

# プレモンスーン期における東部ヒマラヤの 氷河上の気象観測について

中島 暢太郎・樋口 明生

## A METEOROLOGICAL OBSERVATION ON A GLACIER IN EASTERN HIMALAYA DURING THE PRE-MONSOON SEASON IN 1967

By *Chotaro NAKAJIMA* and *Haruo HIGUCHI*

### Synopsis

The results of the meteorological observation carried out in Eastern Nepal from 21 April to 17 June in 1967 are described. This is our preliminary observation for the glacio-meteorological study in Himalaya.

Temperature is observed at 150, 100, 50, 25, 1, at, and 5 cm below the surface by use of thermister-thermometers on Yalung Glacier. Advection seems to have considerable effect upon the vertical distribution of the temperature. Net radiation is measured by use of a pyranometer. It exceeds  $1\text{ cal/cm}^2\text{ min}$  around midday. The results are compared with those obtained in Karakorum and Japan.

### 1. ま え が き

世界の屋根といわれるヒマラヤは、東はブラマプトラ川から、西はインダス川まで、東南東から西北西に弓なりに延びる約 2,400 km の大山系で、ヒンドスタン平原とチベット高原とを分かっている。ベンガル湾の北側は世界一の多雨地帯であり、モンスーンに支配される代表的な地域として有名である。一方、チベットは乾燥地帯であり、この間に横たわるヒマラヤは、気候の急変地帯であり、気候学的に興味の深い地域である。また、ヒマラヤは 8,000 m におよぶ高峰を多く含んでいるが、この地方の雲海は 6,000 m 位までのことが多いようである。したがって雲のあるときでも高峰は、雲の上に出ていることが多い。地表が雪で覆われているか、あるいは岩であるかによって、アルベドが異なるために、放射による地表面の温度上昇は異なる。8,000 m 級の高峰になると降雪量が少ないためか、風によって雪が吹き飛ばされて積らないためか、岩の露出していることが多く、日中の放射によって地表が暖められやすく、他の地域に較べて大きい上昇気流が発達する。この上昇気流はその発生する地点が高いためにきわめて上方にまで到達し、雲頂が 12,000 m にまでおよぶものも存在し、大気大循環に影響を与えるともいわれている。

このような大山脈に、湿潤な空気が吹きつけられると、降雪が起り、適当な地形の下では、氷河ができる。ネパール東部は、このような条件の揃っている所で、東部ヒマラヤにおける最も氷河の多い地域といえよう。この地域の氷河は一般に減衰期にあるといわれているが、氷河の盛衰は気候の長期変動の一つの指標と考えられ、こうした観点から氷河を研究し、全地球的な立場から気候変動を研究しようと考えた。

氷河の盛衰を調べるためには、氷河における熱収支を知る必要があるが、幸い1967年のプレモンスーン期に著者の一人樋口がネパールに行く機会を得たので、将来の本観測のための予備観測という意味で、東部ネ

パールのヤルン氷河周辺で、多少気象観測を行なったので報告する。

## 2. ネパールの気候

ネパールは東西約 800 km, 南北 150~200 km の東西に長い国で、北辺には標高 7,000~8,000 m の大ヒマラヤ山脈が東西に走り、南辺はヒンドスタン平原の北端の標高 200~300 m のタライ地区に接している。中央部には小ヒマラヤとも呼ばれる山地が東西に延び、これと大ヒマラヤとの間を中部高地と呼んでいる。このような地形のために、気候は南北で大いに異なっている。すなわち低地および中部では気温は概して高く、比較的一定しているが、北部のヒマラヤに入れば季節的变化は著しくなり、気候は大陸的な様相を帯びてくる。たとえば、中部に属する首都カトマンズ (標高 1,337 m) の月平均気温は Table 1 のようであり<sup>1)</sup> 年変化は少ない。

Table 1 Meteorological Data at Kathmandu (27°42'N, 85°20'E,  $h=1,337$  m)

|      | Temperature °C |      |      | Humidity % |      | Precipitation<br>mm |
|------|----------------|------|------|------------|------|---------------------|
|      | Max.           | Mean | Min. | 0800       | 1700 |                     |
| Jan  | 22.8           | 10.2 | -1.1 | 89         | 70   | 15                  |
| Feb  | 23.9           | 12.2 | 1.6  | 90         | 68   | 41                  |
| Mar  | 30.0           | 16.3 | 3.3  | 73         | 53   | 23                  |
| Apr  | 32.8           | 20.1 | 7.2  | 68         | 54   | 58                  |
| May  | 33.3           | 22.7 | 12.2 | 72         | 61   | 122                 |
| Jun  | 33.3           | 24.3 | 16.1 | 79         | 72   | 246                 |
| Jul  | 31.6           | 24.6 | 18.3 | 86         | 82   | 373                 |
| Aug  | 31.6           | 24.3 | 18.3 | 87         | 84   | 345                 |
| Sep  | 31.6           | 23.4 | 16.1 | 86         | 83   | 155                 |
| Oct  | 30.0           | 20.1 | 8.9  | 88         | 81   | 38                  |
| Nov  | 26.1           | 15.1 | 2.8  | 90         | 78   | 8                   |
| Dec  | 22.8           | 11.0 | 0.0  | 89         | 73   | 3                   |
| Year | 34.4           | 18.7 | -1.1 | 83         | 72   | 1428                |

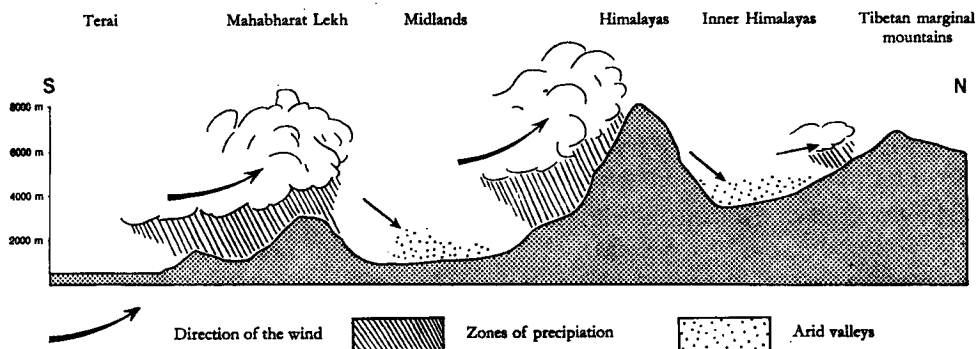


Fig. 1 Principal zone of precipitation in Nepal (after Hagen).

夏期にチベット高原の地面が暖められて上昇気流が起こり、そこに向かって風が吹きこむために、ネパールでは南風が卓越する。これと、この時期に北上した南東貿易風に起源をもつ南西風とが相まって、ベンガル湾上の湿潤な空気を運びこみ、これが東西に走る山地に出会うとそこで雨（または雪）を降らせる。これがモンスーン期である。この様子を模式的に表わすと Fig. 1 のようである<sup>2)</sup>。冬期は、地面が冷えるための下降気流の影響もあってネパールには北からの乾燥した空気が流れこみ、温度は低下する。

このようなモンスーンの始まる時期は東が早く、次第に西に移り、東では6月1日頃、西では20日頃である<sup>3)</sup>。終る時期は逆に西が早く10月1日頃で東は1週間程後である。ネパールの年間降雨量の大部分はこの期間中に集中している。モンスーンの雨をもたらす水蒸気の起源がベンガル湾であるため、さきの地形的影響と相まって、雨量は、東に多く西に少なく、南に多く北に少ない。これに関連して、山の雪線の高さは一般に南面で高く、北面で低くなっている。

氷河の形成には、適当な降雪量と、その降雪を貯留しておく地形（firn basin）とが重要な役割を果すことは論をまたない。降雪量はさきにのべたようにネパールでは東部に多く、これに適した地形もこの地方に多いことから、東部ネパールには、エベレストの麓のクンプ氷河（延長 24 km）やカンチェンジュンガ周辺の氷河など、数多くの大きい氷河が存在する。

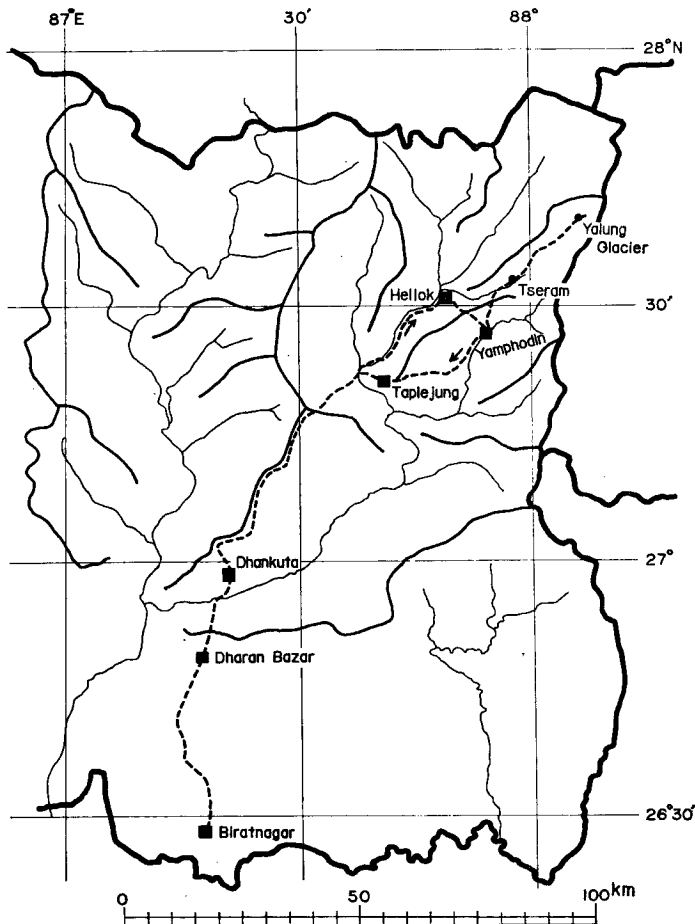


Fig. 2 Eastern Nepal.

ここで、対象とした氷河は、カンチェンジュンガ山群にあるヤルン氷河で、**Fig. 2** に示すようにネパールの東北部にあり、長さ約 20 km の氷河である。この付近の詳細図は **Fig. 3** に示す。この山群はカンチェンジュンガを中心として稜線がほぼ十字に交叉しており、各々の稜線の間に、この氷河のほか西北にカンチェンジュンガ、東北にゼム、東南にタルンの 3 氷河が流れている。

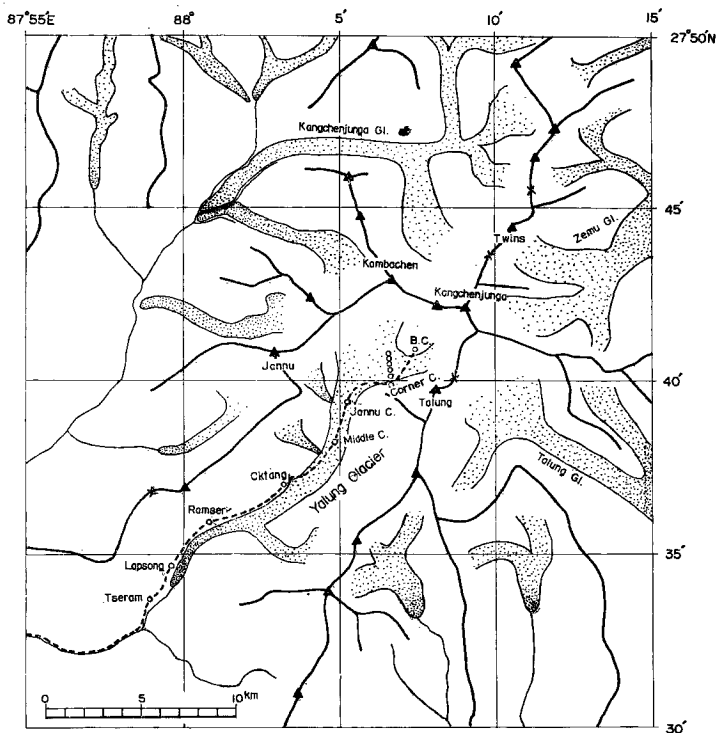


Fig. 3 Yalung Glacier.

### 3. 観測項目・器具

往路および帰路のキャラバン中は、雲量、雲形、雲向、気温、湿度、風向を観測し、氷河に滞在中は、このほかに風速、最高気温、最低気温、地上 150 cm までの気温の鉛直分布、地表・地中温度、net radiation を測定した。なお、期間中これらの気象要素以外に海塩核の観測をもあわせて行なった。

使用した器具はアスマン通風式乾湿球温度計、小型ロビンソン風力計、最高温度計、最低温度計、アスマンのファンを利用した通風式サーミスター温度計、地表・地中用サーミスター温度計、大気放射計などである。温度の鉛直分布の測定を容易にするために、ジュラルミン製の 3 本つなぎのポールを用い、サーミスター温度計を取り付けた座金を、上下にスライドさせて使用した。**Photo. 1** にセットされた観測用ポールを示す。

### 4. 観測結果と考察

1967年4月21日にタライの北辺にあるダランバザール (Dharan Bazar) を出発し、**Fig. 2** の点線沿いにキャラバンを行ない、5月8日ツェラム (Tseram) に着き、さらに氷河上を歩いて、5月15日に **Fig. 3** に示すコーナーキャンプ (Corner Camp) に着いた。ヤルン氷河に約半月滞在し、観測を行なった後、6月1日にコーナーキャンプを撤収し、ほぼ同じ道を経て、6月16日ダランバザールに戻った。この間に観測

Table 2 Results of Meteorological Observations on the way to Yalung Glacier, 21 April~15 May, 1967.

| Date  | Time<br>(LST) | Station      | Alt.<br>(m) | Cloud     | Cloud<br>Upper | Direct.<br>Lower | Temp.<br>(°C) | Humid.<br>(%) |
|-------|---------------|--------------|-------------|-----------|----------------|------------------|---------------|---------------|
| April | 20 1900       | Dharan Bazar | 300         | 1         |                |                  | 25.4          |               |
|       | 21 0630       | "            | "           |           |                |                  | 24.4          | 62            |
|       | 22 0622       | Dharapani    | 980         | 8Sc       |                |                  | 19.4          | 86            |
|       | 22 1530       | Murghat      | 280         | 10As      | NW             |                  | 28.4          | 48            |
|       | 23 0605       | "            | "           | 9Cs, Sc   | NW             |                  | 21.0          | 83            |
|       | 24 0555       | Debribhasi   | 1430        | 9Cs       | SW             |                  | 15.0          | 70            |
|       | 24 1900       | Sitowa       | 2120        |           |                |                  | 13.0          | 77            |
|       | 25 0555       | "            | "           | 7Cc, Sc   | SE             |                  | 10.8          | 84            |
|       | 26 0620       | "            | 2320        | 10Ac      | NNW            |                  | 9.2           | 93            |
|       | 27 0630       | Manglbharei  | 2580        | ×         | W              |                  | 9.2           | 98            |
|       | 28 —          | Sobua        | 2150        |           |                |                  |               |               |
|       | 29 0740       | Dobhan       | 690         | 9Ac       | NW             |                  | 21.0          | 83            |
|       | 29 1430       | "            | "           | 7Cc, Cb   | WNW            |                  | 27.2          | 56            |
|       | 29 1925       | "            | "           | 5Ac       |                |                  | 23.6          | 73            |
|       | 30 0000       | "            | "           |           |                |                  | 22.6          | 80            |
|       | 30 0600       | "            | "           | 6Ac       | SW             |                  | 20.7          | 92            |
|       | 30 1730       | Twonma       | 820         | 10St      | SW             |                  | 18.6          | 87            |
| May   | 1 0540        | "            | "           | 1Ac       | ?              |                  | 16.2          | 94            |
|       | 1 1815        | Thawa        | 1230        | 10St      | S              |                  | 22.2          | 68            |
|       | 2 0610        | "            | "           | 0—        | —              |                  | 15.8          | 76            |
|       | 2 1900        | Taplethok    | 1380        | 9?        |                |                  | 18.0          | 73            |
|       | 3 0600        | "            | "           | 3Ci, Ac   |                |                  | 15.0          | 90            |
|       | 3 1820        | Hellok       | 1750        | 10Nb      | W              |                  | 13.4          | 94            |
|       | 4 0600        | "            | "           | 0—        | E              |                  | 11.6          | 69            |
|       | 4 1820        | Bhahan       | 2640        | 10St      | SSW            |                  | 7.6           | 97            |
|       | 5 0555        | "            | "           | 0.5Ac, St | SW             |                  | 5.8           | 70            |
|       | 5 1930        | Yamphodin    | 2050        | ? ?       |                |                  | 13.2          | 69            |
|       | 6 0610        | "            | "           | 0         |                |                  | 11.2          | 71            |
|       | 6 1500        | Bedi         | 2150        | 10St      | NNW            |                  | 14.8          | 78            |
|       | 7 0615        | Yak Hut      | "           | 0—        |                |                  | 10.2          | 79            |
|       | 7 1800        | Cave         | 3030        | 7Ac, As   | W              |                  | 10.0          | 79            |
|       | 8 0600        | "            | "           | 10St      | ?              |                  | 7.6           | 97            |
|       | 8 1800        | Tseram       | 3750        | 10St      |                |                  | 4.4           | 91            |
|       | 9 0600        | "            | "           | 10St      |                |                  | 3.2           | 97            |
|       | 9 1800        | "            | "           | 10St      |                |                  | 4.2           | 94            |
|       | 9 2200        | "            | "           |           |                |                  | 5.2           | 80            |
|       | 10 0600       | "            | "           | 6As, St   | SE             |                  | 3.0           | 84            |
|       | 10 1800       | Rankyon      | 4210        | 10×       |                |                  | -0.4          | (100)         |
|       | 11 0600       | "            | 4200        | 0—        |                |                  | -0.8          | 100           |
|       | 11 1830       | Panlama      | 4600        | 10        |                |                  | +0.2          | 100           |
|       | 12 0630       | "            | "           | 2Ci       | W              |                  | -4.2          | 96            |
|       | 12 1800       | Middle Camp  | 4680        | 10×       |                |                  | -0.8          | (100)         |
|       | 13 0600       | "            | "           | 0—        |                |                  | -4.8          | 87            |
|       | 13 1800       | "            | 4800        | 6Cc, As   | W              |                  | +0.4          | 93            |
|       | 14 0715       | "            | "           | 10×       | ?              |                  | -2.4          | 80            |
|       | 14 1330       | "            | "           | 8Cc       | SW             |                  | +1.8          | 55            |
|       | 14 1930       | Jannu Camp   | "           | 1Cc       | W              |                  | -1.6          |               |
|       | 15 0600       | "            | "           | 6Ci       | W              |                  | -4.2          |               |

Table 3 Results of Meteorological Observations

| Date | Time<br>(LST) | Station      | Alt.<br>(m) | Cloud    | Cloud<br>Upper | Direct.<br>Lower | Temp.<br>(°C) | Humid.<br>(%) | Wind<br>(m/sec) |
|------|---------------|--------------|-------------|----------|----------------|------------------|---------------|---------------|-----------------|
| May  | 15 2040       | Corner Camp  | 5000        | 0        |                |                  | -5.4          | 87            |                 |
|      | 16 0700       | "            | "           | 0—       |                |                  | -6.4          | 90            |                 |
|      | 16 1540       | "            | "           | 2Cc      | W              |                  | +4.2          | 50            | W 3.3           |
|      | 16 1900       | "            | "           |          |                |                  | -3.6          |               |                 |
|      | 17 0615       | "            | "           | 6Ci      | W              |                  | -4.2          | 92            | 0               |
|      | 17 1830       | "            | "           | 7Cs, As  | W              |                  | -2.0          |               |                 |
|      | 18 0910       | "            | "           | 0—       | —              |                  | -2.0          |               | SW2.5           |
|      | 18 1157       | "            | "           | 1Ac      | ?              |                  | +1.0          | 40            | SW2.4           |
|      | 18 1455       | "            | "           | 4Ac      | SW             |                  | +2.0          | 67            | W 4.9           |
|      | 18 1755       | "            | "           | 10St     | ?              |                  | -2.4          |               | SW3.2           |
|      | 18 2045       | "            | "           | 10×      |                |                  | -4.2          |               | SW0             |
|      | 19 0605       | "            | "           | 0—       | —              | —                | -4.8          |               | S 1.2           |
|      | 19 0901       | "            | "           | 0—       | —              | —                | -1.8          | 19            | NE2.4           |
|      | 19 1147       | "            | "           | 4Cu      | N              |                  | 0.0           | 50            | SW3.5           |
|      | 19 1605       | "            | "           | 7St, Cu  | SW             | SW               | -0.8          | 81            | SW4.2           |
|      | 19 1850       | "            | "           | 10×      | —              | —                | -3.2          |               | 0               |
|      | 20 0545       | "            | "           | 0—       | —              | —                | -2.6          | 21            | SW1.7           |
|      | 20 1153       | "            | "           | 3Cu      |                |                  | +4.0          | 79            | SW4.1           |
|      | 20 1455       | "            | "           | 6Cu      | W              |                  | +3.5          | 66            | SW4.3           |
|      | 20 1755       | "            | "           | 4Nb, As  |                | NW               | -1.6          | 93            | SW0             |
|      | 20 2050       | "            | "           | 0—       | —              | —                |               |               | — 0             |
|      | 21 0630       | "            | "           | 0—       | —              | —                | -3.4          | 47            | SW0             |
|      | 21 1830       | Base Camp    | 5300        | 10×      |                |                  | -2.6          |               |                 |
|      | 22 0630       | "            | "           | 10Cs     |                |                  | -2.0          |               |                 |
|      | 22 0855       | "            | "           | 3Ci, Cc  | W              |                  | -0.6          | 89            | 1.7             |
|      | 22 1746       | "            | "           | 10×      | —              | —                | -1.8          |               | SW1.1           |
|      | 22 2100       | "            | "           | 0        |                |                  |               |               | SW2.9           |
|      | 23 0600       | "            | "           | 0—       |                |                  | -3.6          | 28            | NE3.6           |
|      | 23 0850       | "            | "           | 9Ci, Cs  | S              |                  | +2.4          | 22            | NE1.1           |
|      | 23 1755       | "            | "           | 4Ci, Cs  |                |                  | +0.8          | 66            | E 0             |
|      | 24 0605       | "            | "           | 10Cs, Cu | W              |                  | -4.2          | 36            | NE2.4           |
|      | 24 1500       | Advance Camp | 5680        | 10×      |                |                  | -3.2          |               |                 |
|      | 24 1800       | "            | "           | 10×      |                |                  | -3.6          | 96            |                 |
|      | 25 0840       | "            | "           | 2Cs      |                |                  | -4.8          | 49            |                 |
|      | 25 1545       | "            | "           | 3Cs, Ac  | W              | W                | 0.0           | 61            |                 |
|      | 26 0600       | "            | "           | 10Cs, Ac | W              |                  | -8.6          |               |                 |
|      | 26 1810       | "            | "           | 3Ac, Cs  | W              |                  | -6.2          | 94            |                 |
|      | 27 0900       | "            | "           | 0—       | —              | —                | -4.0          | 36            |                 |
|      | 27 1450       | Base Camp    | 5300        | 3Ac, Ns  | W              | E                | +1.6          | 73            | 5.0             |
|      | 27 1802       | "            | "           | 10×      | —              |                  | -2.8          |               | S 2.8           |
|      | 28 0855       | "            | "           | 1Cs      | —              | —                | +0.8          | 80            | 0               |
|      | 28 1748       | "            | "           | 9Cs, Ac  |                | E                | -1.2          | 88            | W 1.6           |
|      | 28 2050       | "            | "           | 0—       | —              | —                | -2.2          | 25            | N 2.3           |
|      | 29 0558       | "            | "           | 0—       | —              | —                | -5.4          | 19            | N 3.5           |
|      | 29 0920       | "            | "           | 0—       | —              | —                | +1.6          | 37            | 0               |
|      | 30 1220       | Corner Camp  | 5000        | 5Cu      | E              | W                | 15.8          | 74            | W 5.0           |
|      | 30 1315       | "            | "           | 5Cu      | E              | W                | 15.8          | 82            | W 5.1           |
|      | 30 1456       | Station 1    | 5022        | 7Cu      | E              | W                | 2.8           | 75            | W 3.3           |
|      | 30 1524       | " 2          | 5022        | 7Cu      | S              | W                | 4.4           | 68            | W 3.9           |
|      | 30 1555       | " 3          | 5012        | 6Cu, Ac  | W              | S                | 1.6           | 87            | W 1.7           |
|      | 30 1623       | " 4          | 5016        | 8Cu, Ac  | W              | E                | 2.1           | 79            | W 2.5           |
|      | 30 1658       | " 5          | 5018        | 8Cu, Ac  | S              | W                | +0.8          | 86            | W 0             |
|      | 30 1820       | Corner Camp  | 5000        | 10As, Cu |                | W                | +0.8          | 93            | W 4.0           |
|      | 31 0855       | "            | "           | 1Cu, Cs  |                | W                | +5.0          | 50            | W 0             |

at Yalung Glacier, 15~31 May, 1967.

| Temperature<br>Max. Min.<br>(°C) (°C) |       | 150  | 100       | Temperature (°C) |      |      |   |             | 0    | -5      | Net Radiation<br>(cal/cm <sup>2</sup> min) |       |
|---------------------------------------|-------|------|-----------|------------------|------|------|---|-------------|------|---------|--------------------------------------------|-------|
|                                       |       |      |           | 50               | 25   | 1    |   |             |      |         |                                            |       |
|                                       |       | 2.9  | 3.2       | 3.5              | 2.9  | —    | — | —           | —    | —       | 0.468~                                     | 0.433 |
|                                       | -11.5 |      |           |                  |      |      |   |             |      |         |                                            |       |
| +13.3                                 | -8.9  | 3.2  | 3.5       | 2.9              | 3.5  |      |   | 2.4         | 2.4  | 0.877~  | 0.912                                      |       |
|                                       |       | 7.0  | 7.3       | 6.7              | 7.4  | 16.5 |   | 4.5(11.5)   | 6.6  | 1.0 ~   | 1.0                                        |       |
|                                       |       | 3.2  | 2.9       | 4.5              | 5.3  | 7.0  |   | 9.8         | 14.7 | 0.655~  | 0.596                                      |       |
| +7.5                                  |       | -2.5 | -2.5      | -2.5             | -2.6 | —    |   | 0.2         | 9.5  | -0.024~ | -0.036                                     |       |
|                                       |       | -4.4 | -4.3      | -4.2             | -3.9 | —    |   | -1.0        | 2.0  | -0.027  |                                            |       |
|                                       | -12.7 | -6.0 | -5.5      | 6.0              | -7.0 | -5.5 |   | -5.5        | -4.5 | -0.133~ | -0.012                                     |       |
|                                       |       | -2.2 | -1.5      | 0.2              | -0.2 | 9.5  |   | 12.5        | 3.6  | 0.228~  | 0.266                                      |       |
|                                       |       | 3.2  | 2.9       | 2.9              | 3.3  |      |   | 13.5(21.0*) | 15.0 |         |                                            |       |
|                                       |       | -1.2 | -1.1      | 0.6              | -0.3 | 11.0 |   | 11.0        | 14.0 | 0.071~  | 0.023                                      |       |
|                                       |       | -3.3 | -3.5      | -3.5             | -3.2 | -2.0 |   | 0.3         | 4.1  | -0.030~ | -0.036                                     |       |
|                                       | -9.1  | -2.4 | -2.5      | -3.5             | -5.2 | —    |   | -3.3        | -1.1 | -0.133~ | -0.079                                     |       |
|                                       |       | 5.5  | 5.7       | 7.0              | 7.5  | 10.0 |   | 26.0        | 14.0 |         |                                            |       |
|                                       |       | 4.2  | 3.9       | 5.0              | 5.2  | 9.5  |   | 18.7        | 17.3 | 0.807~  | 0.737                                      |       |
| +8.0                                  |       | -2.1 | -2.1      | -1.8             | -1.7 | -0.5 |   | 2.0         | 8.5  | -0.073~ | -0.139                                     |       |
|                                       |       |      |           |                  |      |      |   | -2.5        |      | -0.127~ | -0.127                                     |       |
|                                       |       | -2.2 | -2.2      | -2.5             | -3.5 | -1.7 |   | 4.5         | 0.7  | 0.187~  | 0.339                                      |       |
|                                       | -6.5  |      |           |                  |      |      |   |             |      |         |                                            |       |
|                                       |       | -1.0 | -2.0      | -2.0             | 0.8  | -1.5 |   | 1.0         | 1.0  | 0.164~  | 0.702                                      |       |
|                                       |       | -1.5 | -1.6      | -1.5             | -1.3 | -1.2 |   | 0.0         | 0.5  | -0.018~ | -0.042                                     |       |
|                                       |       |      |           |                  |      |      |   |             |      | -0.133~ | -0.127                                     |       |
|                                       | -7.1  | -2.8 | -2.9      | -3.3             | -3.6 | -4.5 |   | -5.0        | -4.7 | -0.103  |                                            |       |
|                                       |       | 6.0  | 3.8       | 3.0              | 3.7  | 5.0  |   | 1.0         | 0.1  | 0.655~  | 0.702                                      |       |
| +14.5                                 |       | 0.5  | 0.5       | 0.9              | 1.1  | 0.0  |   | -0.5        |      | -0.139~ | -0.158                                     |       |
|                                       | -6.9  | -3.4 | -3.7~-4.0 | -4.4             | -4.8 | -6.0 |   | -6.8        | -1.8 | -0.103~ | 0.620                                      |       |
|                                       |       |      |           |                  |      |      |   |             |      |         |                                            |       |
|                                       | -10.7 |      |           |                  |      |      |   |             |      |         |                                            |       |
| +10.1                                 |       | 2.0  | 1.5       | 2.0              | 3.0  | 3.2  |   | —           | —    | 0.709~  | 0.721                                      |       |
|                                       |       | -2.6 | -2.4      | -1.7             | -1.8 | -1.6 |   | —           | —    | -0.048~ | -0.048                                     |       |
|                                       | -3.5  | 3.0  | 4.1       | 3.5              | 3.5  | 5.5  |   | —           | —    | 0.904~  | 0.904                                      |       |
| +5.6                                  |       | -1.9 | -1.8      | -1.5             | -1.3 | -0.5 |   | —           | —    | -0.109~ | -0.164                                     |       |
|                                       |       | -2.3 | -2.5      | -2.3             | -2.3 | -2.5 |   | —           | —    | -0.182~ | -0.182                                     |       |
|                                       |       | -5.5 | -5.5      | -5.7             | -5.6 | -6.1 |   | -6.0        | -0.5 | -0.152~ | -0.139                                     |       |
|                                       |       | 1.5  | 2.0       | 3.4              | 4.5  | 4.2  |   | 12.0        | 2.0  | 0.924~  | 0.971                                      |       |
|                                       |       | 14.5 | 14.6      | 13.0             | 13.0 | 13.4 |   | 30.0        | 18.2 |         |                                            |       |
|                                       |       | 8.3  | 8.9       | 9.1              | 9.0  | 13.0 |   | 27.5        | 17.7 |         | 0.485                                      |       |
|                                       |       | 5.0  | 4.5       | 3.8              | 4.2  | 4.6  |   | 0.9         | 1.1  | 0.743~  | 0.363                                      |       |
|                                       |       | 7.7  | 6.8       | 6.8              | 7.0  | 8.5  |   | 12.4        | 9.0  | 0.772~  | 0.433                                      |       |
|                                       |       | 4.0  | 3.8       | 4.2              | 3.0  | 2.6  |   | 1.2         | 1.5  | 0.433~  | 0.421                                      |       |
|                                       |       | 3.5  | 3.4       | 3.3              | 3.6  | 4.2  |   | 5.2         | 7.0  | 0.304~  | 0.158                                      |       |
|                                       |       | 1.9  | 1.8       | 1.7              | 1.7  | 1.6  |   | 1.8         | 0.7  | 0.064~  | 0.058                                      |       |
| +20.5                                 |       | 1.3  | 1.2       | 1.2              | 1.5  | 1.7  |   | 5.0         | 10.0 | -0.121~ | -0.061                                     |       |
| +0.2                                  |       | 9.5  | 9.5       | 9.5              | 9.3  | 9.0  |   | 33.0        | 12.5 | 0.807~  | 0.819                                      |       |

Table 4 Results of Meteorological Observations on the way back from Yalung Glacier, 1~30 June, 1967.

| Date | Time<br>(LST) | Station      | Alt.<br>(m) | Cloud    | Cloud Direct |       | Temp.<br>(°C) | Humid.<br>(%) | Wind |
|------|---------------|--------------|-------------|----------|--------------|-------|---------------|---------------|------|
|      |               |              |             |          | Upper        | Lower |               |               |      |
| June | 1 0650        | Ramser       | 4320        | 10Ac     | ?            |       | 5.8           | 78            |      |
|      | 1 1830        | Sannro Con   | 3330        | 10Ac     | SW           |       | 10.6          | 93            |      |
|      | 2 0600        | "            | "           | 9Ac, As  | W            |       | 8.8           | 95            | E    |
|      | 2 1805        | Lasse        | 3370        | 10×      | E            |       | 15.8          | 96            | ?    |
|      | 3 0600        | "            | "           | 10×      |              |       | 14.0          | 90            |      |
|      | 3 1830        | Yangphodin   | 2060        | 10St     |              | W     | 18.8          | 96            |      |
|      | 4 1500        | "            | "           | 10St, Cu | W            | W     | 21.8          | 71            |      |
|      | 4 1900        | "            | "           | 10As, Ac | W            |       | 17.0          | 85            |      |
|      | 4 2100        | "            | "           | 7?       | ?            | ?     | 16.4          | 88            |      |
|      | 5 0630        | "            | "           | 10St     |              |       | 15.4          | 94            |      |
|      | 5 1920        | Mamangkhi    | 1840        | 10Ac     | ?            | ?     | 18.6          | 74            |      |
|      | 6 0610        | "            | "           | 10Ac     | W            | S     | 18.0          | 76            | E    |
|      | 6 1900        | Kesheba      | 2010        | 10St     | ?            |       | 15.4          | 78            |      |
|      | 7 0600        | "            | "           | 8Ac      | W            | N     | 17.0          | 63            |      |
|      | 7 1740        | Tembhewa     | 2440        | 10Ac     | S            | W     |               |               |      |
|      | 7 1820        | "            | "           | 4Cs, Ac  |              | W     | 13.4          | 89            |      |
|      | 8 0600        | "            | "           | 10St     |              |       | 13.0          | 98            |      |
|      | 9 0630        | Taplejung    | 1780        | 10Ac     |              | S     | 17.8          | 91            | W    |
|      | 9 1900        | "            | "           | 10St     |              |       | 18.2          | 91            |      |
|      | 10 0600       | "            | "           | 10Sc     |              | S     | 16.8          | 90            |      |
|      | 11 0630       | "            | "           | 10St     |              | N     | 17.4          | 92            |      |
|      | 11 1745       | Banjagara    | 1000        | 10Ac     |              | S     | 22.2          | 93            | W    |
|      | 12 0540       | "            | "           | 10St     |              |       | 21.6          | 93            |      |
|      | 12 1815       | Pass         | 2780        | 10St, ×  |              |       | 12.4          | 98            | NW   |
|      | 13 0605       | "            | "           | 10St, Ac |              | W     | 11.2          | 98            | E    |
|      | 13 1800       | Manglbharei  | 2640        | 10As, St | W            | W     | 12.4          | 93            | W    |
|      | 14 0540       | "            | "           | 10St, ×  |              | W     |               |               | W    |
|      | 14 2040       | Situwa       | 2150        | 10×      |              | W     | 15.0          | 98            | W    |
|      | 15 0550       | "            | "           | 10×      |              |       | 14.0          | 98            | E    |
|      | 15 2140       | Murghat      | 360         | 8Ac      |              |       | 25.4          | 88            | W    |
|      | 16 0605       | "            | "           | 10St     |              | E     | 24.0          | 93            | W    |
|      | 16 2340       | Dharan Bazar | 300         | 6Ac      |              |       | 26.8          | 78            |      |
|      | 17 0950       | "            | "           | 10As     |              |       | 27.4          | 75            | E    |
|      | 21 0800       | Kathmandu    | 1337        | 5Cs, Cu  |              |       | 21.6          | 83            |      |
|      | 27 1120       | "            | "           | 10Cu, St |              | S     | 26.4          | 68            |      |
|      | 30 1135       | "            | "           | 6Cu, Ac  |              | N     | 26.8          | 58            |      |

した結果を一括して、Table 2~4 に示す。Table 2 は往路、Table 3 は氷河上、Table 4 は帰路の観測結果である。

期間中、午前6時（前後1時間以内）に観測した気温と湿度を、観測点の標高とともに Fig. 4 示す。気温は標高が増すにつれて下がり、往路では 4,000 m を越える辺りで 0°C 以下となっている。氷河滞在中の最高、最低気温も同図に示したが、日較差は20度前後である。同期間中の京都における日較差は 14.2°



Photo. 1 Instruments set on the pole.

であり、富士山における5月の平均は  $6.0^{\circ}$  であるから、これらに較べて、ヤルン氷河における日較差は、かなり大きいことがわかる。**Table 1** に示された、カトマンズの日較差もやはり20度前後であり、これはと

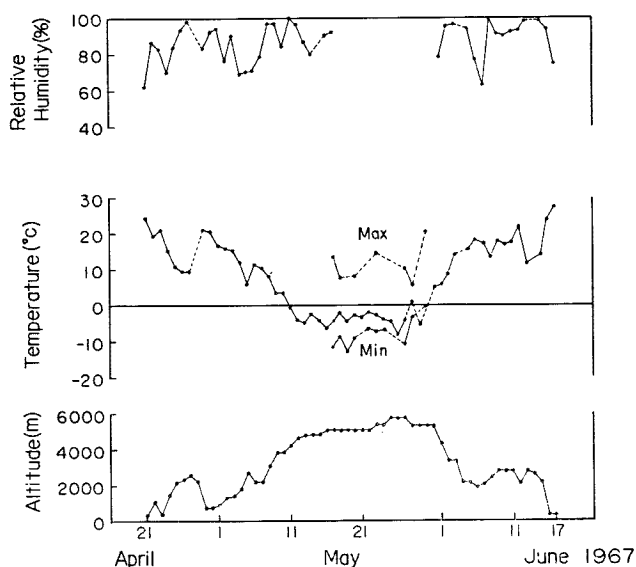


Fig. 4 Daily temperature and relative humidity at 0300 LST in Eastern Nepal.

くに氷河だけに限ったことではなく、この辺りの気温変動の一つの特徴といえよう。相対湿度も同図に示されているが、とくに高度との相関はないようである。なお、気温が零度より低い場合には湿球が凍結したためか、よい結果が得られなかった。

**Fig. 4** の気温を横軸に、測点の標高を縦軸に図示すると **Fig. 5** のようになる。図中、黒丸は往路に、白丸は帰路に関するものである。実線および点線は一般に自由大気中の高度と気温との関係を示すといわれている  $0.6^{\circ}/100\text{m}$  の勾配を示している。この図によると、測定値は割合これらの線に近い分布を示している。帰路（6月前半）では、往路（4月下旬～5月前半）に比較して、約4度気温が上昇していることが明らかである。これは、6月前半にはこの地域はすでにモンスーン期に入り、南からの暖気団が進入している

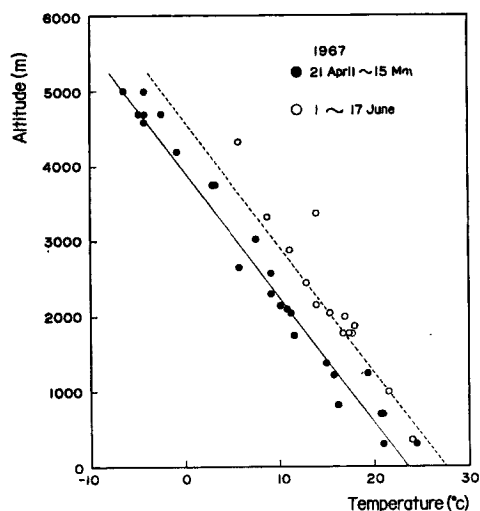


Fig. 5 Relation between temperature at 0600 LST and altitude.

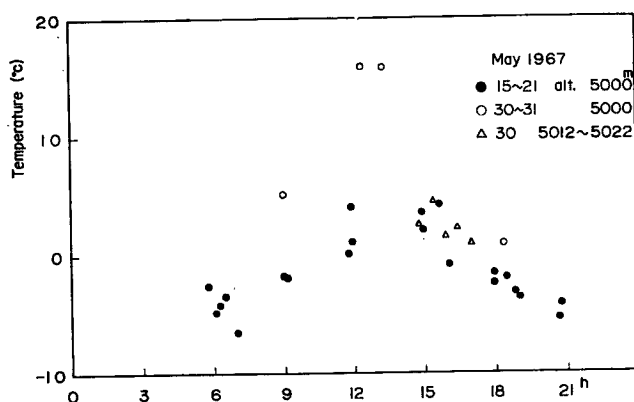


Fig. 6 Diurnal variation of temperature at Yalung Glacier, 15~30 May, 1967.

ことを示すものと思われる。

氷河上における、5月後半の気温を時間を横軸にとって図示すると、Fig. 6 のようである。黒丸印は5月15日~21日の、白丸は30日~31日のコーナーキャンプにおける値、三角印は30日の氷河上の測点1~5（後述）における値である。自記の器械がなかったので完全な日変化はわからないが、12時頃の白丸が示すように、天気によれば日中かなり気温は高くなることがわかる。

Fig. 7 は、1964年10月に中部ネパールのアンナプルナ南氷河（28°32'N, 83°52'E）の標高 4,000 m の地点で樋口が観測した気温の自記記録である。22日、23日は昼頃から曇り、24日、25日は快晴であった。時期、地点ともに異なるけれども、日変化の様子はほぼ同様であると考えられる。すなわち、気温は日の出とともに急激に上昇し、天気がよければ昼過ぎに最高となり、以後急激に下降し、日の出直前に最低となる。晴天の日の日較差は20度前後である。途中で曇ってくれば、気温はその時から下降し始める。観測期間中は、このような例が多かったが、このことは熱収支を論ずるときに、重要な因子となるのであろう。

Fig. 8 は同じく コーナーキャンプで測定した 気温および地表・地中温度の鉛直分布の時間的変化を示す

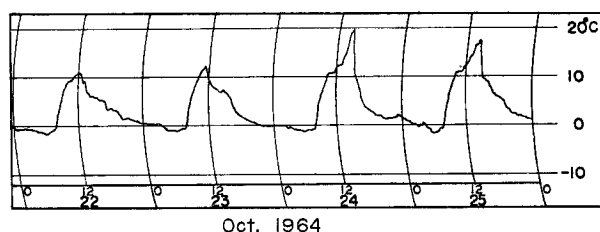


Fig. 7 Record of temperature at Annapurna South Glacier ( $28^{\circ}32'N$ ,  $83^{\circ}52'E$ ,  $h=4000m$ ), 22~25 Oct., 1964.

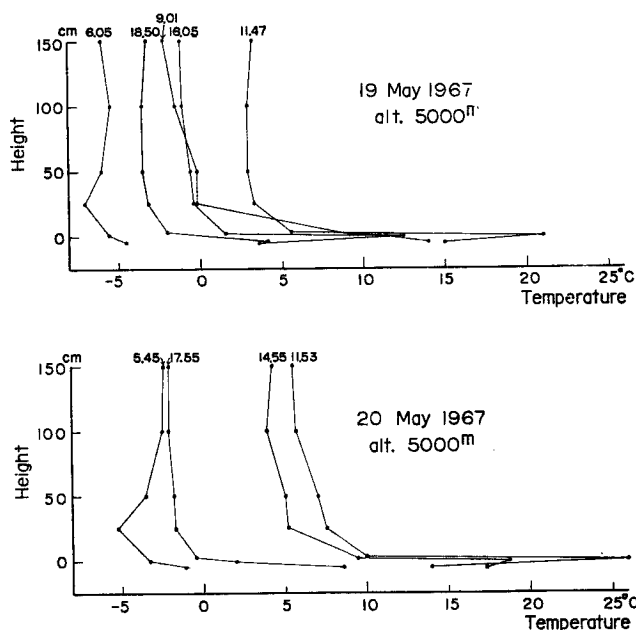


Fig. 8 Vertical distribution of temperature at Corner Camp at Yalung Glacier.

ものである。図中、折線の上の数字は観測時刻を示している。ここの地表は、大部分は砂で、所々に苔が生えている。日の出は現地時間で6時14分、19日は朝は快晴、前夜に雪が降り5cmの積雪があった。昼頃には雪は大部分融けていた。この頃から曇りとなり、17時頃には濃霧、雪がちらついた。この図によると、日の出直前には地表より地中の方が少し暖かく、地上25cmに最低気温がみられるが、9時頃には、地表の温度が最高となり、地表近くの空気と地中の温度はそれにひきずられているような形を示している。11時47分の観測でもこの傾向は同様であるが、全体的に温度が上昇している。16時5分になると、地表温度の方が地中温度より低くなり、地表の冷却により地中から熱を奪っていることを示している。ところが気温については、逆の関係となり、空気が地面で暖められているような形になっている。これは、他の場所で冷やされた冷たい空気が移動して来たと考える方がよさそうである。同様な移流がクンプ (Khumbu) 氷河の観測において見られたと Miller<sup>4)</sup> は報じている。

5月20日は積雪はなく日の出前の気温は前日に較べると3度ほど高いが、形は同じである。他の時刻に

ついて対比してみても同様で、この日の方が全般的に温度が高いが鉛直分布の形自身は類似のものである。

コーナーキャンプ周辺の ヤルン氷河本流は幅約 2 km で **Photo. 2** に見られるように、幾条かのモレーン(堆石)が流下方向に縞のように並んでいる。地表面の性質によって、このような温度分布は当然異なるはずであるが、これを調べるために、種々の地表面に関する 同様な観測を行なった。**Fig. 9** はその結果を示している。上図は、前図と同様コーナーキャンプにおける測定値である。下図は **Fig. 3** 中のコーナーキャンプの北側に並んだ氷河上の測点で観測した値である。測点の番号は南から1, 2の順である。図中、観測時刻の後のカッコの中の文字は、表面状態を示しており、I は表面が雪または氷で白い所、M は表面が堆石で覆われている黒い地点を示している。測定状況を **Photo. 3~7** に示す。各測点は、標高差がほとんどなく、全体的に気温はコーナーキャンプにおける、13時15分と18時20分の観測値との間におさまっている。

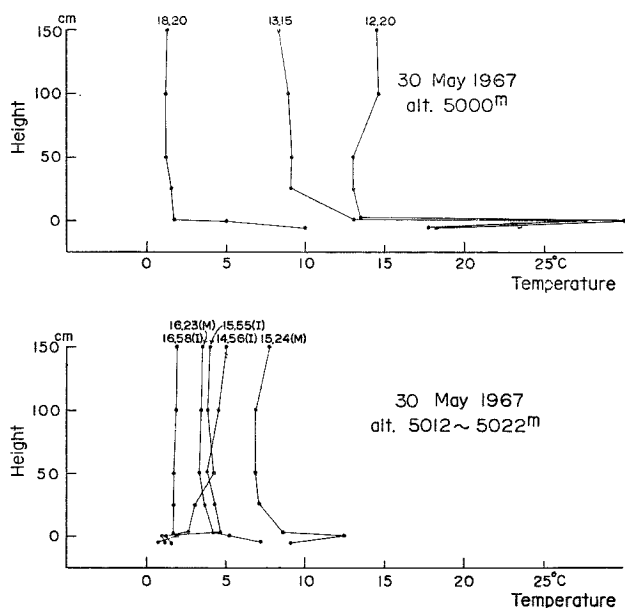


Fig. 9 Vertical distribution of temperature at Corner Camp (upper) and at Station 1~5 (lower) on Yalung Glacier.

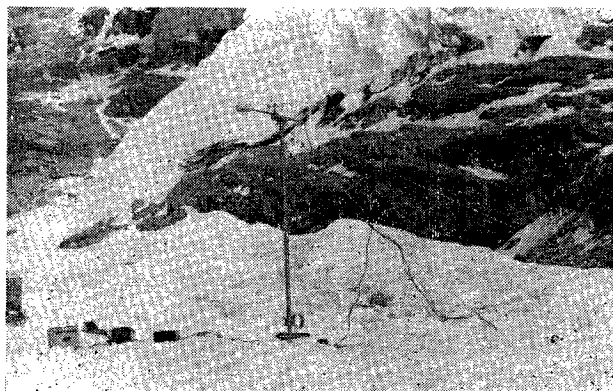


Photo. 3 Station 1 on Yalung Glacier.

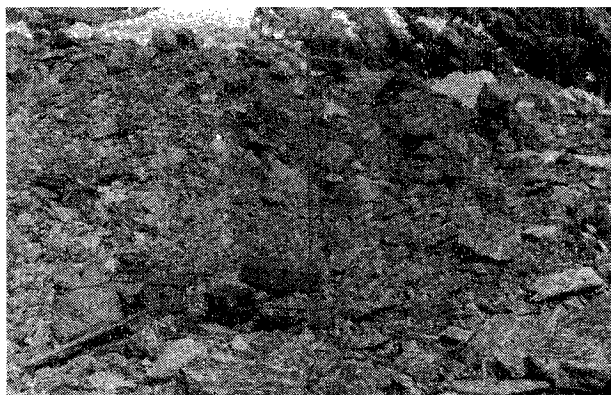


Photo. 4 Station 2 on Yalung Glacier.

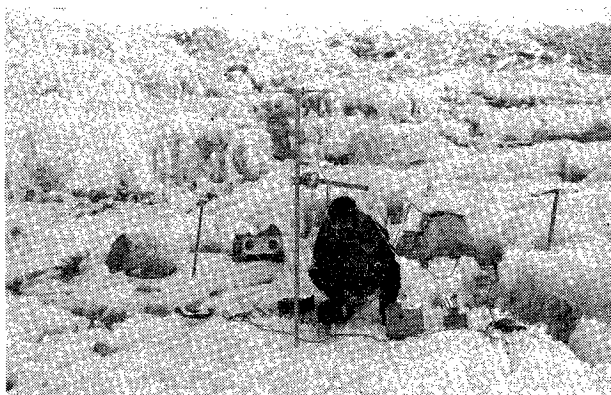


Photo. 5 Station 3 on Yalung Glacier.



Photo. 6 Station 4 on Yalung Glacier.



Photo. 7 Station 5 on Yalung Glacier.

モレーン上で観測した15時24分と16時23分の値は、地表付近の温度勾配は小さいけれども、コーナーキャンプで得られたものと類似の形をしているが、雪面上の他の3つはかなり異なった様相を示している。すなわち、夕方の冷える時期に、地表面が最低温度となり、空気および氷から熱を奪っているようである。このような形は、これの他に、23日および24日にベースキャンプで得られた結果にも見られる。

つぎに、コーナーキャンプおよびベースキャンプで測定した net radiation について述べる。測定には(株)東亜技術センター製の大气放射計を使用した。これは、銀・コンスタンタンの熱電堆により、上下2枚の銀板の温度差を測定する放射計で、結露と風の影響を防ぐために、受感部は0.05 mm 厚のポリエチレンフタレート製の風防で覆われている。測定波長は  $30\mu$  までである。観測値をまとめて、Fig. 10 に示す。図の横軸は時間である。丸印はコーナーキャンプにおける測定値、×印はベースキャンプにおける測定値である。破線で結んだのは5月19日の値、点線で結んだのは翌20日の値である。携行した放射計が、フルスケール  $1\text{cal/cm}^2\text{min}$  のものであったので、昼頃には指示計の針が振り切れて測定不能となり、最大値が得られなかった。一般に net radiation は夜間は、地表からの長波放射によりマイナスであるが、日の出とともに急激に上昇し、正午前後に最大となり、日没と同時にふたたびマイナスになる様子がこの図からわ

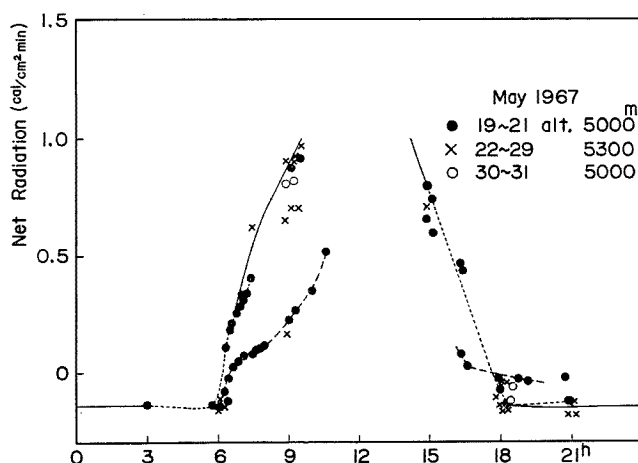


Fig. 10 Diurnal variation of net radiation at Yalung Glacier (broken line for 19 May, dotted line for 20 May).

かる。最大値は  $1\text{ cal/cm}^2\text{ min}$  を越え、かなり大きな値となるようである。破線で結んだ19日と点線で結んだ20日の記録の相違（6時頃の立ち上り直後の差）は、両日とも晴天であったが、19日は積雪のためアルベドが大きくなり、net radiation があまり大きくならなかったことによるものと思える。9時以後は、曇りで太陽からの放射がさえぎられたために小さく現われているのであろう。この日（19日）は夕方まで霧のため他の日と異なった様相を示している。

地表面における熱収支に関しては、雪や氷をも含めて考えるとき net radiation  $S$  は地下への熱の移動  $B$ 、空気への熱の移動  $L$ 、水の気化の潜熱  $V$ 、および雪または氷の融解の潜熱  $M$  によって表わされる。すなわち  $S = B + L + V + M$  で表わされる。Fig. 10 に示した値は  $S$  であり、 $B$  は地表面下2点の温度勾配を測定し、熱伝導度を仮定すれば算出でき、 $L$  についても同様である。 $V$  は地上2点での水蒸気量を測定し、係数を仮定すれば求まる。 $M$  は融雪量がわかれば定まる。瀬尾<sup>5)</sup> は、雪の上で観測を行ない、他のすべてを測定して逆に  $M$  の値を求め、雪面では  $M$  が重要な役割りを果たすことを指適している。我々の観測は資料が不十分であり、熱収支を論ずるに至らなかった。

比較のために、Untersteiner<sup>6)</sup> がカラコルムのチョゴルマ (Chogo Lungma) 氷河における標高 4,000 および 4,300 m の地点で行なった短波 net radiation の測定値を Fig. 11 に示す。時期は、われわれの観測より半月から2カ月ばかり遅いが、ここでも6月中旬以降は、日中の net radiation は  $1\text{ cal/cm}^2\text{ min}$

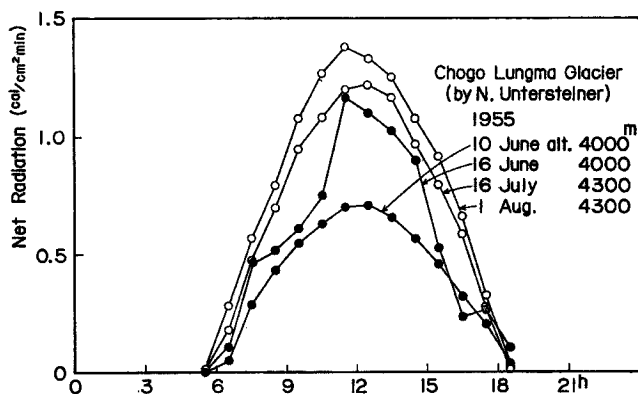


Fig. 11 Diurnal variation of net radiation of short wave obtained at Chogo Lungma Glacier in Karakorum (after N. Untersteiner).

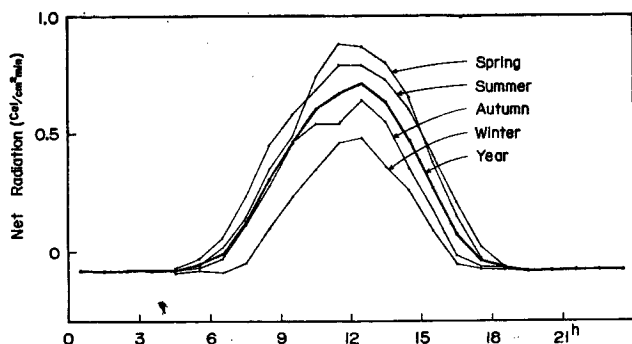


Fig. 12 Diurnal variation of net radiation on bare ground at Asakura, Kochi, in 1955 (after T. Seo).

を越えており、全体の形もかなりわれわれの観測値と一致したものである。他にも、1963年の米国のエベレスト登山隊に同行した Miller<sup>4)</sup> がクンブ氷河で放射を測っているが、較正值が示されていないため、直接比較することができない。Bishops らはエベレストの近くのミンボ谷 (Mingbo Valley) の標高 5,700 m の地点 (Silver Hut Camp) で観測された全入射量の最大値は  $1.76 \text{ cal/cm}^2 \text{ min}$  であったと報じている<sup>7)</sup>。参考のために、日本における測定値を Fig. 12, 13 に示す。これらは、瀬尾<sup>5)</sup> の観測結果であり、Fig. 13 は高知市朝倉における、1955年観測の結果であり、運動場の裸地における net radiation の四季別の日変化と年平均値である。Fig. 13 は標高 900 m の岐阜県蛭ヶ野において1956年2月13日～15日に行なわれた2～3 m の積雪上での観測値である。これらの図と Fig. 10 とを比較すると、これらは最大値が、かなり小

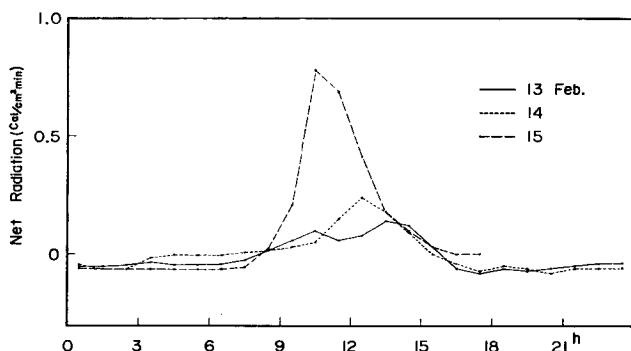


Fig. 13 Diurnal variation of net radiation on a snow surface at Hirugano, Gifu ( $h=900\text{m}$ ), in 1956 (after T. Seo).

さく  $1 \text{ cal/cm}^2 \text{ min}$  を越えていない。また、夜間の放射量も小さい。このことは日本の方が高緯度にあるため太陽の高度が低いこと、測点の標高が低いこと短波域での減衰が大きいこと、空気中にゴミや水蒸気が多いため入射が遮られることなどに起因するであろう。逆にいえば、ヒマラヤではこれらの条件が反対になるため昼間はかなり大きい熱量が地面に与えられ、さきに述べた上昇気流の発達を促しているといえるだろう。

## 5. あとがき

以上著者らは、氷河の熱収支を調べるために1967年4月から6月に東部ネパールのヤルン氷河で行なった気象観測の結果を述べ、他の2, 3の氷河における観測の結果などと比較してみた。その結果、気温日較差が大きいこと、氷河上の気温分布に関しては移流の効果を考えねばならないこと、日中の net radiation はかなり大きく、少なくとも  $1 \text{ cal/cm}^2 \text{ min}$  を越えることなどがわかった。

今回の観測は著者の一人と学生一人という小さい隊で行なったものであり、観測器材も多量に携行することができず、期間も限られていたので、十分な観測をすることができず、予備観測の域を出なかった。とくに自記できる器械がなかったのは痛手であった。

さきに述べたように、ヒマラヤの存在は、気候学的に重要な意味をもっており、また、氷河は気候を支配する因子の一つの指標と考えられるので、将来このような観点から氷河を研究して行きたい。氷河の研究は、決して進んでいるとはいえず、氷河そのものについても不明の点が多いが、将来、種々の観点から氷河を研究するために、関係各大学で構成されるヒマラヤの氷河総合調査隊のようなものを派遣したいものである。

最後に、この研究を進めるにあたって、いろいろ有益な御意見をお寄せ頂き、資料をお贈り頂いた、岡山

大学農業生物研究所の瀬尾琢郎助教授，および名古屋大学理学部水圏物理研究施設の樋口敬二教授に感謝の意を表する次第である。なお，一緒に旅行をし，観測に協力して頂いた京都大学農学部大学院の松田隆雄君に紙面を借りて御礼申し上げる。

#### 参 考 文 献

- 1) 畠山久尚：アジアの気候，1964，p.425.
- 2) Hagen, T.: Nepal, 1961, p.42.
- 3) 1)と同じ，p.76.
- 4) Miller, M.M.: Glacio-Meteorology on Mt. Everest in 1963: The Khumbu Glacier of Chomolongma in Northeastern Nepal, Weatherwise, Aug. 1964, pp.167—179.
- 5) Seo, T.: A microclimatological Study of Thermal Exchange at the Earth Surface (III), Meteorological Notes of the Meteorological Research Institute, Kyoto University, 2—17, 1957—1958, pp.25—35.
- 6) Untersteinear, N.: Glazial-meteorologische Untersuchungen in Karakorum, Arch. Met. Geph. Biokl. B. Bd.8, H.1, 1957, p.16.
- 7) Bishop B. C., A. K. Ångström, A. J. Drummond, and J. J. Roche: Solar Radiation Measurements in the High Himalaya (Everest Region), Journal of Applied Meteorology, Vol.5, No.1, Feb. 1966, p.99.