本モレーンは大雪渓では川により細長く二分され、川の兩岸にモレーン頂が段丘状を成し、雑然たる角礫層より成り、川よりの比高10~15mを馬尻小屋上方で示す。馬尻小屋直下で大雪渓下流の侵蝕は復活点の存在を示しており、谷底は急に数m以上深くなり、白馬沢に対して瀑流、早瀬をつくっている。

大雪渓の上記のⅢ・Ⅳモレーンの前方は低い緩斜面で、Ⅱの内側とⅢ・Ⅳの前方との間に生成されたoutwash plainとみなされ、fluvioglacial depositsの面であろう。本面中には、白馬沢よりの水量の増加によって広い谷底がつくられている。馬尻小屋下の道傍には高さ1mの崖があり、側堆石内側の堆積面を切っている。この中には地表から30cmの深さに埋木があり、細礫で埋められているが、筆者の採取したこの埋木の年代は 520 ± 80 年B. P.を示した¹²⁾。この事実は、 520 ± 80 年B. P.には余り大きな氷舌ではなかったにせよ、outwashをつくるような氷舌の進出が高所で行なわれた可能性を示すといえよう。

この付近のU字谷形は白馬沢付近にかなり顕著であるが、白馬沢付近ではモレーンの弧形が明瞭で、今日、白馬沢に切られている兩岸のモレーンは、曾ての一連のモレーンであったことが首肯出来る。本モレーンの河床よりの比高は50m位であるが、下半は基盤岩石、上半は角礫層より成るようである。本モレーンの長さは200m近く、内側は急傾斜で外側はかなりの緩傾斜である。

馬尻小屋より更に大雪渓を登ってゆくと、谷がV字形になる付近より水平距離100m西方で、高度1,650m位の地点に、谷を堰止め、その北半は川の侵蝕により失われたモレーン状の丘がある。丘の前面は急斜し、河床よりの比高は30mで小山状にそびえ、弧形は示さず、谷壁に接する付近だけは植生におおわれるが、頂は岩屑が卓越し貧弱な植生しか有していない。現存する長さは40m位であるが、曾ては80m程度の長さを有していたのであろう。何れにしても、このV字谷中に収まってしまう位の小さなモレーンサイズを示すことは注意を要する。組成は、数cm~数m大の雑然たる角礫で、この中にも流木の存在が認められた。本丘を筆者はモレーンVとしたが、前述した側堆石、Ⅲ・Ⅳモレーン共に、この谷の下端より内部には続いていることは、注意を要する。

更に上方にはⅥモレーンがあり、谷を堰止めて大檜モレーンと類似した地形を示すが、これは菰平付近に当る。モレーン高度は2,200m位である。モレーン前縁には谷が入り込んでいるが、下方侵蝕による谷は本モレーン頂には達せず、モレーン中部からの流れが多い。モレーン前面の厚さは100m近く、巾は数10mで、下流に向い急斜し、数cm~10m大の雑然たるangular boulderより成り薄く草におおわれている。また本モレーン上部はルンドヘッカー状基盤岩石で、下流に向い急斜する。菰平より上方、白馬側では頂上ホテル直下の白馬側カールの巾は数10m、長さも数10mを示し、緩斜面で檜ヶ岳頂上小屋直下の檜沢カールと類似した地形を示す。ここには特に現雪蝕モレーンは発見されないが、菰平より上方の杓子側には2列の現雪蝕モレーンが相接して存し、この上は植生にはおおわれておらず生成時期の極めて若いことを暗示している。

(3) 荒川中嶽

南アルプス(赤石山脈)の荒川中嶽には、上に述べてきたような各モレーンの諸関係がよく保存されている。中岳カール底は、約2,800mの高度を示し、東南に面していて、長径60m、短径30m位のサイズである。ここのⅡモレーンは東南に面し、長さ70m、巾10m位で、モレーン内側からの比高は5mあり、3m大のサイズも含む大小雑然たる堆積物により半月形をつくっている。本モレーンの厚さは100mはあろう。その位置はカール口の東側に寄っていてカール全体に対しては偏った位置を示す。このモレーンの東端には、巾10m以上の沢の谷頭が切りこんでいるが、原形はよく保たれている。モレーン上の植生はかなり発達しているが、尾根部の植生よりは余程、若いことが注意されよう。本モレーンより下方は水蝕谷形である。

IIモレーンよりも水平距離 100 m 内側には III・IV の複合モレーンがあり、そのモレーン頂とIIモレーン頂との比高は、約 70 m である。モレーン頂の巾は 3 m にしか過ぎず、長さは 40 m、露岩屑とハイマツとでおおわれている。モレーン組成は 3 m 大のものも含む大小雑然たる堆積物で、IIモレーンに向い急斜する地形を示す。本モレーン頂は、沢に刻まれ、その深さは 15 m あるが、この右岸には基盤岩石の露出していることが認められる。

次にVに相当するモレーンは、南北にのびる 2 グループがあり、各モレーン頂の巾は数m、長さは 30 m ずつで、西方のグループではモレーン頂とモレーン西側との比高は 3 m、東方のグループでも同じく比高は 3 m で何れもモレーン頂は岩屑、斜面はハイマツにおおわれている。また、III・IVモレーンを切る沢の谷底の巾は 10 m 程であるが、この中には西方グループに属するモレーンVが長さ 10 m 近くい込み、この事実はIII・IVモレーンとVモレーンとの形成の間に、深さ 15 m 土、巾 10 m の沢を刻みこむ丈の時間的間隙の存在したことを示す大事な資料である。また III・IVモレーンとVモレーンとは略直交し、これはIII・IVがカル内一杯に占めた氷舌によって形成されたモレーンであるのに対して、Vはカル内に生じた氷舌の著しい縮少の結果、小氷舌に分裂して形成された独立分離のモレーンであることに起因する。西部のVの直ぐ内側に、巾3 m、長さ 10 m 位で草におおわれた岩礫が見られるが、これは今日より少し古い雪蝕モレーン及び現在の雪蝕モレーンであろう。この背後に、Vより水平距離 25 m 程でVIモレーンがあり、相互のモレーン頂の比高はカル先端付近で 3 m 程を示している。このVIモレーンとカル壁との水平距離は 10 m にしか過ぎず、涵養域の極めて小さかったことを示す。このモレーン頂の巾は 3 m、長さは 35 m で、モレーン内側よりモレーン頂までの比高は 2 m、モレーン外側よりモレーン頂までの比高は 6 m である。

東部の VI モレーンの中、南部にあるものはモレーン頂巾数 m、長さ 20 m で V モレーンの内側より 5 m 程高い。構成岩礫中には 3 m 以上のサイズも含む。この東部のVIの中、北方にあるものは、巾数 m の凹地で 2 分されているが、モレーン頂の巾は数m、長さ 10 m でモレーンの内側及び外側よりの比高は約 3 m である。当地点ではV～VIの水平距離は 5～8 m で相互のモレーン頂高度はカル先端では等しいが、カルの奥に行くに従って、2 m またはそれ以上となる。この東部のVIとカル壁との水平距離は 10 m 位で、涵養域は小さい。VIには一般にハイマツがよく着生している。

V, VI両モレーン共に何れも水蝕が及ばず、新しい時代の生成を示すことは重要である。

(4) ペテガリ岳

筆者のこれまでの踏査結果に基くと、日高山地には、ボロシリ、トツタベツ、エサオマントツタベツ、ナメワッカ、春別、カムイエクウチカウシ、シビチャリ、ペテガリ等の山頂及び周辺に氷蝕地形の保存されていることが認められる。筆者はこの日高山地と、中央日本山地との氷蝕地形を比較して、そこに大きな差違の存在することを見出した。その一例として、ペテガリ岳周辺の氷蝕地形を述べよう。

ペテガリ岳 (1736.2 m) 周辺には三つの立派なカル地形が発達している。サイズの順に南からAカル、Bカル、Cカルと呼ぶ。Aカルはカル壁地形が明瞭で、また、極めて著しい2組のモレーンがある。そのうちの下方のモレーンは、谷に急に落ち、少くとも 200 m の比高を有している。これはカル底を占めた氷舌のサイズ、モレーンの開析度、また次に記すような分裂氷舌により押し上げられたモレーンの存在等から考えると、日本アルプスのIIモレーンとIIIモレーンとの複合モレーンとみなされる。この大モレーンの内側のカル底には、略中央の小丘を間に挟んで2列の著しい凹地があり、IIモレーン形成後、二つに分裂したIIIの時代の氷舌は、カル底をえぐって、2列の凹地をつくり、IIの上にIIIのモレーンを押し上げたと考えられる。更にその背後の高所にはIVのモレーンが保存されている。

Aカルの北側、ペテガリ本峯直下には、極めて明らかな水蝕谷形が山地に深く刻みこまれている。この事実は、カル形成の条件は氷期襲来時の地形に大きく支配されることを示しているもので、氷塊を保持する丈の平坦さを有する前輪廻谷底の存否がカル生成の重要条件であることを反映しているといえよう。

この顕著な水蝕谷に接して、その北にはBカルがあって東北に面し、ここにも著しい2組のモレーンがあり、雪田を抱く下部モレーンの存在は特に明らかである。このモレーンは、エブロン状を呈し、長さ 100 m、

Table 1 Meteorological data of both Central Japanese Mountains (Hida, Kiso and Akaishi) and Hidaka Mountains (compiled by S. Horie from various sources).

(I) Monthly Average Air Temperature (Degrees in Centigrade)				
	Hida Mts.	Kiso Mts.	Akaishi Mts.	Hidaka Mts.
January	-6	-3	-6	-11
February	-4~-6	-4	-4	-8~-10
March	0~-2	0	1	-4
April	4~ 8	6	6	0~ 1
May	10~12	10	12	8~10
June	14~18	16	18	12~14
July	18~20	20~21	21	15~16
August	18~21	20	22~23	20
September	14~17	16~17	18	14
October	8~12	8	10	6~ 8
November	2~ 5	4	6	0~ 2
December	-2~-4	1	-4	-4~-6
Average	6~ 8	8	8	4

(II) Monthly Total Precipitation (Degrees in Millimeter)				
	Hida Mts.	Kiso Mts.	Akaishi Mts.	Hidaka Mts.
January	150~ 300	100	80	60~ 80
February	100~ 200	80	80~ 100	60~ 80
March	180~ 200	100	150	60~ 90
April	180~ 200	200	150	100~ 150
May	150~ 200	200	150	100~ 150
June	300~ 400	200~ 300	250	100~ 120
July	300	250	250	>150
August	150	150	250	150~ 200
September	200	200	300	>200
October	200	200	200	>150
November	100~ 150	100	100	120~ 150
December	100~ 250	100	80	80~ 120
Total	2110~2750	1880~1900	2040~2060	at least 1330~1640

巾は 10 m 近く、沢に急斜する。雪田の巾は 20 m 程で、ここが、旧カル底に相当し海拔高度約 1,340 m を示す。モレーンサイズ、開析度からみると、これは日本アルプスのモレーンⅡに対応する。この 50 m 上方に、1 モレーンがあるが、これは単一氷舌モレーンではなく、大氷舌が二つに分裂して生じたものである。その一方は、長さ 70 m、巾 10 m であることが認められたが、上部のカルもまた、二分しているようである。このモレーンはⅢモレーンに当ると考えられる。このⅢの上方 30 m 程の高さにⅣに相当する一平坦面があり、Ⅲと overlapping を示す疑がある。

C カールは東北に向って開口し、カールの最大巾は 130 m で、平面形は『しゃもじ形』を示し、高度は 1,450 m 程でエサオマントッタベツ岳東方カールと地形的に類似する。カール口の巾は約 40 m で、ここを占める最下部モレーン (A, B カールのⅡに相当) は、谷に急斜し、大きな沢により刻みこまれている。この

IIより25 m上方に、IIIに相当する1モレーンがあり、カール底にのび、カール底としての平坦地形を不明瞭ならしめている。IIIの上方に比高20 m程で、IVのモレーンが存在している。これらのモレーンの中、IIのサイズが最大で、IIIもかなり大きい。IVは急に小さくなる。IIは沢で刻まれているが、III、IVは開析されていない。ここのモレーンの配置をみると、IIは西南→東北に向う氷舌でつくられ、IIIは南→北に向う氷舌により、またIVは西南→東北に向う氷舌により、つくられたものである。Cカールの平面形はBカールの半分位で、氷体の規模によって、カール底やモレーンの高度に差を生じたのであろう。

(5) 中央日本山地と日高山地とのモレーンの差違

以上より見ると、ベテガリ岳のA、B、Cカール共、サイズやカール底高度には差があるが、氷河の伸縮を示すモレーンは、3カールの何れにおいても、II、III、IVの3段を具えているにかかわらず、先に述べた日本アルプスのカールに共通するV、VIのモレーンを欠いている。これは日高山地の氷蝕地域を通じての一般性とみなしてよい。何故このようなモレーンの分布の差を生じたのであろうか。筆者はこの原因を日本アルプスと日高山地との気候学的差違に帰したいと思う。Table 1は両地域の気温、降水量の長年平均を示す資料である。中央日本の緯度は大約 $35^{\circ}20' \sim 36^{\circ}50'N$ であり、日高山地のそれは $42^{\circ}20' \sim 42^{\circ}50'N$ である。両者の差 $6 \sim 7^{\circ}$ は、北半球では温度 $4^{\circ}C$ の差を生ずるとみなされよう。しかしながら、今日の高度分布^(注)に基く限り、日高山地の平均高度は、日本アルプスのそれよりも1,000 m低い。そこで $0.55^{\circ}C/100 m$ のlapse rateを用いてみると、緯度の差から生ずる温度差はほぼ、埋め合されてしまう。日高山地の年平均温度は $4^{\circ}C$ で日本アルプスでは $6 \sim 8^{\circ}C$ であるから、日高山地は日本アルプスよりも一般に、冷涼といつてよかろう。一方、降水量についてみると、日高山地では、日本アルプスの約2/3にしか過ぎない。

このような見地に立つと、日高山地よりも比較的温暖湿潤な日本アルプスにV、VIのモレーンが存しあるいはそれに対応するカール底のexcavationが見られることは、気温と共に降水量が氷河形成の重要な要素である以上、後氷期の小氷舌の進出は、降水量に支配されて生じたのではないかと疑を起させる。若し氷舌の進退が(夏季)気温に支配されるならば、日高山地の方が氷河形成に好都合であるが、事実は逆である。従って多少の気温低下を伴うにしても降水量の増加がV、VIの小モレーン形成に大きく作用したのではないかと、筆者はこれまでの氷河地質学的データに基いて考えている。

以上は筆者の試みた一解釈であって、気候学の見地からすれば、考察の未熟さが多いかと思う。しかしながらHypsithermal中の氷河の消長について、温度と降水量と分離して考える点が強調されていることは十分に注目に値しよう¹⁸⁾。さきに述べた米国西部山地のreborn glacierが、2,000 B.C.の気候湿潤化により生成された事実は、重要な参考資料ではあるまいか。

3. 日本の Neoglaciation

以上筆者は、これまでの筆者の高山地における踏査結果に基き、特にモレーンの位置や高度、モレーンのサイズ、モレーンの河谷による開析度、モレーンの風化度、モレーンと河岸段丘との関係の見地から、次のような中間的結論を得た。

(1) 日本アルプスでは、多くの場合、5段または6段のモレーンを有している。6段の場合は、極めて限られた氷蝕域(槍沢、御山谷、白馬北股、剣沢)にのみ、最大、最古、最下位のモレーンを有しているケースであり、これらの地域では、極めて大きな氷河の進出が行われたことを示している。

(2) I~II、II~III、IV~Vのモレーンの間に著しいtime gapの存することは、植生、土壌の発達度、谷の開析程度などによって示されるFig. 3。ただしI~IIの間隙は、他の2つと比べれば比較的短いと考えられる。

(3) IとII、IIIとIVは殆んど同じスケールの氷河進出であるが、この中でも何れも後期の進出は、やや小規模である。しかしIVがIIIの上のり上げ、複合モレーンを形成している例も各地に見られる。VとVIの

(注) ヴェルム(ウイスコンシン)氷期中の正確な山地高度を推定することは不可能である。

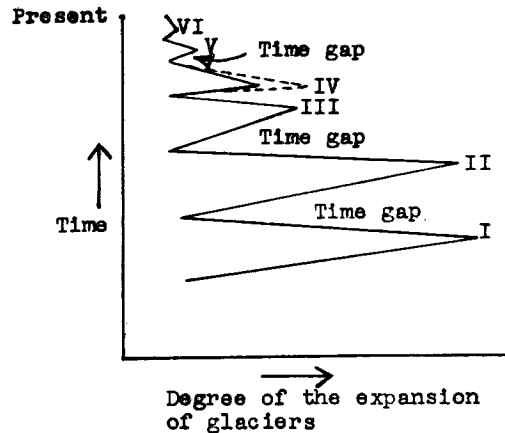


Fig. 3 Curve showing the Pleistocene glacial fluctuations in the Japanese mountains (drawn by S. Horie from his field evidence; After Horie 1965¹⁴⁾)

氷河進出もほぼ同程度であるが、VIモレーンをつくらない程度の微弱な氷蝕の跡が、カール底の excavation として残されていることがある。

(4) I, IIの氷河進出によって、カールから溢出し、あるいは氷河谷一杯を占め単一の大モレーンを形成した氷体は、時代が進むに従って小規模となった結果、カール内に氷舌が収ってしまうか、或いは、カール内で氷舌が分裂して各谷系上方に、より小さなモレーン群を残すことになったという特徴がある。また、日本アルプスでも、若いモレーンを欠く場合があるが、これはカールが南面していたり、降水量受入れにとって不向きな谷形である場合にみられるようである。

(5) I～III (IV) までは川に刻みこまれていることが多いのに反して、V, VIは殆んど開析されておらず、モレーン上の植生も貧弱で、この最上部の2モレーンの時代は極めて新しいことを示している。また、この2モレーンの開析度や植生に殆んど差の無いことは、両者形成の時代の接近していることを暗示する。

(6) 一般に、日本アルプスでは具えているV, VIモレーンを日高山地に欠くのは、後氷期の2回の氷河進出は、多少の気温低下を伴うにしても、降水量増加に主因があるものと考えられる。

(7) 筆者は試案的に、日本のIVモレーンを北米の Valders readvance, 北欧の Younger Dryas に、IIIモレーンを北米の Port Huron readvance, 北欧の Older Dryas に対比し、IIは北米の Classical Wisconsin Maximum, ヨーロッパの Brandenburg drift に対比した。また、御山谷、白馬北股、槍沢にのみみられるIモレーンは半米の Iowan advance に対比した。以上を2グループ (I及びII～VI) にまとめてみるならば、サンガモンあるいはリス/ヴェルム間氷期後の2氷期、すなわちヴェルムI, ヴェルムIIが日本にも存したことを暗示しているといえよう。

ところで Neoglaciation に属するV, VIモレーンの形成当時の気候を reconstruct し、世界的規模で過去1万年間の気候史を樹立することは、日本のように氷蝕域が高山地のみという極めて貧弱な分布しかしておらず、山地と海岸段丘とを結ぶ河岸段丘もまた、貧しい地域では、欧米の第四紀よりも遙かに難しいことは言を俟たない。そこで筆者は湖成堆積物の層位学的分析、すなわち、古陸水学的研究により、この難問題の打開を試みた。欧米の湖沼のように、湖成堆積物下に年代の判明している氷河堆積物の存在により湖沼変遷史の基礎となる時代を決めることが可能な地域、米国西部のように気候変化に対して敏感な乾燥地の湖沼とは異なる日本の湖でも、C¹⁴ により湖底泥の年代測定が可能になった現在、絶対年数による世界的な湖成層の対比が出来るようになったことは大きな幸である。

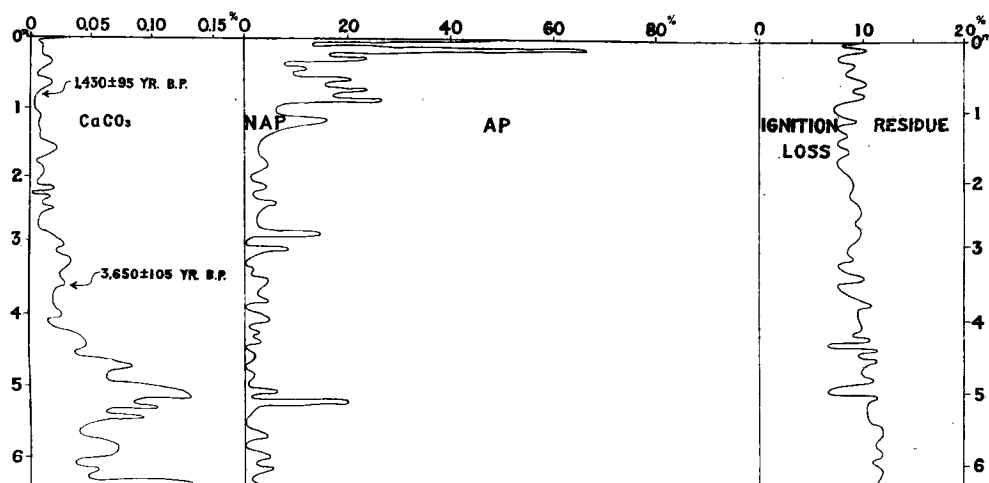


Fig. 4 Paleolimnological data on the core sample of Lake Biwa-ko

1965年、筆者は琵琶湖湖心部、沖の島と近江舞子中間の深度 70 m の地点で、ボーリング作業を実施し、その各種分析結果は既に報告したが¹⁵⁾、Fig. 4 にはそれらの資料の中から、古気候に関連深いものを取り上げて、絶対年代と共に示した。CaCO₃ は、高温下程、より多く堆積することから、古気候の指示者として挙げ NAP (草本) と AP (樹木) との花粉の割合は、人為的影響を別とすれば、乾湿の指標となる点、掲げた、すなわち、高温、多雨は AP の増加、低温、乾燥は NAP の増加を生ずると思われるが、しかし極地方からはかなり遠い日本の場合には、AP の発達を妨げる程の低温が生じたとは考えられないから、AP の%の低下を生ずるには乾燥化の影響が大きいと考えられる。また灼熱減量によって表される有機物量は、高温時には湖中の生物生産力の増加、湖周よりの有機物供給によって増す反面、residue は降水量の増加により河口からの無機物流入の結果増加するとみなされるから、灼熱減量と residue との比は、温度と降水量との組合せによって決ってくるといえる。

Fig. 4 を大観して先ず気がつくことは、5 m 付近の層準に CaCO₃ の含量の極めて多いことである。この事実は、後氷期の高温期 (Hypsithermal Interval) がアジアにも存在したことを明示する新事実といえよう。恐らくその時代は今から 5,000 年位前のことと考えられる。更に 2.8 m 付近より上部に CaCO₃ 含量の急減することは、欧米では今日より 2,700 年位前で Hypsithermal Interval が終り、コルディレラ山地での氷河の拡大が生じたこととほぼその軌を一にしている重要な事実である。

また Residue は 3 m より上方に増加しているがまたその著しい増加が 4~5 m の層準に生じていることは、数千年前にかなりの多雨期が存在したことを暗示する。なおさきに筆者は、余呉湖堆積物の古陸水学的研究の結果、この時代に氷舌の形成を考えた⁹⁾¹⁰⁾が今回の CaCO₃ の新資料により、当時の気温は、日本でもかなり高かったことが判明したので、この数千年前の多雨期によるモレーンの形成は、別の観点から再検討を加えたい。また若し当時、微小なモレーンが形成されたとしても、後期のより大きな氷河の形成、進出により以前の堆積地形は破壊されて痕跡を止めなくなることも考慮しておきたい。

一方、NAP: AP については、AP の優勢が 3 m 以下に認められる。

そこで、ここに掲げた 3 種類のダイアグラムについて、主題とする日本の Neoglaciation の時代の推定を論じてみよう。氷河の形成にとっては、温度上昇がかなり著しいと、たとえ多雨であっても不利であろうし、また温度は低下しても寡雨であっては、同じく氷化は生じ難いと思われる。従って先に述べたように、多雨化が日本の Neoglaciation の原因としても、ある程度の温度の低下を伴わなければ氷化には至らないと思われるが、両者の関係をここに数値をもって表すに至らないことは筆者の遺憾とするところであ

る。

さて第1に Residue より見ても, NAP: AP より見てもかなり湿潤で, 第2に, しかも CaCO_3 含量からもかなり低温な層を求めてみると, 1 m 付近と 0.3 m 付近とにある。NAP の上方における急増は別紙に述べるように, 人類による森林伐採, 穀物耕作の開始によってかなり影響されたとみられるが, その中で NAP のかなり低い値が CaCO_3 含量や Residue の傾向と一致することは, 1 m 付近 (約1,500年 B. P.) と 0.3 m 付近 (約500年 B. P.) に氷河形成に好都合な気候条件の存在した疑をより強めさせる。特に荒川中嶽の例で強調したように, III, IVモレーングループと, V, VIモレーングループとの間にはかなりの時間的間隙があり, この極めて新鮮なV, VI両モレーンの形成時代の接近している特徴も, さきの中間的結論の(5)に述べた通りである。これらの諸事実を考え合せると, 日本でも世界的な気温低下の波と大凡, 歩調を合せて, 2,700年 B. P. 頃より気温の著しい低下が生じ, 降水量増加期がそこに挟みこまれた1,500年 B. P. 及び500年 B. P. 頃に, 万年雪の氷化, 小氷河の形成が行なわれたことが推定される。白馬北股の例で述べた埋木の年代 (520±80年 B. P.) が, ほぼこれと一致し, また諏訪湖結氷記録よりも, 1400年代の日本が厳寒多雪であったと推定される資料の存在¹⁰⁾は, 極めて興味深いものがある。

4. あ と が き

以上筆者は, これまでの氷河地質学的研究資料と, 琵琶湖堆積物の古陸水学的研究結果とに基き, 日本の Neoglaciation の存在を指摘し, その時代について論及した。しかしながら筆者の古気候学的研究は未だ進行途上にあり, 十分な議論を行なうに至っていない憾みがある。幸い, 1967年秋, 琵琶湖湖心部で 15 m の長さの新しいボーリングサンプルの採取に成功したので, 今後はこの資料の分析に主力を注ぐと共に, 先にも一寸触れた日本と欧米, 特に北欧の気候変化との時間的ズレの原因探究やこうした気候変化を生ずる hemispheric あるいは global な大気大循環の年代学的考察へと歩を進めてゆきたい。

参 考 文 献

- 1) Matthes, F.E.: Glaciers, in Meizer O.E., ed., Hydrology. New York, Dover Publications, 1949, 149—219.
- 2) 堀江正治: 気候変化と湖水の汀線, 科学 第27巻, 1957, 463.
- 3) Auer, V.: Wissenschaftliche Ergebnisse der Finnischen Expedition nach Patagonien 1937—38 und der Finnisch-Argentinischen Expeditionen 1947—53. The Pleistocene of Fuego-Patagonia. Part I: The ice and interglacial ages. Ann. Acad. Scient. Fenn. Ser. A, III, 45, 1956, 1—226, Helsinki.
- 4) Auer, V.: Wissenschaftliche Ergebnisse der Finnischen Expedition nach Patagonien 1937—38 und der Finnisch-Argentinischen Expeditionen 1947—53, 1957. The Pleistocene of Fuego-Patagonia. Part II: The history of the flora and vegetation. Ibid. 50, 1958, 1—239, Helsinki.
- 5) Auer, V.: Wissenschaftliche Ergebnisse der Finnischen Expedition nach Patagonien 1937—38 und der Finnisch-Argentinischen Expeditionen 1947—53, 1957. The Pleistocene of Fuego-Patagonia. Part III: Shoreline displacements. Ibid. 60, 1959, 1—247, Helsinki.
- 6) De Geer, G.: Lateglacial clay varves in Argentina, measured by C. Caldenius, dated and connected with solar curve through the Swedish timescale. Geogr. Ann., 9, 1927, 1—8.
- 7) De Geer, G.: Gotiglacial clay-varves in Southern Chile, measured by C. Caldenius, identified with synchronous varves in Sweden, Finland and U.S.A. Ibid. 11, 1929, 247—256.

- 8) Von Post, L.: The prospect for pollen analysis in the study of the earth's climatic history. *New Phytologist*, 45, 1946, 193—217.
- 9) Horie, S.: Paleolimnological study on ancient lake sediments in Japan. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 16, 1966, 274—281.
- 10) Horie, S.: Late Pleistocene climatic changes inferred from the stratigraphic sequence of the Japanese lake sediments. *Means of Correlation of Quaternary Successions (INQUA VII Congr. Proc., vol.8)* 1967, Salt Lake City, University of Utah Press.
- 11) Porter, S. C. & G. H. Denton: Chronology of Neoglaciation in the North American Cordillera. *Amer. Jour. Sci.*, 265, 1967, 177—210.
- 12) Kigoshi, K. et al.: Gakushuin Natural Radiocarbon Measurements I. *Radiocarbon*, 4, 1962, 84—94.
- 13) Deevey, E. S. & R. F. Flint: Postglacial Hypsithermal Interval. *Science*, 125, 1957, 182—184.
- 14) Horie, S.: Late Pleistocene glacial fluctuations and changes of sea level in the Japanese Islands and their tentative correlation with oscillations in North America and Europe. *VIth Internat. Quaternary Congr., (Warsaw 1961), Rept., Vol. 1, Commission on the Quaternary Shorelines*, 1965, 175—184.
- 15) Horie, S.: Late Pleistocene limnetic history of Japanese ancient lakes Biwa, Yogo, Suwa, and Kizaki. *Mitt. Internat. Verein. Limnol.* (unpublished).
- 16) 山本武夫：歴史時代における日本とその周辺の降水量の長期変動に関する2～3の考察 第四紀研究 6, No.2 1967, 63～68.