

〔日本山岳会創立110周年記念海外学術登山隊〕

ゴジュンバ水河調査隊 活動報告

大森 弘一郎

【第1章】 発端と経緯

はじめに

当会の初代会長の小島烏水（久太）は、当時、日本の水河地形を考える中心人物であったと言われていた。日本山岳会は地質や水河や生物など、自然科学の分野での貢献も目指していたと見られ、特に水河に対する関心は高かったと思われる。

山はただそこにあるだけだが、その山に向かい、山を通して考え、行ない、感じて、自分に何かを得る。そういうかたちで、人々は山から恵みを受けてきた。言い換えると、

物言わぬ山からの言葉を聞き取って自らに役立てたということになる。こうした考えと同様に、今回も山が人々に言いたいことを、具体的なかたちで聞き取ってみたい、それを水河の変化を通してやってみて役立てたい。小島烏水の時代の人たちと同じ思いの行動を、現代の環境のなかでやりたいと考えた。

この調査と考察においては、自分が測定し、撮影し、また観察した事象のほかに、現代の技術で公開されている豊富な情報を使い、それを組み合わせる利用し、解明に役立てようとした。例えば、デジタルアースの衛星画像であり、気象衛星であり、フォトスキャンのソフトであり、一眼レフの連写機能、GoPro、ヘリコプターであり、水深を測る

簡便な測深器である。これらは今後も簡便に活用できると思われる。

当会の一員として、会と縁の深い水河との関係のなかで、水河からの自然の声を人々への警告として聞き取ること、また水河池の拡大が水河決壊洪水（GLOF）を起す場合には下流域に津波の被害を及ぼすが、これを予知して事前に防ぐこと。これを行なうことは我々の役目であろうと考えた。

我々と縁の深いクーンブの中心にあるゴジュンバ水河は格好の対象であった。さらに思いを広げて我々が直面する地球環境問題に貢献する、それを自分たちのできるなかでやりたいと考えた。

これが創立110周年記念事業への応募の動機であり、このような行動を目指している団体会員である「NPO山の自然学クラブ」を母体とするかたちで活動の申請をした。

これに対して、当会の理解が得られて、記念事業として取り上げられることが決まったのは2016年9月であり、会報で参加募集公告をできたのは11月である。これに20人ほどの関心者が集まってくれた。

その後、資金の不足を埋めるために寄付を募り、多くのご協力をいただき、計画の修正をした。また、流動的だっ

たが自己負担額が増えるかたちの計画に変更し、調査を主目的とする本隊（G隊）の計画を縮少し、サポート隊（S隊とF隊）を計画のなかに据えるようにした。

調査の内容と参加費用に合わせ、参加者が次第に減っていくなかでも計画の準備を進めていた。

その過程で予想外のこと起きた。2月に大森が椎間板ヘルニアになったのだ。これの治癒に対する医師の診断内容により、計画を秋に延期した。当初の参加希望者には申し訳ないことであった。

その後、審査委員小委員会の福岡孝昭氏、三浦英樹氏、神長幹雄氏の工夫と助言もあって、調査を現地調査のみでなく、私にとつて経験の多い空撮に現地調査を組み合わせることとし、参加しやすいように3つの期間の計画に変更した。

隊は空撮で得た資料を使って現地を調べる。そのためには空撮が先でなければならぬが、遅くなると結水があり現地調査に影響する。この「空撮↓現地調査」の条件を満たすため、モンズーンが明けてなお、結水の始まらない期間を上手につかむという難題をクリアすることが必要になる。モンズーン明けに関する過去情報は得られるのだが、水結の情報は少ない。

そこで、過去の気象情報を克明に調べ、経験と合わせて10月12日に日本出発と決めた。日本からのメンバーは3人で、現地参加のシエルバの活動を期待した。

過去の経験

この氷河には、1974年から縁があった。

1974年12月にクインプの上を飛んだときに写真記録を得ていた(P100)。このときの写真では小さい池を数個を探し出すことができた。1992年4月の空撮でも目は池に吸い寄せられた。このときはゴジュンバ氷河のターミナルに大きい池が成長していた。

2007年11月に朝日新聞の武田剛記者が社機で氷河を写していたが、これにも全域は入っていない。前後してS.Thompsonの調査があった。

2009年に現地予備調査を行ない、2010年には空撮を行なった。これらの取得したデータを基礎データとして今回の調査に活かした。

これを整理すると、以下のようになる。

- 1974年12月：大森、GENメンバーでB727空撮
- 1984年：S.S.Thompson 調査
- 1992年4月：大森、PC-6空撮 S.S.Thompson 調査

2007年11月：朝日新聞・武田剛記者、社機で空撮、S.S.Thompson 調査

2009年11月：大森の現地調査

2010年4月：大森・岡内 PC-6空撮 S.S.Thompson 調査

2016年10月：今回の空撮と現地調査

これを池の面積と体積の経過で見ると以下のとおりである。

氷河池の表面積	1974	1984	1992	2007	2010	2016
S.S.Thompson 面積	1	4	6	17	30	約160万㎡
氷河池の体積	不明	不明	不明	不明	不明	不明

全面積での比較が出せないが、ターミナルの池の拡大状況は、S.S.Thompsonのデータとうまく整合している。1974、1992、2007、2010年の記録と、グールアースの2015年の画像に、今回の空撮と現地測深調査を加えて検討し、さらにグールアースの過去データ(2008年まで遡れる)を加えて検討した。今回の空撮と現地での計測結果を次の調査のときの比較に役立てるために、ここに残す。

(今回の調査結果を表に加えると、2010年と201

6年で池面積が減っている、これは画像比較でも明らかで（P95）、これは予測と全く違った。）

計画と行動

リスクと対策

この「山」に「空と水」を加えた、我々にとって未経験の調査に行くことについて、不測の事態の予知と対策を考えていた。その一つは高度順化であり、順化を目的にした行動を重視した。順化に失敗した場合は速やかな下山を考えていた。

医師の同行が得られなかったので自己管理を徹底することを考え、最悪時にはヘリコプター使用を考えていた。ヘリコプターフライトにおいては、天候と雲と風を考えて無理のない飛行にパイロットを誘導をする。

ゴムボートの破損に不安があり、岸への接近時に岩の尖った部分に接触しないように注意する。ボートを出す際は、岸にはシートを敷いて傷を防ぎ、また細かく修理することを考えた。風と波によりコントロール不能とならないよう、天候と風に注意したが、幸いそうした事態には至らなかった。

以上の問題はいずれもクリアすることができた。

なお、ボートについては、次回から2艇方式か無人ボートが良いと思われる。

協力と提供

1、画像の無償提供と活用への期待

今回の撮影画像に関しては、今後の研究のためにすべて提供することにした。申し出があった場合、自由な活用を期待し、200GBのデータ内容のすべてを無加工で提供する。「日本山岳会2016ゴジュンバ氷河調査隊提供」というクレジットだけで無償提供とする。

すでに提供してあるデータには、広島大学・中田高名誉教授と名古屋大学・藤田耕史教授のものがある。

2、撮影物の活用

写真情報は、撮影時に意識したものの数百倍である。カメラという記録媒体が取得した情報は、いかに活用するかで存在の意味が変わる。この空撮は少なくとも2016年10月の時点のものであり、内容にかかわらず今後得られることのないものである。

ゴジュンバ氷河の周辺とターンプについては20161017 00714421～20161018 005113234の中に連続して入っている。フォトスキャンの画像は、パソコンで画像処理をして

みると新しい発見があると思う。

このような画像がこのSSDディスプレイのなかにあるので、それぞれの目的で活用いただきたい。

3、研究者との意見交換

① S.S.Thompson (2012)は、2000年以降年率1割でターミナルの氷河池が拡大している、2009年でその水量は220万 m^3 だと推定している。また、エンドモレーンの落とし口の水路は変動せず、ここから6・5kmの氷河は移動していないから、全長6・5kmくらいの大ささの氷河湖が将来形成される可能性があると指摘している。

幅1kmで、6・5 km^2 となり、その平均水深も50mと見積もって、ヒマラヤ最大級の不安定な氷河湖が将来形成される大きなリスクがあると予測しているが、その池はできず、別のリスクがあることが調査結果の結論である。

② ICIMODには報告を約束しているので報告する。

③ 中部大学隊（福井弘道隊長）とは情報交換をする。現地ではすれ違いになってしまった。

④ 名古屋大環境学部雪氷圏研究所の藤田耕史教授には200GBのSSDメモリーを渡して、今後の氷河解析作業の展開に取り組んでもらっている。

⑤ 防災科学技術研究所（井上公氏）とは情報交換を始めた。

⑥ 中田高先生（広島大名誉教授）には200GBのSSDメモリーを渡して、画像情報解析の指導をしてもらっている。

⑦ 日本地図センターの田中圭氏にはデータの図化の指導をもらっている。

⑧ チャドテンにアメリカの大学が設置した機器は、恐らくソーラーパネルの強い反射だと思えるまぶしいほどの



① チャドテン頂上に光るもの



② 氷河を観察できるチャドテン (5065m)

光が池に届いていた。これは今後の現地の人々への影響が気がかりである。恐らく角度の変更で改善できるので、そのことを設置者に伝えることを考えている。

【第2章】 行動概要

当初の計画と行動内容

行動の概略は、2016年10月12日羽田発、13日～15日カトマンズ、16日ヘリでルクラへ、17日～18日朝空撮フライト、18日ルクラ発、21日クワンデ・ピーク往復、22日クムジュン発、25日タンナ着、26日～29日氷河池測定、30日パンガに移動、31日落ち口調査、11月1日撤収、5日ルクラ着、9日朝羽田帰国。

なお、当初の計画と実際の行動は、以下のとおりである。

- ① 空撮のコースはヘリで1時間の4フライトを計画していたが、3フライトとなり、20分+70分+40分のフライトであった。

- ② GoProによる記録と1眼レフの24mmによる連続撮影は有効であった。

- ③ ゴジュンバ氷河のターミナルの近くにある、氷河池を俯瞰できるチャドテン（5065m）に登り、観測定点

を作ることを予定していたが、空撮の成果が得られたこと、また、アメリカ隊（学校名不明）がこの頂上に観測機を設置したとの情報があり、中止した（P 69）。

- ④ 池にゴムボートを浮かべて行なった氷河池の水深調査は、結水した池があつてすべての調査を行なえなかった。計測できた池も、位置データの記録整理を現地で行なえなかったため、不足部に気づかず、主要な箇所に測定のもれができてしまった。

- ⑤ モレーン端部の岩石採取は、調査地が広大過ぎて期間内の調査は見送った。一方、石が自然に組まれて暗渠になつて水路となつていたのであろう岩の集まりを発見し、水路がどのような形になつているのかのヒントにはなつた（P102）。水の動きの解釈に役立ちそうな白砂の浜があり、これに近寄れたのだが、水の危険を冒してこの砂を採取することまで考えなかった。思えば残念で惜しいことであつた（P 92）。

- ⑥ 氷河から流出する水量の計測は、事前準備がなかったが、工夫で可能になった。

- ⑦ 現場と周辺の空撮は、うまくチャンスをつかめ臨機に対応できた。Agisoft PhotoScanによる解析も活用できた。

⑧ 水深調査で、池が予想外に浅いという立体像を知ることができ、水の経路を考えることができた。氷結している測れなかった池のなかに重要な鍵のあった可能性がある。

行動日誌

難産であった氷河調査がスタートした。

2016年10月14日…ICIMODとエアダイナス
ティー社（ヘリコプター会社）に行く。

15日…足止め。ヘリで上がれるチャンスを逃がす。カトマンズに入ってから2日間天候で足止め。衛星写真ではモンスーンはもう終わっているのだが、ルクラはそうではない。猪熊隆之氏の手報では18日から奥地は良いとのこと。

16日…ヘリで上がる。雲のなかの低空フライトでルクラへ。

17日…早朝6時30分に飛ぶが、ゴジュンバ氷河は雲の壁に遮られて退散。20分フライト。その後、低層雲は変わらないが南が開いていることに着目して、ここから雲上に出て飛ぶことにした。11時15分に離陸。

ゴジュンバ氷河は少し雲が懸かっているが出てくる。上部に行くときエベレスト、マカルー、バルンツェ、アマ・ダ

ブルムの周辺の氷河が眼下ですばらしい。

ヘリはバンクが嫌いで飛行機と違う飛び方になる。その点の理解が必要だが、騒音でも手話のような文話を通じる。（離陸11…15↓着陸…12…25（現地時間）（日本時間は14…30↓15…40で、画像記録は日本時間である。）（11時40分の高度メモは2万4000ft 90 knot）

18日…F隊の最終日、カトマンズに降りたヘリが帰って来られないため、早朝フライトができない。上がってくるのを待つ離陸、ゴジュンバ氷河を十分に見ることができた。会心のフライトであった。これでF隊の目的は十分に果たせた。この結果は次の研究に役立てる。

離陸07…55↓着陸08…35（現地時間）（日本時間は+3…15）（高度メモは最高高度1万8500ft。一眼レフ記録20161017007 144216～20161018005 115228。GoPro 記録106 37961～113 55503）

10時の便でF隊の岡内完治隊員は下山。ルクラの天候回復のなかで、ぎりぎりの行動であった。

G隊・S隊は11時に出発、パグディンまで。次第に飛行の感覚からトレッキングの意識になってくる。

19日…パグディンを7時半ごろ出る。途中、地震で壊れた家がある。急な坂に参る。腹をこわす。ナムチェバザー

ルは中国の温泉街のような風情がっかり。

20日・ナムチエバザール8時半発、ホテル・エベレスト・ビューに12時20分着。下痢は回復。オキシメーターは72〜84、H E Vでは最高92、着いたクムジュンでは76〜86。

21日・順化のためにクワンデ・ピーク(4200m)往復。

22日・クムジュンからドーレへ。今日はテント生活の初日の試運転だ。歩きながら思うことは、高山病で亡くなった友人のこと。なぜビスタリ(ゆっくり)を教えられなかったのか、これからの十数日間、自分もこの教訓を活かしてゆっくり歩こう。歩きながら、空撮で見た氷河の碧い目の池と灰色の目の池は、女神の目なのか魔女の目なのかとしきりに思う。

23日・モン・ラでは400m下の谷の音が凄い。テントの地面が常に振動しているからすごい。この水源を調べに行くのかと思いつつ、そのテントで泊まった。谷のなかで寒いので、8時に早く出る。4000mのシヤクナゲの森を通ってドーレへ。テント泊の2日目、言われていたとおり寒い。朝は快晴。6時半ごろへりが上空を通る。山はまだ朝日の余韻を残している。

小屋には夫婦と子供。モン・ラでは地震でびびの入った



③ 建物に子供2人。大変な教育環境だ。

ドーレに着く12時ごろには雲が湧いてきた。3時ごろは寒い。来る途中にチョ・オユーとモレーンが見えたが、あのモレーンの高度で何時ごろまで池にボートを浮かべられるかと考えてしまう。やたらに奥の細道の言葉が出てくる。

される。好きだった先生の姿も。「月日は百代の過客にして、行き交う年もまた旅人なり——」、なんと覚えていないはずの言葉が最後まで不思議にどんどん出てくる。この言葉のような不可逆の流れの時間のなかに生きる人間を考えている。

24日・ドーレからの道、マツチエルモで、テント場に着いて書いたもの。「今、送電のないところにいる、そこでもなんとWiFiはある、数日前にWiFiを開いてみたときに、たまった迷惑メールに回線が長時間使われたのが恐

ろしく、電池対策はあるが開けない。」

ここは標高4410m。地球温暖化でのヒマラヤの水河縮小など、陸上の水ストックが海に流れて海面上昇になるのか、さらに水循環がいろいろと変わって異常気象になったり何が起きるか、などと考えたり頭脳は働いてくれる。

25日・タンナ／4700m。パンガから下に降りた所に橋があったはずだが、毎年橋を架け替えて、今はパンガの上流に移動していた(P103)。噴出した水で洗われたらしい岩を見る。岩に生える地衣類の様子から、この発生が数十年昔だとすると、1992年の写真以前のことになる。そんなはずはない、どう考えたら良いのか。水河が運んだ大きな岩がごろごろしている。

26日・水河池調査(F池)、ボートを初めて降ろす。野本勇さんが乗ってくれて作業は軌道に乗る。一部水が張っている。

27日・水河池調査(C池)

28日・氷河池調査。野本さんはゴキョ・ピークへ、私はモレーンの中央の矮性小灌木の森の所へ。碧い池の成因が良く分かった。ブルーベリーの幹のサンプルをエンドモレーンの中心部で採集した。

シエルパのリンジンの話「ブルーベリーとピンクベリー

はいっぱいある、ペリチュエでは採取して煮てジュースにして売っている、いっぱい採れる。鳥が糞で運んでいる。ピンクベリーとブルーベリーは混ざって生えているが、ブルーベリーのほうが少ない、ピンクベリーにはとげがある。ディンボチュエとチククンの間でいっぱいといれる。Shiny Thorntreeという名前でロッジで売っている。水河の上を覆っている泥と石の下には氷の層がある、これが解けて空洞になってそれが崩れて凹んで池になる。誤って歩くと危ない。」

29日・水河池調査(M池)

30日・落ち口調査のためにパンガに移動。

31日・落ち口を調べて水量を測るために行く。落ち口のかたちを測り、ボートが流される量で、水の流速を知ろうとしたが、風に押し流されてうまくいかない。落ち口の上部という、なんとも危険と隣合わせの作業だ。これを断念して、物を浮かべてこれの移動を上から見て測ろうと考えた。

風の影響の少ないあり合わせのもの、緑色の棒とボトルと水筒を投げて連写でデータが取れた。乾燥のため咳がひどい、ダイアモックス半錠のためにトイレが多い。夜中せつかくの澄んだ空の星をゆつくりと見ることができな

い。

11月1日…最終日、目的を果たせた。帰りの道は、一步が我が家に近づいている感じ。空気が濃くなる。最後の一步まで丁寧。

昨日からの咳に難渋、クムジユンから毎朝半錠のダイアモックスを今朝からやめた。

【第3章】空撮調査

ヘリコプターフライト

調査前半の空撮作業は、天候回復の機会をうまくつかむことができた。

ヘリコプターの飛行は経験が少なく、空撮に必要な上昇性能、高度と速度、飛行距離、乗員数、旋回とバンクなどの飛行特性について、事前に細部が分からない。今回、初経験であり、チャーター料とともに不確定なことが多い。また、予測不能の天候のなかでのぶっつけ本番であったが、目的に叶う行動ができた。ヘリコプターは機体と乗員と燃料の重さが、上昇高度と飛行時間に敏感に反映される。

エア・ダイナスティー社のエキュール、機体番号9 N1AFQ、アメリカ人パイロットのジミー・グロサー氏と

は呼吸が合い、彼はうまくやってくれた。

有視界飛行が条件のヘリコプターであるが、雲の切れ間から雲の上に出ることができた。飛行高度については、乗員3名（パイロットを含む）のときは高度7400m、乗員4名のときは6200mが今回の最大上昇高度であり、約1時間で帰港した（時間を延ばすために燃料を多く積むと、上昇は悪い）。

左上の図①は、クーンブの地図に飛行コースを双発のドルニエ機を使うこととして初めに計画したものである。ドルニエの上昇限界は7500m。時速320mで旋回半径は4kmであり、この性能限界に合わせて作った。

図②は、今回のヘリコプターに合わせて計画し直したコースである。航続距離、人数と上昇限界の関係、酸素補給を考えてこのような数回の飛行が必要になると考えた。

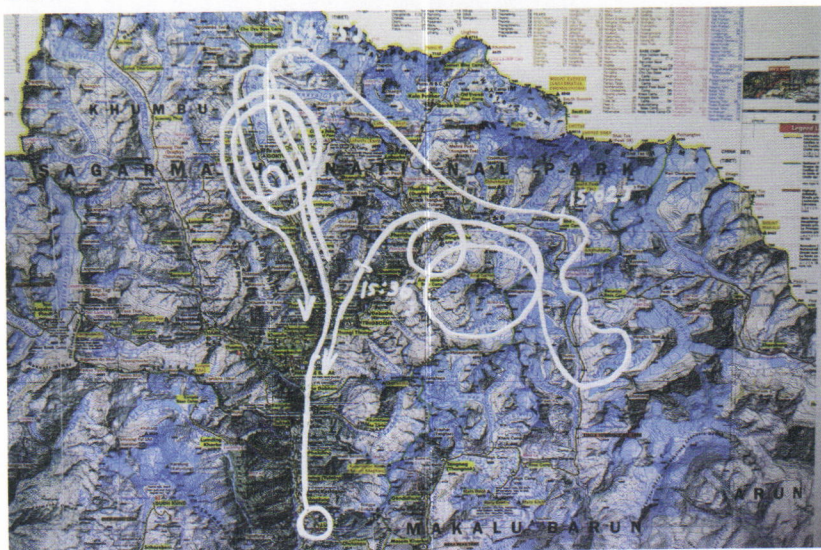
GoProという小型カメラをヘリコプターの機体前部に直下に向けて取り付けた。地図に記入のルートを4回で飛行する考えだったが、2回で下の図③のように飛ぶことができた。この図③の飛行コースは、GoProの画像で位置の同定をして、飛行コースの記録メモを修正したものである。ゴジュンバ氷河上空の時間記録は省略した（画像記録にある）。



図①



図②



図③

氷河を写すのにヘリコプターのローターは邪魔にならなかったが、振動は予想以上で、24 mm、ISO1600、1/2000、絞オート、毎秒3コマで、指の緩衝機能でなんとか撮影できた。

GoPro 1200は1台を機体前部に取り付けて、直下を0・7秒に1枚の連続撮影をしたが、全フライトを64GBのSDカードは十分カバーしてくれて、電池も1時間の低温フライトに耐えた(フライトごとに充電済と交換)。上空での速度はほぼ90knotであった。

ピラタスポーターPC-6のような機体でないとできな

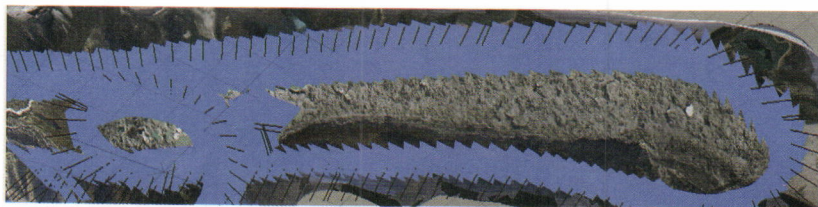


图 4⑤



图 6⑦⑧

いと考えていたヒマラヤ空撮が、斜め下を見たい氷河調査に限るならば、また、振動の対策ができるならば、このヘリコプターでも行なえる。ただ防振装置は欲しい。

空撮の結果

10月17日朝・ゴジュンバ氷河に行くが雲が壁になって隙間なく、引き返す。

10月17日昼・11時15分～12時25分（現地時間）、ゴジュンバ氷河からエベレスト、イムジャ、バルンツェ、アマ・ダプラムの雲のない所を空撮。

10月18日朝・7時55分～8時35分（現地時間）、ゴジュンバ氷河周辺を空撮。

空撮は、すべて立体画像になるように3コマ/秒で撮影してある。レンズは24mmの固定焦点。18日の撮影はニコンD750、19日の撮影はニコンD5300、約2万枚のすべてが200GBのSSDディスクに収納してあるので、必要な研究には提供できる（写真番号は撮影時の年月日時分秒と順番号）。この報告書の写真の細部を見たいときは、SSDから原画を見ることをお勧めする。

Agisoft PhotoScanのソフトを持つパソコンの場合、立体画像を自在に見ることが出来る。原画とAgisoft

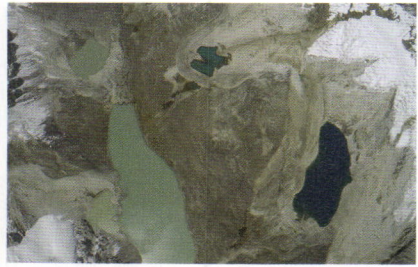
PhotoScanに取り込んでできた立体画像の一例をお見せする。原画からの展開は無数なので、画像を出して加工して活用してもらいたい。

ゴジュンバ氷河空撮

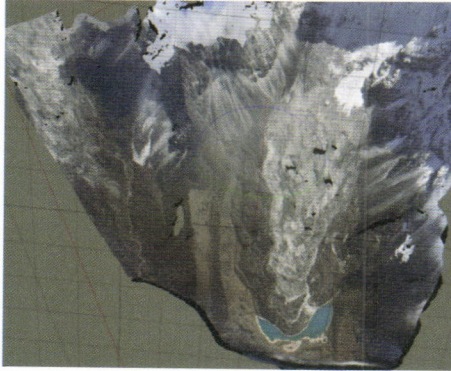
右の写真は、ゴジュンバ氷河上空の撮影をAgisoft PhotoScanで画像化したもので、上の2枚のうち上がその撮影写真の状況を見えるようにしたもので、青い帯は写した写真の約160枚の位置を示している。下はその撮影記録を取り除いたもので、左の隅が崩れているのは撮影した範囲からはみ出ているため。氷河は右につながっている。下の3枚の写真はそれを3つに分割して拡大したものである。これらは上下を逆にして見ると、影の影響で立体感がよく出る。以降は左右を逆にして使う。

ゴジュンバ氷河周辺以外の空撮

空撮ではゴジュンバ氷河以外のクーンブエリアの氷河の記録もした。その17日の成果を少しご覧に入れる。飛行コースから左方向を見た画像が、SSDメモリーの20161017007-144217～20161018005-113234のなかにある。それをフォトスキャンで処理した立体画像の一例が、⑨～



⑨⑩⑪⑫ クーンブにある氷河池



⑫である。

GoProの撮影データ

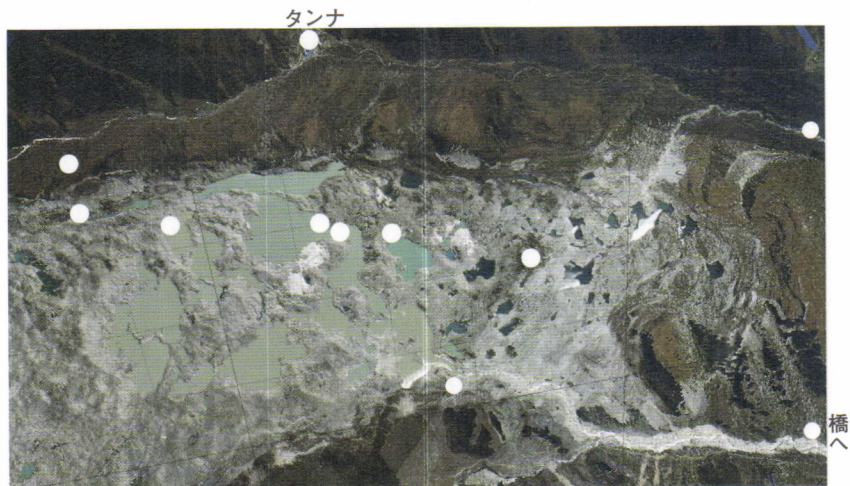
ヘリコプターの機首に取り付けたGoPro 1200が直下を0・7秒ごとに写してくれた画像は約1万枚で、これは飛行コースの記録にもなっていると同時に、3D化のできる次回の撮影との比較に役立つデータとなった。これの検索は200GBのSSDメモリーからできる。

【第4章】氷河池現地調査

現地調査の基地

10月19日朝のF隊とのフライトの後、G隊・S隊はルクラを出発し、バグデイン、ナムチエ、クムジュン、クワンデ・ピーク、モン・ラ、ドールレ、マツチエルモ、タンナと高度順化をしつつ基地に入った。はじめBCをエンドモレールの中心に作ることを計画していたが、国立公園内の指定地外の幕営に遠慮するところがあり、空撮の写真を見て具体的に位置を検討して、タンナ(4700m)を基地にする方が効率が良いとの結論に至った。

大森の病氣(椎間板ヘルニア)が治癒したとはいえ、医



⑬ エンドモレーンの俯瞰図

⑭ サイドモレーンの内側

⑮ サイドモレーンの外側



者からは治癒はしたが絶対転んではいけないとの厳命。それに長い現地滞在のための高度順化をしなければならぬし、野本にも持病がある。そこで、ピスタリピスタリと、腰バンドをした慎重な歩行で基地に入った。通常のコースタイムより、毎日1時間は多く費やす歩き方であった。

基地からの行動は、2015年6月のグーグルアース衛星写真と、数日前の空撮写真を使って検討した。水と泥と石と水が造った地形は1年で変化していて、空撮写真でその細密部まで分かる。「空撮→現地調査」という行動は実に有効であった。

このエンドモレーンは、エベレスト街道からチョラ・ラ越えをしてきたトレkkerが、タンナからゴキョに行くとときに渡らねばならない。池の拡大につれて横断できる場所が変わるため、かつて通った道や、コースを探した跡が残っている。そこは氷河表面の陥没する危険の少ない所である。経験の長いリンジン・シエルパはこの地形を熟知していて、空撮と相まってムダのない動きで希望地に誘導してくれた。

氷河池調査

前ページの写真⑬は、エンドモレーンの状況を空撮写真を画像処理して俯瞰写真にしたものである。図の上に、タンナBCの位置、⑭と⑮の写真の撮影位置、調査した池のボートを出した入り口、左岸の排出流路、右岸の橋の近くを白丸の記号で示した。これでターミナルの全体像を理解されたい。

タンナ近くのサイドモレーンから内側上部を見た姿が写真⑭である。かつてはこのサイドモレーンの高さまで水があったので、氷河の氷の減少と池の生成の様子が分かる。写真⑮は同じく、モレーンの外側の水が流れる最低部からサイドモレーンを見上げたものである。

装備と機器

持参した測量機器は、通常の登山装備のほかに以下のものであった。

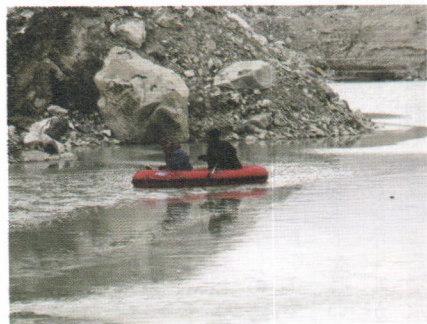
ゴムボート（アキレス製）、GPS（ガーミンのe-trace）、音波測深器（本多電子PS17、PS17FL）、測深紐（ガラス繊維製）、距離計（ゴルフ用）、ペッテンコーヘル水温計、ニコンD750、ニコンD5300、D3200、GoPro 1200、採石ハンマー。

氷河池の水深測定

ゴムボートに取り付け具を固定し、これにGPSと音波測深器をマジックテープで貼り付け（写真⑰）、氷河池のなかをボートで移動して、GPSの値と音波測深器の値を耐水ノートに記録した。その値は（P83）のとおりである。

例えば、北緯27度56分44・1秒、東経86度42分20・1秒、深さ3・5mは「44.1、20.1、3.5」と緯度・経度・水深を記録し、のちにこれをパソコンのXL表のマス目に移した。現地では表に移せたのは一部であり、もし現地で図化まで進めることができていたら、さらに完全な測定ができたのだが、そこまではできなかった。

GPSはガーミンの旧型のe-traceであったが、こ



⑬⑭ 氷河池にボートを浮かべる
⑮⑯ GPS と測深器で、一部氷結



⑳ 氷河ミルクで濁った冷たい池を調べる

の場所が開放空間であったため、良く測定してくれた。ただ電離層などの影響の補正は十分ではないようで空撮図と少し矛盾があり、位置関係と形状は空撮によった。

ゴムボートでの計測

冷たい氷河池(後の測定では1・6℃)(藍色の池では1回測定7℃)にゴムボートで漕ぎ出ることには、少しの躊躇があった。池の岸には尖った石があり、これによりゴムボートに穴が開くことを最も用心し、岸にはシートを敷いてここから水上にボートを出した。しかし、ピンホールがあつて修理したことが2回あつた。予測では波による浸水を恐れたが、そのような波はなく、風のために測定に必要な一ヶ所停止ができない問題の方が大きかつた。

氷河池のなかというのは、初めはなんとも薄気味が悪い。その1回目の漕ぎ出し(おそらく人間の初浮遊)のときに、皆が尻込みするなかでサボート隊の野本勇氏が進んで同乗してくれて、順調に漕ぎ始めることができた。以降、2回目からはガネツシユ・ライ氏などが喜んで同乗して漕いでくれた。一方それが慣れとなり、目を離している間にボーターが2人で風下に漕ぎ出して、呼び戻すまで心配をする事態が起きた。考えてみると、持っているボートは1艇で

あつて、もし何かがあつても助ける手段がない。使用したライフジャケットは、救命には無力であろう。次回は2艇であることを条件としたい。また、無人ボートと魚探の使用も考えたい。

測深機の計測は、流水のもとでは不正確だと言われている、ボートを早く移動させると問題になると予想したが、問題になる移動速度ではなかつた。問題は風の影響で、GPSの記録と水深計測の記録の時間差で位置が移動してしまふことであつた。これを小さくするよう同時に読み取るように努めたが、1〜2mの位置誤差は残っている。石英の微粉が浮遊するグレイシャーミルクが音波測定の値に影響するかが気掛かりであり、測深紐での測定を3ヶ所で行なつて比較したが、差が見られず問題なしとした。それによりすべての測定は音波測深で行なつた。

氷結している所の、薄い氷の部分はストックで割つて進入したが、ゴムボートであることを考えて氷の厚い所は測定を避けた。その状況は写真のとおりだが、遠くから結氷を認められる池には行かなかつた。下の写真⑱の波のない所は、すでに氷結が始まっている所である。

ゴジュンバ水河調査隊 活動報告

緯度: 27° 5' 6" N	22.9 46.0 11.9	17.2 48.7 5.2	34.8 47.8 1.4	34.0 44.0 3.5	10.9 45.7 6.8
経度: 86° 4' 2" E	22.9 44.5 5.1	17.2 48.4 5.5	34.8 47.7 1.7	34.0 43.9 7.5	10.9 44.0 4.5
汎緯度 経度 深さ 注	22.8 49.6 1.3	17.2 48.3 5.8	34.8 47.2 1.6	この北側 34.0 43.1 5.9	10.8 47.9 3.5
F 27.7 44.5 5.6	22.7 48.9 9.1	17.2 48.2 5.4	34.8 46.9 3.3	33.9 43.9 3.9	10.8 47.0 4.8
m	22.6 48.3 15.4	17.1 48.3 6.6	34.8 46.8 2.9	33.8 44.5 1.2	10.8 44.6 3.0
汎 27.6 50.3 3.3	22.6 48.1 15.0	17.1 44.9 4.6	34.8 46.6 1.9	33.8 43.4 5.0	10.7 47.2 5.0
汎 27.5 51.2 1.5	22.6 48.3 13.3	17.1 44.1 4.1	34.8 43.7 8.1	33.6 44.2 1.8	10.7 46.8 6.1
27.5 49.7 3.9	22.6 47.5 16.7	17.1 43.9 4.1	34.8 43.5 7.8	33.6 43.4 1.3	10.7 46.0 6.4
27.4 51.2 2.3	22.6 46.4 8.3	17.0 48.4 6.9	34.8 43.5 7.2	33.5 43.6 2.6	10.7 45.1 1.8
27.3 50.7 3.1	22.6 45.6 4.2 ?	17.0 48.3 4.9	34.8 42.9 3.9	33.5 43.4 0.5	10.7 44.2 2.5
27.3 48.9 1.5	22.5 48.0 15.0	17.0 47.9 5.0	34.8 42.6 3.2	33.5 43.4 0.5	10.6 47.8 2.0
27.2 48.8 2.0	22.5 47.9 16.3	17.0 45.0 4.6	34.8 42.6 3.8	33.4 43.9 0.9	10.6 47.2 5.9
27.1 51.3 1.6	22.5 46.7 9.9	16.9 48.4 2.3	34.7 47.2 3.2	33.4 43.7 0.7	10.6 45.3 4.8
27.1 45.1 14.6	22.5 45.8 5.0	16.9 47.7 4.4	34.7 43.8 8.0		10.5 47.8 0.3
26.9 49.3 8.9	22.4 47.8 16.5	16.9 46.4 4.1	34.7 43.8 8.1	N 13.5 46.6 1.0	10.5 47.3 6.5
26.9 43.9 3.7	22.3 48.0 15.5	16.9 46.2 3.4	34.7 43.6 8.9	汎 13.4 46.7 2.0	10.5 46.1 4.9
26.7 51.3 2.1	22.3 47.6 14.3	16.9 46.0 4.1	34.7 43.5 8.5	13.4 46.5 0.5	10.5 46.1 4.9
26.7 45.4 11.8	22.2 49.6 2.1	16.9 45.9 4.8	34.7 42.6 3.1	13.3 46.6 4.1	10.5 46.0 4.0
26.5 51.4 2.0	22.2 49.4 6.2	16.9 45.1 4.8	34.6 47.8 1.6	13.2 46.6 3.4	10.5 45.8 5.1
26.5 44.0 5.6	22.2 49.1 8.8	16.8 47.6 4.2	34.6 46.8 0.9	13.1 46.4 1.6	10.5 45.8 4.6
26.3 49.1 9.4	22.2 47.5 13.2	16.8 46.7 4.1	34.6 46.7 1.0	砂浜 13.1 46.4 2.1	10.4 47.7 5.0
26.2 45.3 18.9	43.3 ? 22.1 48.0 16.0	16.8 46.1 4.9	34.6 45.6 4.5	13.0 46.6 5.2	10.4 47.3 6.8
26.1 51.2 4.1	22.1 47.5 14.4	16.7 47.8 1.7	34.6 44.2 7.1	12.8 46.6 3.0	10.4 47.3 6.8
26.1 44.2 1.9	22.1 46.1 4.5	16.7 47.4 4.3	34.6 44.2 7.0	12.7 46.5 1.9	10.4 46.3 3.7
26.0 49.1 13.6	22.0 47.4 10.2	16.7 47.2 4.1	17.7 ? 34.6 43.7 8.3	12.6 46.6 1.3	10.4 46.1 3.7
25.7 50.9 2.9	21.9 48.2 14.8	16.7 47.0 4.4	34.6 43.5 8.5	12.5 44.8 0.8	10.4 46.0 4.2
25.7 50.8 3.1	21.9 48.1 12.2	16.7 45.1 5.0	34.6 43.0 5.3	12.5 44.7 0.8	10.4 45.9 0.9
25.7 49.0 15.4	急深? 21.8 47.3 8.3	16.7 44.5 4.4	34.6 42.9 5.4	12.5 44.7 1.3	10.2 46.4 1.9
25.6 49.0 6.5	21.7 47.2 6.6	16.6 47.7 0.8	34.6 42.6 5.0	12.4 46.6 1.9	10.2 46.0 1.0
25.5 45.4 14.9	45.9 ? 21.6 48.2 7.3	16.6 45.7 5.0	34.5 47.7 1.8	12.3 45.1 1.0	10.2 45.9 0.8
25.5 45.3 15.9	21.6 47.1 7.6	16.5 47.5 0.7	34.5 45.3 2.4	12.2 48.7 1.0	上層 7°C 10.2 45.9 0.9
25.5 45.3 18.7	21.5 48.4 8.8	16.5 47.3 0.7	34.5 45.1 4.8	12.2 47.8 4.4	10.1 46.0 0.7
25.5 44.3 5.9	21.5 48.2 4.0 ?	16.5 44.7 4.2	34.5 43.9 7.2	12.2 46.5 3.1	10.0 45.5 0.5
25.2 44.1 6.7	24.2 ? 21.5 47.5 7.0		34.5 43.7 6.0	12.2 45.4 1.1	9.9 46.1 2.4
25.2 43.9 4.8	21.5 47.1 5.4	C 36.6 44.2 7.9	34.5 43.5 7.6	12.1 46.5 3.6	9.9 45.4 0.4
25.2 43.7 5.5	21.4 48.3 3.0	汎 36.1 44.0 1.6	34.5 43.1 5.9	12.1 46.2 2.8	9.7 47.0 2.6
25.1 45.4 17.2	21.4 47.2 4.5	36.0 46.3 0.9	1.7 ? 34.5 43.1 6.3	12.1 45.9 1.8	9.5 45.7 2.7
24.8 48.9 17.4	21.2 47.9 3.5	35.9 46.1 2.6	34.5 43.1 5.8	12.1 44.4 1.1	9.4 47.0 4.1
24.7 48.4 15.4	21.0 48.1 1.3	35.9 44.8 3.6	34.5 43.1 6.2	12.0 48.7 0.9	9.2 46.7 1.9
24.7 45.6 20.9	20.4 47.4 5.2	35.9 43.8 3.6	25.9 ? 34.5 43.1 5.5	12.0 46.5 5.1	9.1 46.2 1.6
24.6 57.1	4764 野本 20.4 47.3 3.9	35.8 46.6 1.8	水出る所 34.5 42.8 4.6	11.9 45.6 3.2	9.1 46.1 3.2
24.6 48.1 17.6	20.3 47.3 4.6	35.8 43.9 3.4	34.5 42.7 3.4	11.9 45.3 3.6	
24.5 57.1	4765 41 20.3 47.3 4.9	35.7 45.5 1.8	34.5 42.6 3.6	11.8 48.6 2.5	落ち口
24.5 50.7 3.5	20.2 47.3 3.0	35.6 44.3 5.3	34.5 42.6 4.5	11.8 46.4 5.8	L 7.3 34.2 0.0 岸
24.5 43.7 8.9	20.1 47.4 5.0	35.6 43.5 2.4	34.5 42.5 2.9	11.8 45.9 5.3	汎 7.1 34.3 0.0 岸に接
24.5 43.7 8.3	20.1 47.3 2.3	35.6 43.3 2.0	34.4 44.8 8.3	11.8 43.9 1.9	7.0 34.3 0.0 岸に接
24.4 57.2	写真とる 19.9 47.4 5.2	35.5 46.0 4.9	34.4 44.5 6.6	11.7 48.4 3.6	6.7 34.7 1.1 汎
24.4 50.7 4.0	19.9 47.4 5.5	35.5 43.2 1.0	34.4 44.0 6.7	11.7 48.3 5.1	6.7 34.4 0.0 岸
24.4 48.5 14.3	19.8 47.6 5.0	35.4 46.0 5.6	34.4 44.0 6.6	11.6 48.5 3.6	6.5 34.8 1.7
24.1 48.3 13.5	19.8 47.5 2.5	35.4 45.9 5.6	34.4 43.7 7.9	11.6 48.2 5.0	6.4 34.4 0.9
24.1 45.7 18.9	19.5 47.7 2.0	35.4 44.7 4.8	34.4 43.6 8.3	11.6 48.2 5.0	6.3 35.0 0.9
24.1 43.8 4.8	19.4 47.7 1.7	35.4 44.2 5.1	34.4 43.6 8.3	11.6 48.2 5.0	6.3 34.8 1.6
24.0 50.2 3.8	19.3 47.5 2.9	19.7 ? 35.4 43.9 6.1	34.4 43.5 4.3	11.6 46.4 6.6	6.3 34.7 1.0
24.0 49.9 3.7	19.1 47.7 1.8	35.4 42.9 2.1	34.4 43.4 8.2	11.6 46.1 6.1	6.1 35.0 0.3
23.9 48.2 14.2	19.0 48.2 0.8	35.3 45.7 3.7	34.4 42.9 3.6	11.5 46.5 6.9	6.1 34.5 1.6
23.8 45.6 16.9		35.3 45.7 4.6	34.4 42.6 2.3	11.5 43.7 3.9	6.1 34.4 1.0
23.7 49.6 2.8	G 18.6 49.2 スタート岸	35.3 45.5 2.3	34.4 42.6 2.0	11.5 43.6 2.5	6.0 35.0 0.0 岸
23.7 48.2 13.6	汎 18.5 48.5 0.6	35.3 44.3 6.7	34.3 47.5 5.3	11.4 48.3 1.1	6.0 34.9 0.6
23.7 43.9 5.8	18.4 48.9 1.2	35.2 47.2 3.8	34.3 44.0 8.1	11.4 46.3 7.3	5.9 34.6 1.6
23.5 49.4 2.7	18.3 48.3 1.3	35.2 47.2 4.2	34.3 43.1 6.5	11.4 45.3 5.8	5.0 33.8 0.6
23.5 48.1 15.0	18.1 48.9 2.5	35.1 46.6 5.7	34.3 42.9 3.8	11.3 46.5 7.3	4.9 33.0 1.0
23.5 45.7 11.1	17.9 49.0 3.8	35.1 46.2 5.0	34.3 42.8 3.4	11.3 45.4 6.1	4.7 33.8 1.6
23.5 44.1 7.5	17.8 48.4 5.2	35.1 45.6 4.9	34.3 42.7 3.5	11.2 48.2 1.2	4.7 33.8 2.8
23.3 48.0 16.2	17.7 49.9 0.9	35.1 42.5 2.5	34.3 42.6 1.3	11.2 46.6 7.4	4.6 33.8 2.0 市
23.2 47.9 18.6	17.7 49.9 2.9	35.0 47.5 1.6	34.2 42.9 4.9	11.1 45.5 6.6	4.6 33.8 1.8 約 1 0
23.2 44.5 6.1	17.7 48.7 4.1	35.0 47.0 7.0	34.2 42.7 0.8	11.1 43.7 1.7	4.6 33.8 2.8 約 1 0
23.2 44.3 5.7	17.7 47.7 1.3	34.9 46.7 3.0	34.1 43.9 4.6	11.0 48.2 0.5	4.6 33.8 2.1 約 1 0
23.1 49.5 1.2	17.3 44.3 5.1	34.9 43.8 8.6	34.1 42.9 2.2	11.0 46.7 7.1	4.6 33.8 2.0 m
23.1 45.8 14.4	17.3 43.9 4.2	34.9 43.7 8.5	34.0 44.8 3.7	10.9 46.8 6.5	4.6 33.7 1.7
23.0 47.5 20.0	17.2 48.9 5.1	34.9 43.5 7.1	34.0 44.0 4.5	10.9 46.7 6.8	4.6 33.7 2.9

図④ 深さを測定した位置の緯度・経度と深さの測定値

計測結果

測定した約500ヶ所の値を、緯度・経度順に並べ替えたものが前ページの図④である。揺れるボート上のため読み取れない記録があり、これは除いた。偶然同じ場所を重ねて測定している場合は平均値とした。

初めは計画的に測ることを考えていたが、漕ぎ手の技術と誘導技術、風で難しかった。

水深の図化

まず空撮図の画像から池の形状を求めて、エクセルで作った約3mの緯度・経度のメッシュに池の輪郭を0mで入れた。このなかに前ページの図④の水深の値をコンマ以下1桁の測定値で入れた。図表を縮小すると自動で四捨五入され整数になる。この整数を有効数値として「氷結がなくボートで入れたが計測値のない所」に整数を内挿してメッシュを補間し、これをエクセルの「条件付き書式機能」で図化した。

計測前には50mぐらいの深度の値が出ることを予測したがそれはなく、今回の計測では21mが最深であった。

「氷のためにボートが入れず測定不能の所」は白で残した。内挿には周辺地形からの推測は加えていない。氷結のため

に計測できなかったこの空白部に、重要な地形があった可能性がある。

内挿した場所には急な凸部や凹部があるかも知れないが読めていない。例えば、M池で水面に出ていて発見した岩などは、水中にあれば見落としている。

測定点を入れた図と、等深線にした図は以下の図⑤⑥のとおり。図⑤のメッシュに色の入った所が測定値、ほかは内挿で補間した値である。

図⑤のデータに色を入れたのが図⑥。これで等高線を入れないでも実態がつかめる。氷結のためにボートが入れなかった所は白紙である。

池と池との間は省略してつめて1枚の図にした。

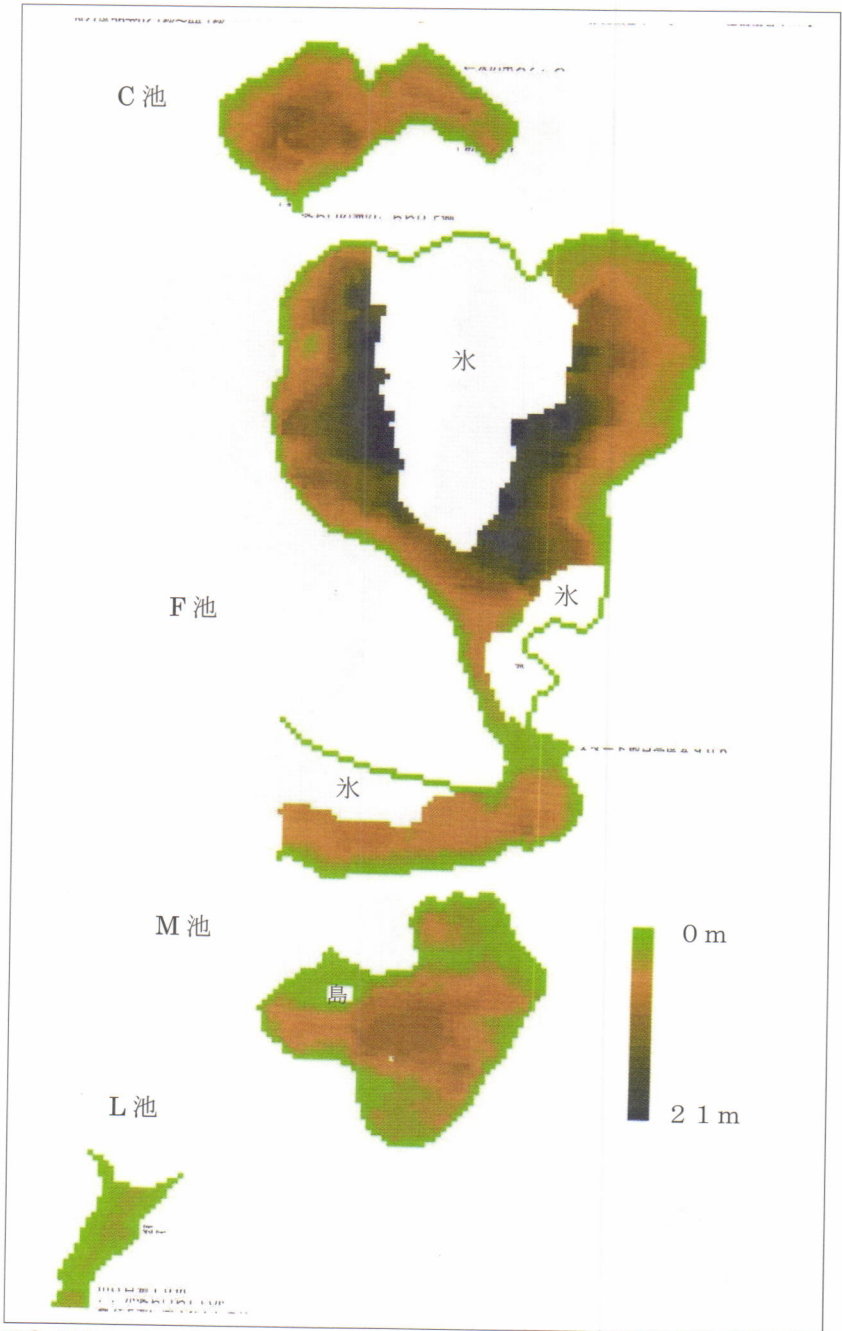
着色と深さの関係を図⑥の右に置いた。上の草色が0m、橙色、茶色と深くなり、F池の濃紺色が21mである。

C池、F池、M池、L池については次の俯瞰図⑦にある池に重ねてご理解いただきたい。ほかの池については結氷のために測深を行なえなかった。

【第5章】 氷河池



図⑤ 深度測定値を緯度、経度の位置に入れ、数値のないときは補間した



図⑥ 測定のできた池の深度図。池の位置関係はつめてある



図⑦



図⑧

氷河池の計測

空撮と現場の比較

空撮と現場調査は約10日の違いであるので、大きな変化はないとして考える。

空撮の画像と現場は非常に良く符合して理解に役立つ。さらに空撮画像を使って画像処理することで、様々な考察と理解ができる。

ゴジュンバ氷河は、その上流で融氷し、あるいは降雨が染み込み、ここから流れる水は、氷河底に流路があって池に流れ込んで（湧き出して）いると思われる。その場所は上部にある池のB池かC池かD池のはずだが分からない。その流入部の底の形状を氷が邪魔して調べることができなかったのは残念だったが、それぞれの池が予想より浅いことは意外であった。

前ページの図⑦は、空撮写真をフォトスキャンで画像処理したもので、考察の便宜のために池に符号を入れた。下の図⑧のなかに入れた白の境界線については後述する。

池の変化

N池、S池、U池、V池のような藍色の池は、ほかから水の流入のない孤立した池であることが分かる。初めこ

の色は、池が深いためだと考えていたが、野本氏の観察で藻類が生育しているためだと分かった。その藻類の採取は持ち帰る装備を持たないため行なわなかった。これは次のテーマであり、有用なものである可能性がある。

M池、O池のような乳藍色の池は、増水時にのみほかの池と表面でつながっている、孤立した池だと考えれば理解できる。

B池、H池、J池の乳灰色とF池、E池、G池の乳青色と色がわずかながら違うのは、何を意味しているのだろうか。C池が濃い乳茶色なのは、何を意味しているのだろうか。測深の結果を見るとC池は浅いのだが、水の流れを見てもC池が最上部だとなる。

M池の近くで赤い色の石を発見した。周囲の砂に酸化鉄の赤茶色の色が染み出していた。空撮図で上流を見ると、いくつか乳茶色の水の池を発見し疑問に思っていた。どこから運ばれてきたのか不明だが、流路にこの石があって、通る水を着色しているのではないかと。

俯瞰写真で見ると、C池は乳茶色が濃い。このC池の色から考えるのだが、C池からD池に流れて色が薄まるということは、D池に別の池からの流入があるということを感じている。

高度の値に関しては、グーグルアースからの値の比較で求めたが誤差が大きいので、空撮図にある池と池の接合部の水の流れを参考にして高度差を修正した。前図⑦の池記号の後ろの小さい数値は、O池を基準の0mとした高度差のm値である。

水の動きを考える。↓印は現場で確認した流れである。

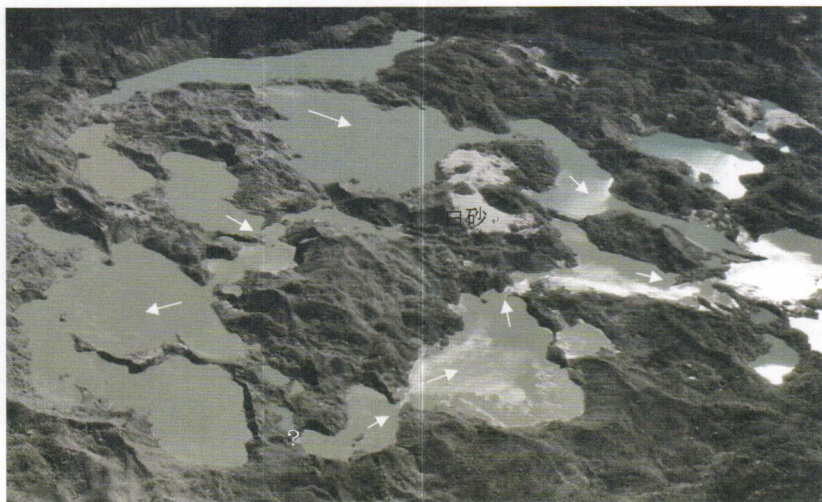
↓印は空撮図で確認した流れ。

A池(20m) ↓C池(17m) ↓D池(16m) ↓無名池↓
 B池(15m) ↓(地下経路) ↓H池(10m) ↓J池(8m)
 ↓L池(1m)
 E池(11m) ↓F池(6m) ↓G池(4m) ↓K池↓L池(1m)

空撮写真のなかに水の流れの良く分かるものがあつた。これは画像処理用に連続で写したもののなかに光の反射で小さい波の分かる数枚があり、ここから選んだ(下の写真⑳)。

H池(10m) ↓J池(8m) ↓L池(1m) であること、E池(11m) ↓F池(6m) ↓G池(4m) であることがよく分かる。

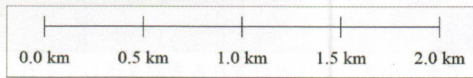
しかし、H池からの流出が見られるのに、流入路が見られない。良く見るとB池とH池は、水の色が同じである。



⑳ 池にできた小さい波は水の流れる方向を示してくれた。原因では色の変化がより良く分かる



図⑨



画像処理：中田高

このことから、B池とH池は地下水路でつながっている、と解釈した。水の色が同じであることもこれで納得できる。空撮写真のH池の左には、?印の近くに小さく白い部分があるが、この下に地下流路の出口があるのだと推測する。

この色の差は2015年6月のグーグルアースでは確認できない。2015年と2016年の雨期に何かの変化があったのだと考える。

氷河の上流から来る水は、このC池、B池、そのほかの池に地下から流れ込んで、これらの池を経由してL池の下の排水口に流れている。

氷河池の形状

2016年10月に撮影した空撮写真を使い、Agisoft PhotoScan版により等高線地図を中田高先生(広島大学移動地形学名誉教授)に作成してもらった。これにより現場がさらによく分かる。写した写真が、このように生まれ変わるの驚きである(図⑨)。この図はさらに細密に表わすことができ、また数字も入る。



②③ 凹凸が次第に拡大する



②④ 池ができて成長する



池の変化を考える

調査をする前に予測していたことは、池がさらに拡大して、それがいずれは決壊してGLOFを起こすという単純なストーリーであったが、現場を見て、また空撮の写真を解析しているうちに、当初の単純な考えとは違った未来が見えてきた。

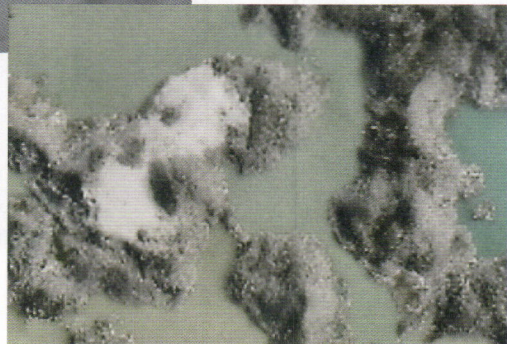
まず、池の成因を考える。

- ① 氷河の上部からの氷の補給がなくなる
- ② 内部の氷が融けて水は氷河の底部に流れる
- ③ 泥と石でできた表皮の下が空洞になっていく
- ④ それが突然崩れて窪みになる
- ⑤ 雨がたまる
- ⑥ たまたま水が残る
- ⑦ 周りが融ける
- ⑧ 池になる
- ⑨ 水の対流によりさらに池が拡大する
- ⑩ 底が氷河底の流路とつながって水が抜ける
- (または)
- ⑪ 深くなる
- ⑫ 地上で流路とつながる
- ⑬ 隣と合体する
- ⑭ 底部の流路で下の池につながり、下の池の水位に近づく
- (または)
- ⑮ 大きい池が生まれる
- ⑯ それぞれの条件で変化
- する
- ⑰ 合体して大きくなる
- ⑱ 深くなる
- ⑲ 見かけが小さくなる。

空撮と地上写真のなかに、この経緯を考えるのに相応しい写真があるので、それを選んでお見せする。これは1つの池の変化を追跡したものではないが、経過を考えるのに



27 2008年から同じ所にほぼ同じ形のままである



適する例が随所にある（写真⑳～㉓）。

白砂の丘の成因

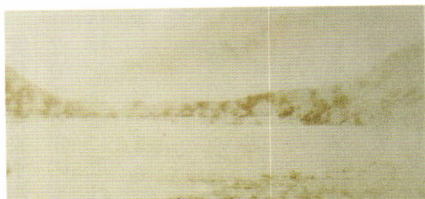
3ヶ所、白砂の丘があった。遠望では雪かと思うほど白かった。その採取は氷に阻まれてできなかったが、後で空撮図を見ると陸がつながっていた。石の採取を思いながら、砂の採取を見過ごしてしまったことが惜しまれる。

この白砂の丘がなぜできたのか。シッキムのツォゴ湖の決壊した湖の湖底の記憶は真砂であった。

ツォゴ湖（今はサミティ湖という）の写真を並べてみよう。鹿子木員信先生、大森、村田省二郎氏の順だ。

100年昔にここを歩いた鹿子木員信先生は『アルペン行』でここをツォゴ湖と報告している。同じ所を私が歩いたのは2007年、そのとき湖はなく、平らな湖底を歩いていた。この数ヶ月前にこの湖は決壊して、ヨクサムという下流の村が壊滅したと聞いていた。

今はサミティ湖といい、2014年に村田省二郎氏が写した写真にその姿がある。湖底が造った原に湖ができてゐる。恐らく2007年の砂原の上にてきた浅い湖であろう。決壊口の100年昔の写真を見ると、2007年の決壊口と似た地形が見られる。これはゴジュンバ氷河のター



㉔ サミティ湖、1918年鹿子木撮影



㉕ サミティ湖、2007年大森撮影



㉖ サミティ湖、2014年11月村田撮影

ミナルの変化の将来予測の参考になる。

この湖底は水篩すいしで平らな真砂の原になったのであろう。ゴジュンバ氷河の白砂の丘が湖底でできたと考えると、水位がここまであったことが必要になる。

この白砂はツォゴ湖とは似ていて違う。この白砂はこの場所の過去と氷河の未来を語ってくれそうなのだが、読み解く力が足りない。

白砂がもし水篩だけでできるのなら、白砂の原は平らなはずである。この砂の比重も重要そうだが、残念ながら取していない。画像を観察するといずれも水辺に接している丘であること以外、3ヶ所の共通点を見いだせない。

考えるうちに、ふと伊豆の狭い浜にできた田牛サンドスキー場に似ていることに気付いた。ここの生成は水で篩ふるわれた細かい砂が水辺にたまり、冬の乾燥した風で吹き上げられて小さい丘を造る。グーグルアースで田牛を探すと、ソリで滑った痕まで分かる。恐らく同じように、雨期に水位が上がったときに水篩された砂が、水位が下がるときに吹き上げられるのだと推察するのだが、その現場を見ていない。

空撮図(写真⑳)の白砂の形は、2008年の衛星写真とほとんど変わっていない。不思議である。

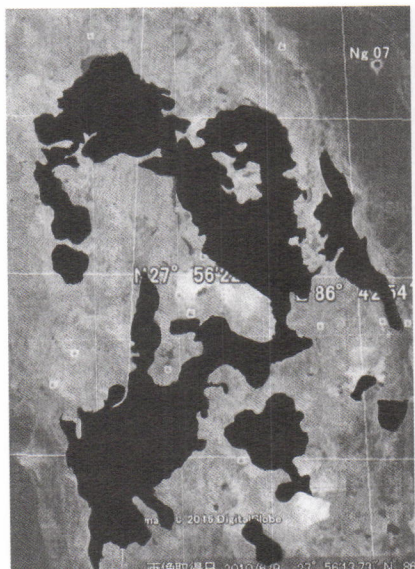
変化と将来予測

2016年の空撮図と過去の衛星写真の比較を試みたが倍率を正確に取れない。衛星写真において現地が海拔より高いためである。そこで衛星写真同士での比較を行なった。

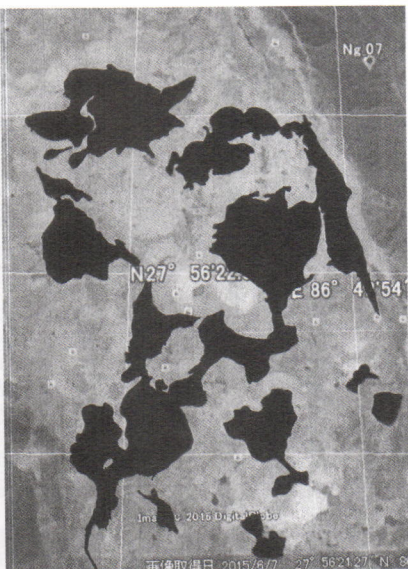
左上の図⑩と図⑪は、2010年と2015年のグーグルアースの池に着色したものである。池面積が2010年に30万㎡であったものが、2015年には27万㎡に減少している不思議は前述した。計測ミスではないかといろいろ検証をしたが、この図を見るとこの減少が明らかである。

池が縮小しているのである。これは上にある池と下の池との境が貫通して、上の池の水位が下の池の水位になったことによる。境が次第に広がる状況と、水位が下がったであろう池の様子を写真㉑～㉓でお見せする。

このように池は境界が貫通するに従って下の池の水位にそろう、したがって水位が下がって池は小さくなる。水面が下がって水の量が減ると対流が減るのでその池の拡大は遅くなり、凍土がなかに残ったかたちで険しい凹凸が残る。しかし、氷河上部からの水の補給は続くから、次第に融ける。この過程で不安定な岸が崩れて、その衝撃で水が大きく動くことがあり得ると考える。



図⑩ 2010年6月9日



図⑪ 2015年6月7日



⑩ 上の池からしみ出している



⑪ 上の池から流れ出る

図⑫

⑫ 水位が下がった池



いろいろな変化を経ながら、池は小さく、深くなつていくであろう。

測定できた池の水深の最大値は21mであった。ほかの池もだいたいこのような水深だと考えると、L池よりも高度の高い池が、下と水路でつながったときには水位が下がり、池は小さくなる。

すなわち、境になる凸部が次第になくなり、水面はL池に近づいて下がり、雨期には上部からの水をうまく下に吐き出す機能を拡大していく。

その結果最終的には、池の底が氷河の底に届いて、排出口を水面高度とする、一つの氷河湖ができる。藍色の池はそのまま残っている。前ページの図⑫は、図⑦の空撮図にその30年後を青色で、さらに数十年後の氷河が消えたときを白線により書き込んでみた。

流出口の落ち口調査

1、流出口の形状と流量

空撮図⑦(P87)のようなこのターミナルは、エンドモレーンを中心にして左岸と右岸に水を分けて排出している。1974年の図⑭の左(P100)にも左岸に流路のできる兆候が見られるが、現在は右岸に流れている。この流路と

なるトリガーに、先端にある基岩と思える大岩(P97の写真⑳)の存在が役立つ可能性がある。

現在は左岸の流出路には、少しの清水が流れている。左岸と右岸の流水を左の写真㉓㉔と比較する。左の写真㉓は左岸側にある流路だが、清流がわずか流れるのみである。右の写真㉔には、排水の落ち口から数百m下で流入する細い流れがある、これはサイドモレーンの外側から来る水で、この量なので無視して検討する。

注目すべき右岸の流出口(落ち口)は、L池の下、O池の西にある。

この断面形状を調べ、流速を調べることができれば、流量を測ることができると考えた。排水の量を知ること、池の全体像を知る上に重要だと気づいたからだが、それにふさわしい測定器がない。そこで以下のような方法を考えて試みた。

まず落ち口の近くにボートを進めてほかの池と同様に深度を計測する(写真㉕)。この計測を行なったボートをそのまま水流に乗せて移動量を測れば流速が分かると考えたのだ。これの実行は気持ちのいいものではなかったが、形状の測定はできた。しかし、流れの計測は、風の影響で水流と違う動きをするためできない。



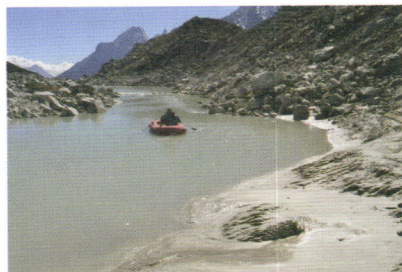
③4



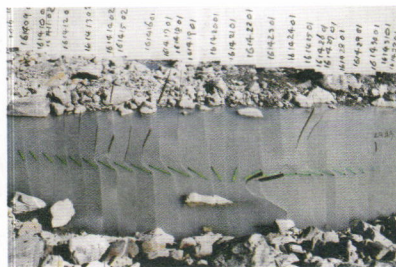
③5



③6



③7



③8

深さの値は、1・7、2・0、1・8、2・8、2・1、2・0で、凹凸が多い。たぶん岩がごつごつしているのであらう。

ここでボート方式では流速が測れなかったので、次の方法を考えた。

落ち口の近くの右岸の斜面にある大岩の上から、浮遊する物を流水の上に投げて（浮遊物とするべき適当なものを、身の周りからはぎ取った）、その移動を連続写真で撮影した。その同じインターバルで時計の秒針を写して3コマ／秒であることを確認して、この結果から1秒ごとの写真を選んで重ねて貼り、浮かんだ棒（測深に使った器具・84cm）の長さから移動距離を求めた。投げたほかの物品の動きもほぼ同じであった。これにより流速を求めたのである。

落ち口の断面積は $10\text{ m} \times 2\text{ m}$ 、流速は 0.45 m/秒 で、したがって、「水量は $9\text{ m}^3/\text{秒}$ 」となる。水流の表面を測っていること、断面積の計測精度があるが、この数値を水の動きを考える参考にした。

前ページの写真⑳は、計測に使った1秒ごとの写真を並べて貼り込んだ図である。

106ページの図㉑の上の写真は、中央部のくびれた所が排出口の計測をした位置であり、その周辺に増水時の痕

がある、97ページの写真㉒のボートの先が水量を測定した位置である。これを見ると、さらに下までボートで行けそうに見えるが、水面近くの目線で見ると、ここから急流になるように見えて、とても先に進めなかった。

【第6章】氷河と水の動き

氷河の変化

氷河の移動は止まっている。

初め氷河のターミナルにある池を考えたとき、この水は上部から押し出されて来る氷河が、ここで融けながら水がたまつて池が造られるのだと単純に考えていた。B池かC池の付近に、その動きを知る鍵があると思っていた。しかし池は予想以上に浅かった。水は上部の氷河で生まれて流れ下り、この池を中継地点として排水口から下に流れていることを知った。

この動きを理解したいと、2015年6月の衛星写真と2016年10月の空撮写真（P99下の2枚）を見比べていた。

2015年6月には上部にも氷河表面に多くの池があつて、2度の雨期の後の2016年10月には雨期の後にもか



2008年12月17日



2009年11月21日



2010年6月9日



2012年12月23日



2014年12月6日



2015年6月7日

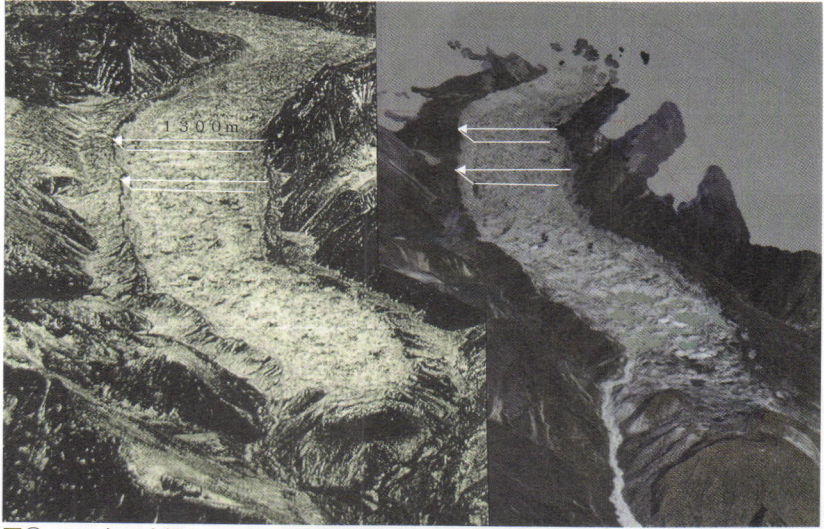


2016年10月18日 (空撮図)

図⑬

かわらず、その池が消えている。グーグルアースの過去データ(2008年まで遡れる)を時間を逆戻しして見ていくと、今の池になった初めの皷を知ることができる(図⑬)。その皷は今の池と同じ位置にあり、さらに空撮図を並べてみても、位置は変わっていない。氷河は動いていない、ただ「痩せ細っていつている」のみだ、と理解できた。Gaunara 氷河合流点(この写真の左端)からターミナル

の池(右端)までの8kmでは氷河の移動が止まっている。つまりここでは上部から氷の押し圧はなく、上部での雨・雪(降水)の水を受けて、それを氷河底にある流路で、ただ水の形で下に送っているだけになっている。そして、この区間の氷河は融けて痩せ細っていくのみになる。変化で比べると、この期間に氷河面が78m下がっている(P100)。温暖化が今の速度で進むなら、あと60年経た



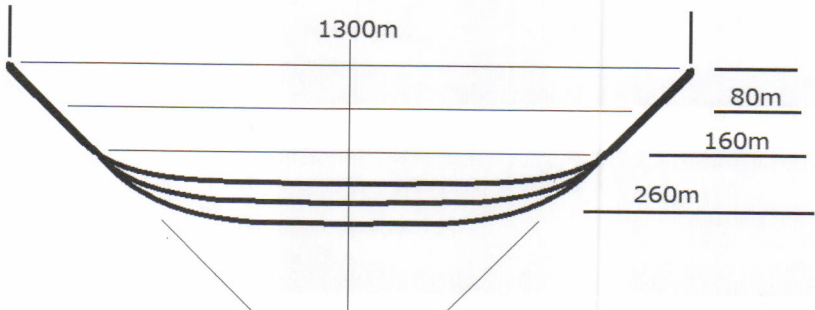
図⑭ 1974年の空撮と2016年の空撮よりデジタル処理したもの



③⑨



④⑩



ないうちに Gaunara 氷河合流点から下の 8 km の区間で氷のストックはなくなり、この氷河は消える。その下部に 1 km × 1 km ぐらいの池が残ることになる。

その間に何が起きるだろうか。雨による急激な氷の融解での増水が起こり、それを引き金にした土砂崩れなどを恐れるが、確かなことは分からない。

池は小さくなり、深くなる。そこには今とは違う景観が生まれているだろう。

前ページの図⑭は、左が 1974 年の 1 万 m 以上の高空からの空撮写真、右は今回の空撮を画像処理したものであるが、遠近が生じ、私の技術では遠くが小さくなる。ここでは手前のターミナルにある岩を合わせてあるため、遠くの画像は小さくなるが、縦横比は変わらないので比較に使った。

これに白線で寸法を入れ、それを使って図上で①左岸と右岸のモレーン頂部の距離、②右岸の氷河側のモレーンの高さを測り、その差から氷河表面の高度低下を算出してみた。その数値は 78 m であった（この数値は画像を比較しても納得できる）。

右の 2 枚の写真⑳㉑は、2009 年の空撮と、2016 年の空撮を画像処理して得たものだが、サイドモレーンの

上縁から氷河の表面がずれ下がっている姿を見ることができると。

氷河の表面のレベル低下が 78 m / 40 年であることは、この位置では毎年約 2 m 表面が下がっているということである。表面が下がるに従い、氷河の幅は狭くなる。したがって同じ融け量の場合、下がる高さは大きくなる。上部からの氷の補給が止まっているので、氷河自体が融ける量、雨に融かされる量、上からの水で融かされる量を考えると、氷河底までの深さは分からないが、もし 100 m だとすると、40 年で全量消えていることになる。

得られるわずかなデータから考えて、模式的に氷河の断面を考えてみる。

サイドモレーンの内側の傾斜を垂直画面にある幅と高度差から考えるとほぼ 45 度である。その延長線の最深部は 650 m、160 m をマイナスすると 490 m で、これより深くはあり得ない。一般の U 字谷の形を考えながら自然にできる形の曲線をいくつか引いてみた。この形から深さを想定する。実測の手段があれば深さを測ってみたいのだが、水深測定で池の深さの最大は 21 m であった、この底が氷河の底に届いているとは思えない。自然に見てこの 3 本の線のなかに答えがあると思える。見てみると、あと 10



④1 浸食跡



④2 水の吹き出し

0 m だとした想定が自然に思えてくるのだが、いかがだろうか。

8 km で考え得る最大は、断面積の $(13000 \times 650) / 2 = 13000 \cdot 160 \times 160 \parallel 24 \text{万} \text{m}^2$ に 8 km を乗じたもの、すなわち 19 億 m^3 。これが考え得る最大で、この $1 / 2$ だとして $9 \cdot 5 \text{億} \text{m}^3$ が毎年約 $16000 \text{万} \text{m}^3$ ($1 \text{km} \times 8 \text{km} \times 2 \text{m}$) 融けると、60 年で氷はなくなる計算になる。この嬉しくない数値に対して何を考えるか。

この区間で考えると、水は雪や氷として下方に下るのではなく、水のかたちで下りてくる。今の氷河の 8 km は今の位置にとどまっけて、次第に融けて痩せていくだけである。

これからあと 60 年ぐらい経つと、氷河の末端はこの Gaunara 氷河合流地点の付近に後退する。現在は、恐らく氷河の底には流路が無数にできているはずである。

雨期でない 10 月 18 日の排水口からの流水が $9 \text{m}^3 / \text{秒}$ (以上) であるということは、それだけ氷河の水貯蓄が減少していることになる。

上の写真④1 は水の通った痕だと考える、このような流路が氷河の下にあるに違いない。

下の写真④2 は水の吹き出した痕で、水の流路はモレーンのなかにたくさんあるのではないか。

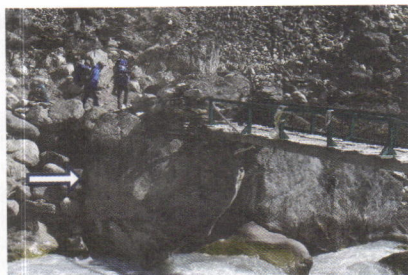
水の動き

2009 年にパンガの下にあった橋 (次ページ上の写真④3 は 2009 年撮影) は、雨期の増水時に流されたという。

場所を変えて 1 km ほど上流に架け替えられたのが上右の写真 (写真④4) で、それがいつだったのかは分からなかったが、数回の増水期にも無事が続いたようである。写真を手



④3



④4



④5



④6

掛かりに人の身長と比べて手すりを測るとほぼ70cmと考えられるので、これから橋げたの岩の水流の痕の高さを推測し、これから水量を考えた。

この橋(上の写真④4)の下を流れる水の量は測ることができないが、写真④4の人物と比較して岩の痕の高さも考える。

タンナからの帰路に写した橋の写真④5に、増水時の痕を頼りに白線を入れてみた。この白線まで水が増水した場合の水量を写真④6から考えて、増水時の流量は現在の流量の約5倍、あるいは約10倍だと言えるだろうか。

落ち口で測った水量は毎秒9m³であった。この橋の下を流れる水も落ち口を流れる水とほぼ同じ量(サイドモレーンの外側から来る水を無視して)で、それがさらに流れて下の溪谷を震わせている。

橋を渡る人(写真④4)と手すり、水が流れた跡である白く岩肌の出た位置を比べて、増水時の水量を想像してみる。データがないのが残念だが、ほかの写真も使って橋げたの水痕からその水位を写真にある対象物と比較して推測する。これも5〜10倍、高さで約2mが妥当な数値だと読む。

10月の落ち口の流れの断面積は20m²であったが、落ち口

の周囲の、写真④に示される水没した痕跡（白線）の大きさから、増水時の断面積を空撮画像処理図も参考に考察してみると約10倍となり、流速が変わらないなら水量はほぼ毎秒100 m³となる。前ページの右の写真④の、橋の周囲の白い部分の端（矢印）をつないで現在の水量と比べると、やはりこの写真の10倍ぐらいだろうと考えられる。

これはのちに流出口周辺の水位の跡も含めて、画像処理の画面の解析から水の流れた断面を考えたが、これも概略同じ答えになる。つまり雨期には降雨と融雪で増水するが、そのときの池の水位は約2 m上昇するのだと考えると、写真の増水時の痕（水流の変化のなかのどこまでが痕に残るか不明）からも納得できる（現地でその痕の計測をすべきであった。写真よりの計測でも対象物は人物になる）。

上流の降水量は測定がないが、ほかの地域の降水量から推定を試みる。

カトマンズの①年間降雨量 ②雨期の3ヶ月（6～8月）
③10月の降雨量の値（2015年データ）は、①1450 mm ②938 mm ③57 mm。ナガルコットは①1910 mm ②1290 mm ③76 mm。ポカラは①3950 mm ②2490 mm ③175 mm。ジリは①2270 mm ②1530 mm

③73 mm。

雨期3ヶ月の降雨量の年間の降雨量との比率を見ると、カトマンズ67%、ナガルコット68%、ポカラ63%、ジリ67%である。

10月の降雨量の年間の降雨量との比率を見ると、カトマンズ3・9%、ナガルコット4%、ポカラ4・4%、ジリ3・2%となる。

ヒマラヤの全体地形と気象衛星の雲の動きを見て、ゴジュンバ氷河上流の降水量をポカラに近いとし、年間4000 mmだと推定してこれを仮定すると、雨期3ヶ月を65%の2600 mm、10月は4%の160 mmだとする。これからさらに考察を展開してみる。

年間降水量が4000 mmだと、取水域の130 km²に5・2億m³の水を降らせていることになる。雨期の3ヶ月に3・4億m³を1ヶ月に1・1億m³/月を降らせている。これに過去の氷への蓄積を融かした水が流れ出す量に加わる。

今回実測できた水量の9 m³/秒がそのまま雨期以外の平均水量だと仮定すると、2・8億m³/年（0・23億/月）であるので、雨期にはこれの5倍だとすると5・6億m³/年となり、数字がうまく符合してくれる。橋げたや落ち口



④7

の水の痕跡からは、5〜10倍ほどの水が流れたと考えられる。氷河が痩せ細り、氷のストックが減っていつている量がこれに加わっていることになり、妙に数字が合う。

池の形状変化とその予測、排水口

排水口の上部に増水時の影響の残る干潟がある。増水時のレベルの分かる痕が両岸に残され、増水時の姿が推測できる。

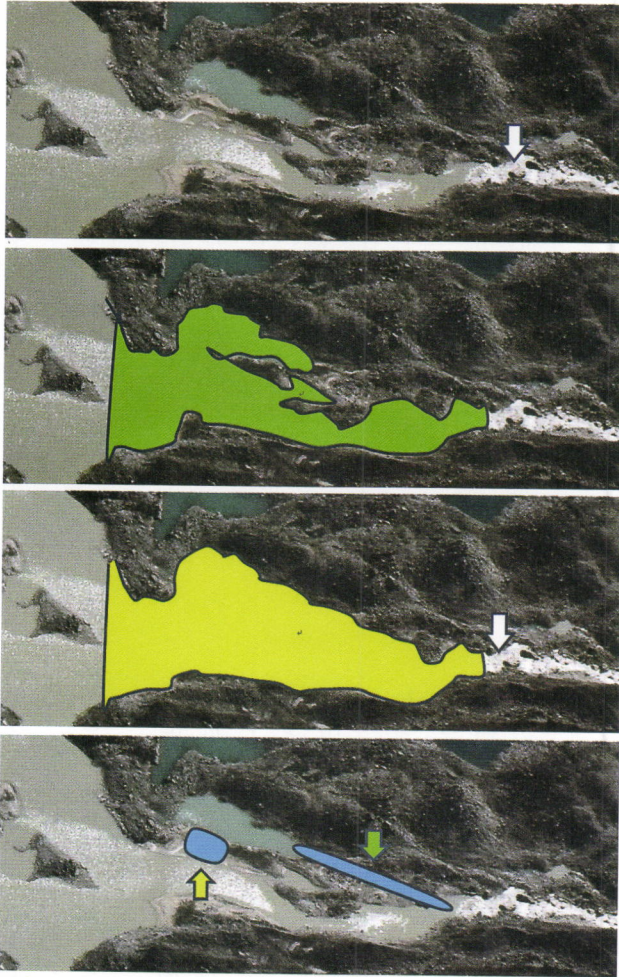
雨期には増水する。この痕から増水時の様子がよく分かるのだが、これも寸法の指標がない。写真④7に写っている人とボートを利用して、落ち口の幅を推測した。またレンズの焦点距離を利用して、距離と角度から算出した。

この結果から、水位の上昇は2mか3mだとした。そのときの排水口は写真④7の白線の位置まで広がっていたと思われる。このときこの位置の水の流速は、特に早くはないと考える。このことは泥が沈澱して堆積している干潟の姿からの推測である。増水のとときにV型に上が広がったかたちで排水口から水は溢れていたであろう。

そしてそのとき、排水口から下の急流の始まる所では浸食が起きている。

排水口の変化予想と対策

現在は排水口はよく機能している（次ページの図⑮の上）。増水時には水位が約2～3m上昇する。そのときは2番目の図の草色のようにである。もしさらに増水した場合、3番目の図の黄色のようになると思われる。このとき



図⑮

には最後の落ち口（白の矢印）の浸食が激しくなり、その波及する危険性が增大している。これは避けたいことである。4番目の図のように草色矢印の青色導水路を造ってあげば、増水時に黄色矢印の青色部分を越えた水はこれに流れ、次第に広がって平常時の流路となり、池の水位を下げてくれる環境ができる。

池の変化

次に池の高度差を参考に、池の境界がすべてなくなつたときの池の姿を推測する。この場合、すべての池の水面はL池の下の現在の落ち口の位置の水位になる。

過去の池の成長速度を一定だと仮定して、その延長線で考えてみよう。池は全方向に等速で拡大すると仮定すると、あるときに池の境がなくなる。そうすると

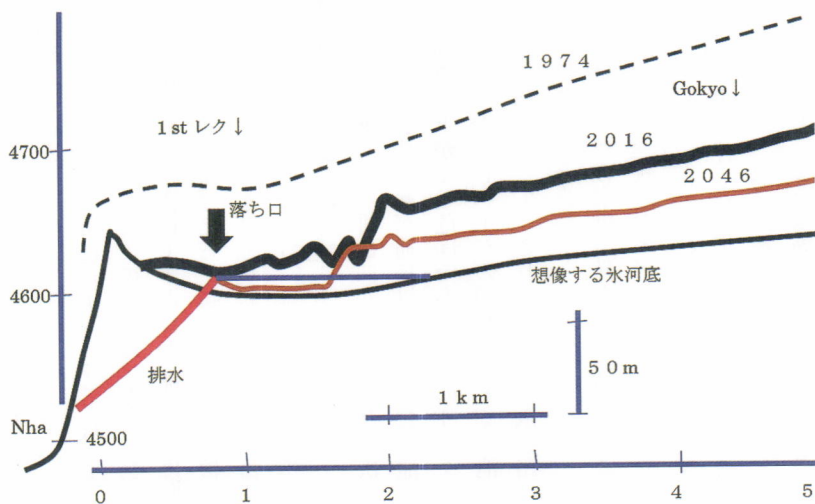


図16

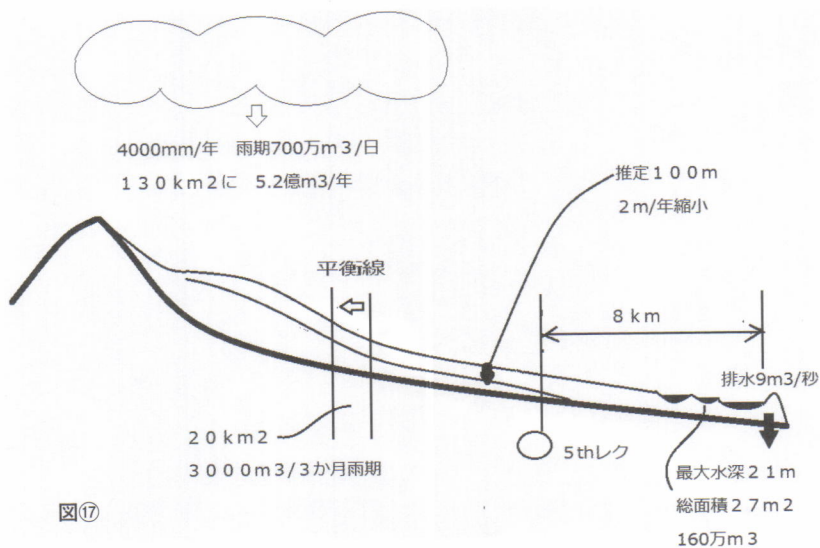


図17

水位が下の池にそろい、そのときに全体の形状はどのように推移するのか。

少なくとも池が上方に拡大することはなさそうである。池の境界がなくなるまでの時間は、温暖化影響の速度になるので確定的な予測はできないが、池の数は減り、深くなつていき、貯水量は増える。排出口が健全に機能する限り水位は変わらず、増水時の現状より約2～3 m高い水位まで問題は起きないだろう。前述の導水路方策をとつておけば、さらに安全である。

何事かがあつて、排出口がもし塞がれて次に切れる、また氷河上部よりの水が通年以上に増水し、池の境が切れて水位が急に上がると危険である。そのリスクを小さくするためには、106ページの図⑮のごとくO池の上と下に人工的な流路を造つて、これを通常の排水経路にして、排水口を広げておくと良い。

これにより池の水位上昇を半分を抑えることができる。図⑯はその過程の池の形状変化の推測図である。

氷河には、それぞれにいろいろの条件があるはずである。氷河の後退に伴つて末端に池ができるのは通常の変化だが、そのとき、池に排水路ができて水位が下がり、池がつながつて拡大（または縮小）するとき排水の量を増やせ



れば、池は形状を変えつつ安泰に成長すると思われる。排水路が広く広がらず、池の水位が上がり続ける場合は、いずれは決壊することになる。

氷河池の変化と流水の測定

現在の池の貯水量を、面積と断面形状による個々の池の体積で求め、測定できなかった池も加えた平均深さを等深線図から推測して6 mだとして、現時点の貯水量を推定すると、総合計は約160万 m^3 になる。この場合、氷河底からの流入と排出口からの排出が同じはずである。池の深さと大きさの変化に影響されて流入水は増減して、排出水量も増減する。その値は、雨期の3ヶ月の水量を平均の5倍だとすると、降雨量と池のストック量と排出量をバランスさせて考えることができる。流入する水は通常は約2日で排出される。雨期ではこの滞留期間は1日ほどになることになる。

水量（水位）の年間の変化を測定できると良いのだが、これには1〜2年間の計測ができる絶対圧水位計（HOBOMX2001ウオーターレベルロガー）がある。内面処理した鉄パイプを水中に沈めて直径3 cmの水位計を入れる。これで調査しにくい雨期の水量変化を知ることができ

る。

理想的な設置位置は、パンガの橋の付近だが、管理の点を考えて、ドゥード・コシにイムジャ・コーラが合流する手前の場所を考える。

コース途中のモン・ラの先、ポルツェ・タンガ（3680 m）の橋（写真④の矢印）付近は、ドゥード・コシ溪谷がほかの谷と合流する手前で道にも近く、設置の適地だと思ふ。この機器で観測値をリアルタイムで知れば、平常と違う流量の急増減を見て異常を知ることができるであろう。

氷河から流下する水量の変化が通年で分かると、氷河の様子が分かるだけでなく、水利用のためにも有用な情報になる。

この水の動きを図⑱にしてみた。

【第7章】 調査の結果

調査結果の要約

- 1、①藍色の池、②乳藍色、③乳青色、④乳灰色、⑤乳茶色の5種の池があり（この違いを写真はとらえている）、①②の藍色の池は、動かない凍土の上に独立してできてい

て、上流からの氷河の融水とは隔離している。③④⑤の乳青色・乳灰色、乳茶色の池との境は明確である（P 87空撮より）。乳藍色の池は、増水時に冠水して乳青色の池とながり、乳青色の水が流入していたと考えられる。そのときの増水レベルは約2 m～3 mであろう（P 105）。

2、④乳灰色、③乳青色の池は、池と池が地上と地下でつながっていて、上流からの雨水と融水が入り、氷河から流れる水の中継貯水池になっていて、乳色の水（氷河ミルク）を排出口（高度4710 m）から流出している（空撮図と地図の標高より。P 89）。

3、乳白色と乳青色の池の水深は、最大21 m（測定範囲）、面積は24万㎡、貯水量は約140万㎡である（池の形状と測定できた池の深度よりの推定）。この池の境はいずれ融けてなくなつて、1つの湖になると思われる。そのときの水位は現在の排水口のあるL池の水位にまで下がり、池の形は予測図のように小さくなる。そのときの貯水量は氷河底の深さによる（P 95）。

4、そのときの池の北端の氷河壁の高さは、今は計測できない氷河の厚みと氷河の減少量により決まる。池が拡大するとき氷河が消えていると氷壁はできず、氷河が残っていると、高い氷壁になる。その姿を予測断面図に表わし

た（P 107）。

5、水位低下のあった池は小さくなっている。特にB池、D池とL池において顕著で、これは下の池との堤が切れて水位が下がったためである。

6、池の最深部が氷河底に届いているかどうか、今回の測定結果からは考えることができない（これを知りたいが）。池の底は氷河底に届いていないと推定する。氷河の厚みは池の深さよりも大きいので、池の成長余地は大きい（U字谷の形状より推定）。1つの湖になったときの湖の面積は最大70 haで、これが深くなったときには最大容積3500万㎡まで成長可能である（ターミナル付近は土砂で浅くなつているので50 mとする。P 107）。

7、池の変化では、まず池と池の間の境がなくなつて池の数が減り、上部の池は水位が下がって小さくなることから起きる。最後には1つの氷河池になる。そのときの形状は空撮図に記入した予測線のとおりである（P 95）。

8、排出口の幅の測定値は10 m、深さは2 m、増水時を推定すると幅30 m、深さ4 m（P 106）。

9、この排出口の堰になつている岩が、氷の上に乗っているのか、基岩の上にあるのかは分からない。モレーンの凍土が融けるときに崩れる可能性はある。

10、排水口から流れ出る水は $9\text{ m}^3/\text{秒}$ （10月31日時点の計測）であり、増水時に水が来ているのは水路の両側が白色化している部分までである。この深さは測定していないが、周辺の物と比較して約 2 m （P105、103）。

11、この池は氷河から流れ下る水の短期間の中間貯留池として機能していることになる。意外な感じがするが、貯留期間は単純計算で雨期以外はほぼ2日間、雨期には1日である（P89）。

12、増水時の水のレベルは、写真の白色化した河床より推定する。流水の量と白色化の位置で考えるが、増水時の流量は5〜10倍か（P103）。

13、氷河の表面のかたちからは推測できないことだが、池からの排水が $9\text{ m}^3/\text{秒}$ だということは、ほぼ同量が氷河から流入していることである。氷河の河床に水の流路があつて、Gamara 氷河合流位置、ゴジュンバ・ツォ（下から5つ目の湖）の東の位置から、また、さらに上からの融水が氷河底を流れているはずである。暗渠のような岩の断面を見たが、このような流路がいくつもあると考えたい。これが壁面に露出していると、流水の痕が残るのであろう（P102）。

14、氷河のこの8 kmの間の流下は、少なくとも 20008

年以降は止まっている（2016年空撮とグーグルアースの過去写真より。P99）。

15、この氷河は痩せ細りが進行している。1974年12月空撮と2016年10月空撮を比較し、この横断面から沈下を読むと、40年間で 78 m 厚みが減っている（P100）。
16、この量は年間約 1600 万 m^3 （ $2\text{ m} \times 1\text{ km} \times 8\text{ km}$ ）となり、上部を含めた氷河全体の減少量はこれの数倍である。

17、降水量の測定値がないのだが、降水量に融水量が加わって排水量となる。その量の変化を下流の適地で通年測り、ドワード・コシの流量変化を長期に続けて見れば、氷河の状況を推定できる（P108）。

18、涵養域への降水を年間 4000 mm だと推定すると、総量は5億 m^3 （カトマンズ、ポカラなどの降雨量より推定、P104）。

19、この降水は主に夏季であるので、気温が 2°C 上がって標高で 300 m 平衡線が上昇すると、これにより面積で約 20 km^2 増え、雨期の3ヶ月の降雨量で 3000 m^3 となる。単純計算では氷河の融水は雨期の流水を約10%増やすことになる（P107）。

20、池の水位が 2 m 上がるとその総量は 320 万 m^3 であ

り、今は無難に貯水しているが、池の境がなくなり、面積が縮小して氷河の末端が氷壁になると、崩壊の可能性が出てくる。したがって、今後も観察が必要になる。末端が大きく池の上にせり出る可能性もあるが、安全に推移する可能性の方が高い。これは現在の氷床の深さ（今後の測定が必要）による（P107）。

21、氷河のなかに生える植物の1つの年輪が12mm直径で37年であった。広く植物調査を行えば、多くの知見が得られると考える。

調査より得られた結論

1、ネパール・ヒマラヤの代表的な氷河で、チョー・オユーの南にあるゴジュンバ氷河は流下が止まっていて、少なくとも下部8kmは移動がなく、痩せ細りつつある。ここは地球温暖化の指標になる。氷河の表面では池ができた水が抜けて消えたりして、年間約2mの速度で厚さが下がっている。

2、氷床の厚みは分からないが、通常のU字谷と比較してサイドモレーンの角度から約100mだと推定する。池の等深図から考えると、池の底は氷河の底に届いていないと思えるから、氷河の厚みは池の深さの最大値21mよりも

厚い。氷河の深さは、今後の変化予測のために調べたい点である。池の変化のウォッチも氷河の変化を知るのに役立つと思われる。

3、エンドモレーンには26の池ができています。その総面積は27万 m^2 、平均水深を6mとすると、総貯水量は約160万 m^3 である。そのうちの15の池は水の流入で拡大を続け、つながり、浅くなり、広くなり、小さくなり、最終的には1つの池になる方向で変化を続けている。

4、この池群の水位は、雨期には2〜3m上昇したと思える。その痕跡が白砂の原と岸と落ち口にある。その増水時の水は、雨期の降水と氷河の水の急激な融解により生まれたと考える。

5、白砂の原の成因は水篩と風篩ふうしによると考えるが、詳しい成因は解明できない。風篩を考慮することで、水位の上昇が2〜3mであることの理解ができる。

6、1つの池になるときは、現状の15の池の外を結んだ輪郭より小さくなり、また全般に深くなる。水面の高度はL池の高度になる。

7、10月末に排水口を通る水量は、9 m^3 /秒（10月31日）約80万 m^3 /日であった。氷河全体から流下するすべての水をこの排水口から吐き出している。これは130kmの取水

域に降る水（雪と雨）と氷河の融水である。雨期にはこの流水が5〜10倍になる。

8、増水時には流水が増え、V型の排出口が溢れるように水位が上がる。そのときは約2〜3 m水位が上がリ、100万 m^3 ほど水ストックが増えている。このとき池の面積は拡大していて、O池にも流入する。

9、平時の1日に落ち口を通る流量は80万 m^3 /日、雨期にはこれの5〜10倍が通過していることになる。これは仮定だが、雨期に130 km 2 の取水域に降る水が50 mm/日で続くとすると、700万 m^3 /日であり、平常時の水量の80万 m^3 /日の8倍の数字になる。これに氷河の融解量が変わることになる。氷河の下部の8 kmには5億 m^3 の水のストックがあるので、氷河にある水は降雨の量にほぼ近いことになる。

10、B池の北側に雪壁ができると、これが崩れる可能性もある。B池などに上部の池と下の池に高度差ができ、その境が切れるときには急な水流が生まれ、それが排水口への衝撃になることは容易に考えられる。そのときに排水口でどのようなことが起きるかは分からない。

11、安全と安心に向けて対処していく方法として考えられることは以下のとおりである。

① O池をバイパスとして活かすようにし、排水口を広くして雨期に起きる水位の上昇を減らすこと。これはO池の下部に水路を造っておき、増水時にO池に入った水がここを流れて本流とつながるようにしておくのが有効で、できるだけ水を下に流して雨期の水位上昇を小さくする。排出口の幅を上げ、溢れる水の水位を下げておくのである。

② 下流で水位の測定を通年で行ない、水量の変化をウォッチする。これの急激な変化で異常を知る。

③ 衛星の情報で変化をウォッチする。急激な変化には対応できないが、長期間やれば異常がつかめる。

④ この氷河の調査を継続する。ヒマラヤ氷河の代表例であり、変化がつかめるので、ほかの氷河も含めた災害防止と地球温暖化対策の指標として役立つ。

12、温暖化がある限り、氷河の流下停止と痩せ細りは止まらない。これは地球の危険信号として捉えることができる。2℃上昇したときには、(気温通減率0.6℃/100 mとする)、エンドモレーンの位置が、高度にして300 m上部になることになる。

それは今のターミナル・モレーンの位置が高度4700 mから高度5000 mになろうとすることで、その位置はゴキョからはるか上のゴジュンバ・ツォグらいとなる。

すなわち、そのときには今回調べた8kmの水河はなく、今の池の位置に小さい水河湖が存在することになる。この警告を登山のみならず、人間の活動に活かしたい。

クンブ地域とゴジュンバ水河の水河後退の調査隊 (略称:ゴジュンバ水河調査隊 JAC Ngozumba Glacier Investigation)

今回の計画の要点は以下のとおりである。

指導

調査研究指導: 岩田修二先生 (会員番号9111)
画像情報解析指導: 中田高先生 (広島大学)
画像入手後の活用: 藤田耕史先生 (名古屋大学)
解析への助言: 田中圭先生 (日本地図センター)

隊員構成

調査隊 (G隊): 隊長: 大森弘一郎 (4532)、隊員: リンジン・シエルバ、ガネツシユ・ライ
サポートS隊: 野本勇 (13072)
F隊: 岡内完治、シヤム・バハドール・ドンゴル

実行者: NPO法人 山の自然学クラブ・大森弘一郎

後援: 公益社団法人日本山岳会 担当: 神長幹雄

留守本部: 大蔵喜福・NPO法人 山の自然学クラブ理事

長

旅行手配代行: (株)ヒマラヤ観光開発 (担当: 丸山)

行動

全員: 2016年10月12日 羽田発10:35 TG683 バン
コク市内泊
13日 バンコク↓カトマンズ
14日 カトマンズ交渉
15日 カトマンズ、天候回復待機 (計画より1日遅れる)

- 16日 ヘリコプターでルクラへ
 17日 ルクラからマウンテン・フライト
 18日 ルクラから朝マウンテン・フライト、F隊はルクラ
 発カトマンズへ21日帰国。調査G隊・S隊ルクラ(2
 840m) ↓パグデイン (2610m)
 19日 パグデイン ↓ナムチェ・バザール (3440m)
 20日 ナムチェ・バザール ↓クムジュン (3700m)
 21日 クムジュン ↓クワンデ・ピーク (4200m) ↓ク
 ムジュン (3700m)
 22日 クムジュン ↓モン・ラ (3972m)
 23日 モン・ラ ↓ドーレ (4040m)
 24日 ドーレ ↓マツチエルモ (4400m)
 25日 マツチエルモ ↓タンナ着 (4700m・BC) (S隊
 行動)
- 26日 F池調査 (氷河池調査)
 27日 C池調査 (ゴキョヘ)
 28日 矮性落葉の原調査 (ゴキョ・ピーク登山)
 29日 M池調査 (ゴキョからタンナに帰る)
 30日 タンナ ↓パンガ (BCを移動) (↓パンガ)
 31日 L池排出口調査 (休養)
 1日 BC撤収 ↓ドーレ

- 2日 ドーレ ↓キンツマ
 3日 キンツマ ↓ナムチェ・バザール
 4日 ↓ナムチェ・バザール ↓パグデイン
 5日 ↓パグデイン ↓ルクラ
 6日 ルクラ ↓カトマンズ
 7日 カトマンズ 予備日
 8日 カトマンズ ↓帰国の途に 9日早朝羽田

お礼

今回の作業は、シエルバをはじめ、コックやヤクの御者や、ポーターが献身的に支えてくれたことで成功した。特にリンジンさんの適切なアドバイス、ライさんの率先した行動は有難かった。

こういうことに対するお礼の形がチップだと思うのだが、その習慣が我々にはない。ちょうど同宿したツーリストの知人に意見を聞き、1万〜4500ルピーの金額でお礼をした。その多少と渡す順位が重要であるとのことである。

最終日の夜、納会として皆が集まった。「JAC Ngazumba Glacier Investigation」とクリームで書いたケーキを作って

きてくれ、見知らぬお客さんにもふるまってもらった。

guide Rinjin sherupa、cook Ashish rai、yak driver Dawa
gelden Sherpa、asst guide Ganesh rai、assit cook Badiri rai、
cook helper Jivan rai、camera porter Bedram rai、以上7
名

11月5日の最終日の夜、すべて無事に終わってルクラの夜になった。皆に挨拶し。チップを渡し、彼らなりに飲み、楽しく終わった。

思わずエンドモレーンに咲くエーデルワイスを思った。厳しい環境にたたかれて、それでも立派に育っているたくましい花を思った。今回良く協力してくれた彼らにも、この花のように生きてほしいと心から思い、そのように挨拶して聞いてくれた。

私にとっては小さいながらチャレンジの日々であった。昭和35年にヒマルチュリに行ったとき、そこに居ながらやれなかったこと、やり残したことがあった。それから約50年経って今回の現地に行つて、与えられたチャンスを最大限に生かして成果にしたいと思っていたが、この報告がその結果である。完全な活動を目指していても、なかなか満足できないものである。

ご指導くださった岩田修二先生、中田高先生をはじめとする多くの先生方。ご協力くださった、岡内完治氏、野本勇氏、宮原巍氏、リンジン・シエルバ氏をはじめとする現地で助けてくれた人々。この調査行の実現のために尽力してくださり、またご寄付などのご援助を下さった多くの方々には厚くお礼申し上げます。

