

NZにおける近年の氷河の消長とその気候的 背景

佐藤, 典人 / SATO, Norihito

(出版者 / Publisher)

法政大学地理学会

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

JOURNAL of THE GEOGRAPHICAL SOCIETY OF HOSEI UNIVERSITY / 法政地理

(巻 / Volume)

38

(開始ページ / Start Page)

25

(終了ページ / End Page)

36

(発行年 / Year)

2006-03-22

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00025930>

NZにおける近年の氷河の消長とその気候的背景

佐藤 典人

グローバルな視点から地球温暖化の進行が懸念されている昨今、その指標としての山岳氷河の動向が注目される。世界各地から報じられる氷河の消耗、氷河末端の後退という傾向に反して、1980年以降、その末端が前進に転じているNZの山岳氷河に焦点を当て若干の考量を試みた。

NZ南島の山岳氷河はサザンアルプスの両側で正反対の動きを示している。つまり卓越する偏西風に対して風上側に当たる西海岸の氷河は前進を、風下側のそれは後退を呈している。ここには1980年以降のエルニーニョ現象の多発が絡んでいる。すなわちこの現象発現下ではNZ近傍の気圧分布が西～南西風の強化を促す高・低圧部の配置となり、結果的に脊梁山地の西側に多降水をもたらしやすい。これが西側の氷河を涵養して前進させている。一方、風下側ではフェーン気味となり、乾燥・多照となり、氷河は消耗・後退を余儀なくされている。その結果、脊梁山地の両側で極めて対照的な態様をこれらの氷河は呈している。

キーワード：氷河の消長、エルニーニョ南方振動、降水量、ニュージーランド。

Key words: Advance & recession of glaciers, ENSO, Precipitation, New Zealand.

I はじめに

地球上の氷河の面積はおよそ1,600万km²で、陸地の10%程度に相当している(Wilhelm 1975)。当然、南極やグリーンランド(Greenland)の氷床がその大部分を占有しており、地球全氷河の約96%ほどを占めている。したがって上記の氷床以外の氷河(=山岳氷河, 谷氷河)は面積的にみれば狭い。しかし、そこでの水循環は氷床よりも活発で変動性に富んでいる。それゆえに、グローバルな視点から地球温暖化が懸念されている昨今では、気温の変化にいち早く反応するこの極地方以外の山岳氷河が、その指標として意義を有するので、その動向がとくに注目される。

周知の事実であろうけれど、NZ南島の脊梁山地(Southern Alps)には、温帯地域でありながら多くの山岳氷河が存在している。そこで本稿では巷間、何かと話題にされる、いわゆる地球温暖化現象を睨みつつ、NZを代表するいくつかの氷河の最近の消長に着目し、そこに認められる特性とその気候・気象学的な背景に対して若干の考察を試みたい。

II 世界の山岳氷河における消長

考えてみれば、地球温暖化の問題は1983年に合衆国の環境保護局が『大気中の炭酸ガスで地球が温暖化する』と銘打った報告書を公表したのに端を発している。以来、天候不順が生起するたびに多くのマスコミや人々は“異常気象”とか“地球温暖化”と叫ぶようになり、ともすれば、すべての天気現象の根源がそれに帰結するかのような錯覚すら与えてきた。果たして地球の大気現象はそんなに単純なのであろうか(例えば、佐藤 2004)。

ここで山岳氷河の動向を、地球の気温変化を探る1つのセンサーと位置づけて、近年の世界のその拡大や衰退に触れてみたい。ただし、氷河の消長を知る手段としては、質量的な変化を把握する方法と氷河末端の前進・後退の位置的な変位で押さえる方法とがある。ここでは敢えてその双方を交えた形で説明する。

まず北半球のアラスカ(Alaska)に注目しよう。例えば、アラスカの山岳氷河を代表する全長190kmにも及ぶベーリング(Bering)氷河は、過去1世紀の間に10～12kmもその末端を後退させ、

量的におよそ130km²もの氷河が融解したと見積もられている。同じアラスカのメンデンホール(Mendenhall)氷河も20世紀以降は後退の一途を辿っている。だが、大方の氷河が後退している一方で、アラスカ南部のハーバード(Harvard)氷河やタク(Taku)氷河は逆に前進している(Wiles et al. 1995)。

またカナダ北東部のバフィン(Baffin)島のボアス(Boas)氷河は1970年代の調査ではあるものの、かなり縮小している(Weaver 1975)。加えてカナダ(Canada)と合衆国にまたがって伸びるロッ

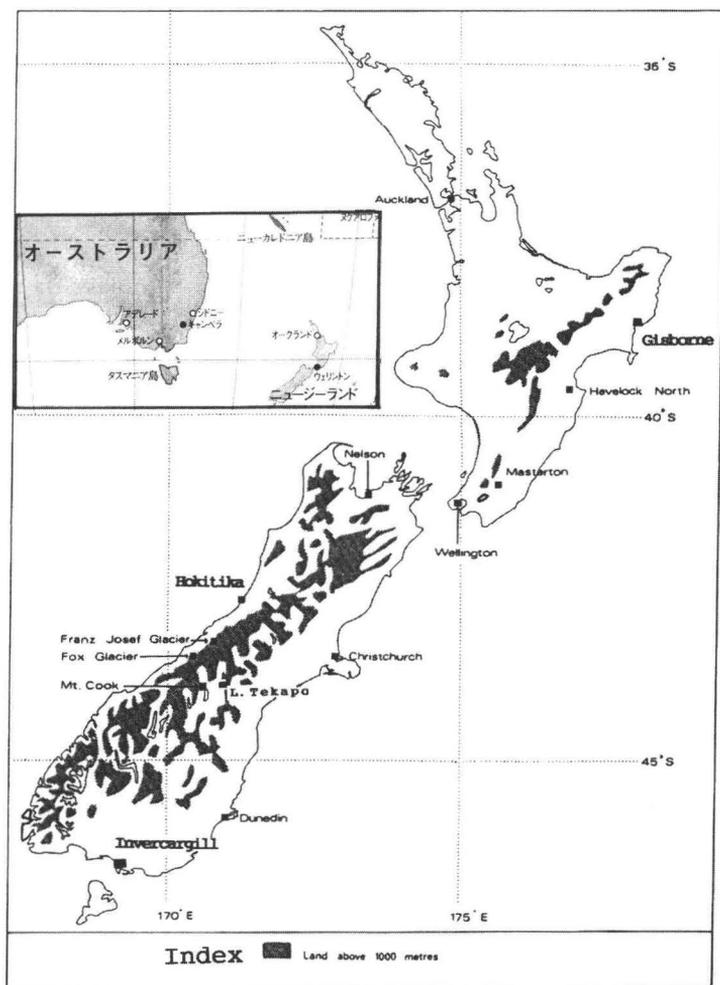
キー(Rocky)山脈に懸かる多くの氷河も消耗傾向にある(Dyurgerov et al. 1997)。

ヨーロッパアルプス最大の氷河で世界遺産にも登録されたアレッチ(Aletsch)氷河は、その観測開始の1850年以來、後退を続け、かつその厚さが50~70mも減じているとの指摘もある¹⁾。しかしながら、このアルプスの氷河には1980年前後から雪氷収支的にプラスであると説明されている氷河も多くあり、アルプス全体では、近年、やや前進か停滞傾向と認識されている。これに対して北方スカンジナビア(Scandinavia)半島の氷河、とりわけノルウェー(Norway)

のそれが拡張傾向にある点は関心を集める(Wood 1988)。

世界的に見て氷河縮小の度合いが大きいのはヒマラヤ(Himalaya)山脈の氷河である²⁾。これはモンスーンの吹送に絡んで夏季に降水の極大が現れる地域の氷河であり、冬季に降水の多い地域の氷河の挙動とは趣きを異にしている。それでもなお中央アジアの一部の氷河やテンシャン(天山)山脈のそれらは増大傾向にあり、必ずしも画一的な様相を示すとは限らない(Dyurgerov et al. 1997)。

東アフリカやニューギニア(New Guinea)、エクアドル(Ecuador)、ベネズエラ(Venezuela)、それにペルー(Peru)などの、いわゆる熱帯山岳地域の多くの氷河はほぼ後退傾向にある。さらにアンデス(Andes)山脈南部やパタゴニア(Patagonia)にある大半の氷河は、1945~1985年の間に後退している。とくにウプサラ(Upsala)氷河は120m/年、オヒギンス



第1図 NZとオーストラリアの地理的位置、および本稿で触れる主要地点。(図中のNZ南島のMt.Cook周辺を第2図に拡大して示している)。

(O'Higgins)氷河は480m/年、ティンダル(Tyndall)氷河は80m/年の割合で末端が各々、縮小している。だが、それとは逆にモレノ(Moreno)氷河やピオ(Pío)X氷河はわずかながらそれぞれ拡大傾向を呈している(Aniya et al. 1997)。

このように世界の山岳氷河における最近の動きを概観すれば、やや後退傾向を示す氷河が多いと言えるかも知れない。よってその点では近年の地球温暖化云々に一見、調和的とも見れる。しかし中には成長を示している氷河も現存し、実際には個々の氷河や地域によってその挙動は様々と言わざるを得ない。ならばその点でNZの氷河はどうであろうか。

III 近年のNZの氷河の消長

南半球の中緯度(34～47°S)温帯地域に位置しているNZの自然は、日本と良く似通っていると指摘される。NZは南北2つの主要な島から構成され、太平洋とオーストラリア(Australia)の両

プレートの境界に相当している。そのため火山やカルデラ湖などが北島には多い。その一方で緯度の増す南島には明瞭な脊梁山地もあり、氷河やフィヨルド、氷河性の湖などが数多く存在している(佐藤 2000)。この国の最高峰は南島のクック(Cook)山(3754m)で、タスマン(Tasman)、ダンピエール(Dampier)がこれに続き、いずれもこれらは北東～南西方向に伸びるサザンアルプス山脈を構成している(第1図参照)。この山脈には大小あわせて300以上もの山岳氷河が存在し、その一部は標高300mの低地にまで進出している。これらの氷河はいわゆる海洋性の氷河であり、湿潤な海洋性気候のもとで降水量が多いために涵養量も豊かで、結果的に氷河が温暖な低所まで伸びる傾向を示している。このような氷河は、一般に上流部の質量収支分を速い流動で下流部に反応させる傾向をもつ³⁾。

そこでこの観点からNZ南島の代表的な氷河について着眼した。即ち、対象とした氷河は北西側の地形的に急傾斜の斜面をタスマン海に向かって流下する

フランツジョセフ(Franz Josef)氷河 [長さ13km]



第2図 対象としたNZ南島の主要な氷河の位置。
(太実線がサザンアルプスの稜線)。

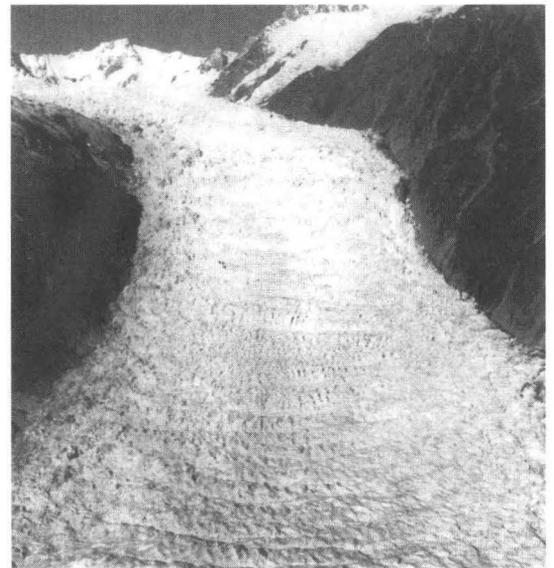


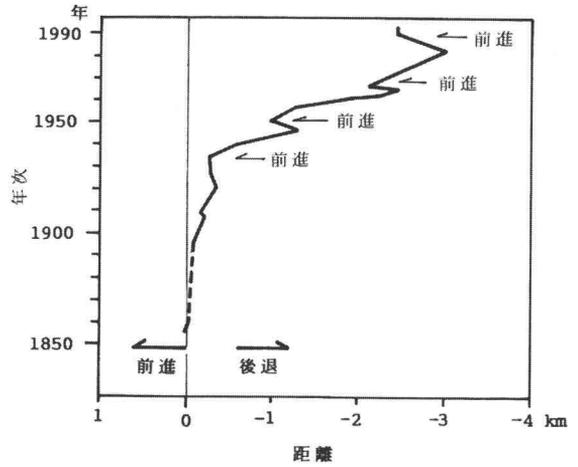
写真1 その末端部が前進に転じた西側のフォックス氷河の水瀑(アイスフォール)。(1997年7月1日筆者撮影)。



写真2 その末端部が後退しているタスマン氷河の涵養域。(2005年8月28日筆者撮影)。

フォックス(Fox)氷河 [長さ15km]
と、反対に南東側の比較的緩い斜面を流れ下る
タスマン(Tasman)氷河 [長さ29km]
フッカー(Hooker)氷河 [長さ11km]
である(第2図, 写真1, 2)。

この地域では、南東側に流下する氷河末端の
標高が北西側へ下るそれよりも高く、全体から
把握される氷河末端の位置的な傾きは $19 \pm 6 \text{m/km}$
で変化している(Porter 1975)。加えてこの地域の
多くの氷河は20世紀に入って後退傾向を示し、



第3図 フランツジョセフ氷河末端位置の経年変化。
(Coates et al. 1992 による)。

とくにタスマン氷河は1 m/年の割合で薄くなり、
結果的に100mもその厚さを減じた(Woo et al.
1992)。

ところが1980年代に入り、このサザンアルプ
ス山脈の稜線を挟む東西の氷河が好対照の動き
を示すように変わった(Chinn 1995, Oerlemans
1997)。そこで北西側を下るフランツジョセフ氷

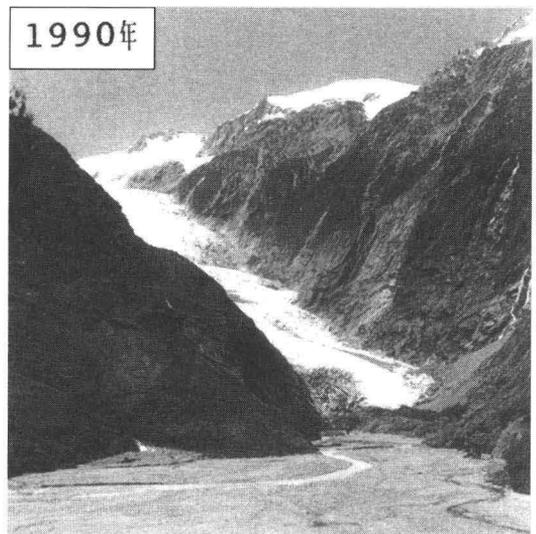


写真3 フランツジョセフ氷河末端部の位置的变化の比較。
(左:1979年, 右:1990年, いずれも同一地点から撮影。Coates et al. 1992 による)。

河を例に過去100年余りにおよぶ氷河末端の位置的な変化を第3図に図示した。この図によれば、この氷河の末端は大局的には1940年頃から後退を開始し、約10年の周期性をもって1kmほど後退しては少し前進するという動きを数回繰り返している。その実態は以下のように集約される(Coates et al. 1992)。

①1940～1980年の間に、結果としてこの氷河の末端は約2.5km程度後退している。

②過去100年間に氷河末端は数100mほどの前進期を数回、介在させつつ後退してきている。

③その前進した時期を特定すると、1907～1909年、1921～1934年、1946～1951年、1965～1967年、1982年以降の計5回である(写真3参照)。

したがって、トータル的にもっとも氷河末端が後退したのは図から理解可能なように1980年頃である。けれども上述したように、1980年以降になると顕著な前進へと転じている。この氷河の南西側に隣接するフォックス氷河も概ねこれと同調している。しかし南東側のタスマン氷河やフッカー氷河は、このような末端部が前進するような傾向へは転じておらず(Salinger et al. 1983)、依然として前項で述べたような世界の山岳氷河の後退傾向に歩調を合わせている。よって山脈の稜線を境に北西側へ流出する氷河と南東側のそれとは、近

年、極めて対照的な態様をなしており、大きな関心を集めている。

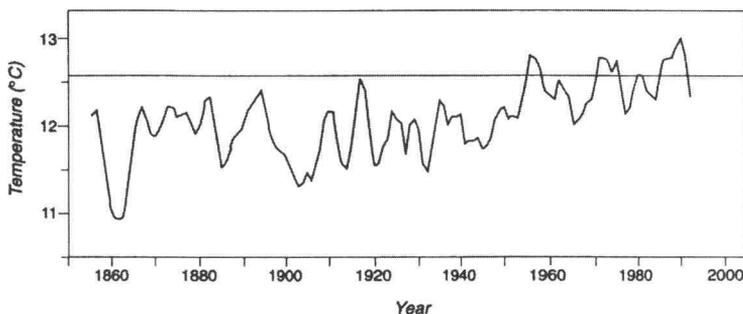
IV NZの氷河の消長とその気候的背景

1. 気候要素との照合

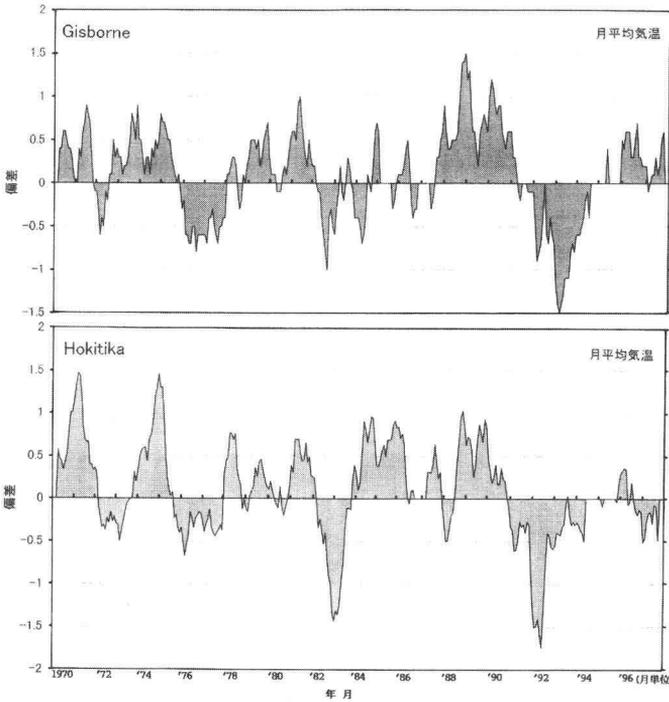
前項で述べたようにNZの氷河末端の動きは、近年、山脈の稜線を挟んで正反対の状況にある。その原因がどこに求められるのか考えてみたい。

氷河の消長を左右する要因として、まず最初に気温が想起される。そこでNZ全体での気温の経年変化を第4図に示した(Salinger et al. 1990)。これに依拠すれば、気温は上下動を繰り返しつつ変化してきている。しかもこの図から、気温は1950年代以降になると1960～1990年の平年値を上回るほどに上昇し、それ以前とは明らかに様子を異にしている。つまりこのような気温の上昇は、氷河の融解・消耗を支持する姿と受け止められる。ゆえに、山脈稜線から南東側へ流出しているタスマン氷河やフッカー氷河の後退はこれと整合的と言える。だが氷河末端が前進へと転じている北西側の氷河とこの気温上昇は相容れない。

そこで中緯度のNZで卓越する偏西風に対する山脈の風上・風下という視点から、ホキティカ(Hokitika, 風上)とギスポーン(Gisborne, 風下)の両地点(第1図)で最近の気温の経月変化を対比してみた(第5図)。大局的にみて両地点の気温の変化傾向は類似しており、とくに1980年以後、一方に偏った傾向を示してもいない。風上側のホキティカでは1980年代に正偏差が優勢であり、この様相は風下のギスポーンでも同様に識別できる。つまり気温の時系列的な推移からは、山脈稜線を挟んだ氷河の対照的な動向に調和する事実が認められない。事実、Hessell(1983)は少なくとも西側の氷河と気温変化との関連性において判然としない旨を指摘してい



第4図 過去130年間のNZにおける年平均気温の推移。
(3カ年の移動平均で図示している。横線は1961～1990年間の平年値を示す。Salinger et al. 1990による)。

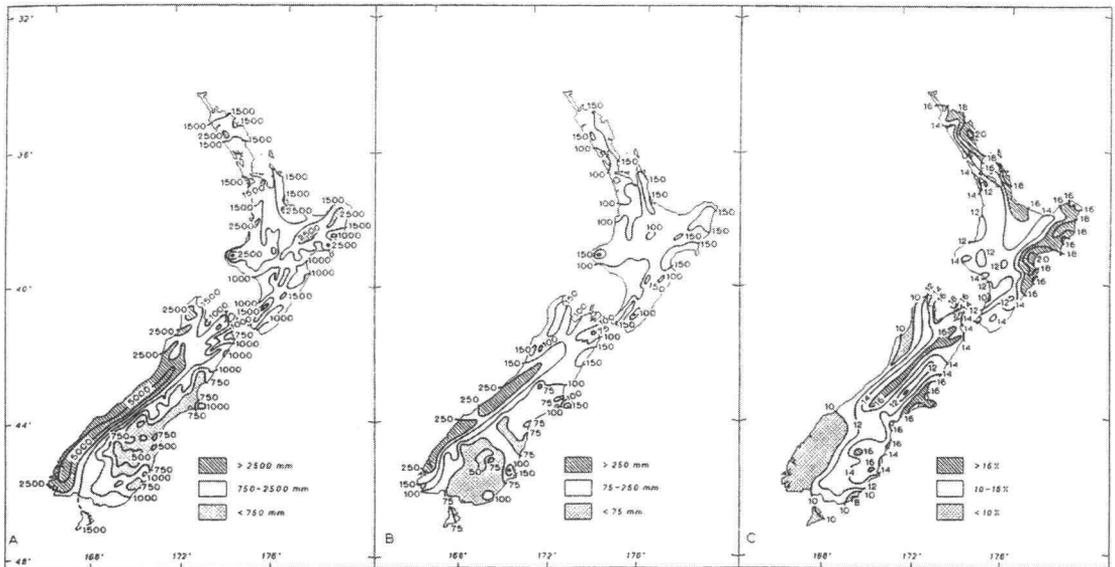


第5図 脊梁山地の風上・ホキティカと風下・ギスポーンにおける1970年以後の気温の経月変化。(月別平均気温の年平均偏差を求め、7項の移動平均を施して図示)。

る。

ところで氷河の消長は気温の高低のみと唯一、一義的に対応するのだろうか。それと言うのも、気温上昇が水分の蒸発を促進し、結果的に多降水を招いて、それが以前にも増して氷河を涵養させる結果、氷河の成長やその末端の前進を促す場合もあり得るからである。だから気温に劣らず降水量の多寡も氷河の成長に大きく関与する可能性が高い。それゆえNZの降水量の経年的な変化に関心が移る。

NZは前述のように西風が卓越する温帯の島国である関係上、総じてサザンアルプスの風上側に相当する西海岸や南西のフィヨルドランド(Fjordland)地方が多降水になりやすい(第6図)。その反面、山脈の風下側ではフェーン気味となり、高温・小雨を発現しがちなため、植生分布や土地利用にもその差が鮮明に投影されている。



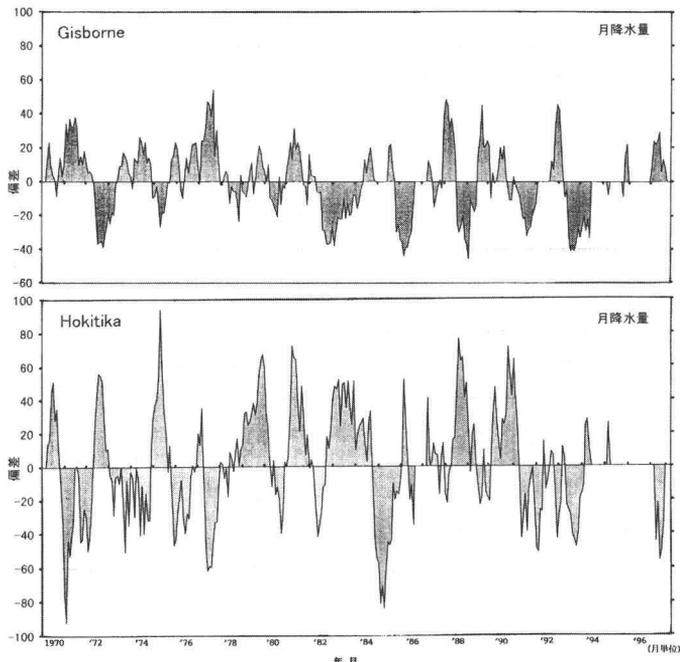
第6図 NZにおける降水に関する気候図。

(A: 年降水量分布, B: 10年間の日最大降水量分布, C: 年降水量の変動率分布. Gentili 1971 による)。

気象観測値の制約から、1970年以降の年降水量の時系列的な変化に対して吟味を加えると、それは周期性を示しつつ上下動を繰り返している。このような変化傾向はサザンアルプスの風上側のホキティカでも、風下側のギスポーンでも大差はない。ただし、両地点の降水量を月単位の偏差で細かく比較すると、その極大・極小の現れ方は必ずしも一致せず、むしろ反対に負相関⁴⁾とさえ言える(第7図)。

またその降水量の偏差の現れた方を注視すると、風上側のホキティカで1980年以降に正偏差を示す頻度や度合いの大きさ、あるいはまたその継続期間の長さなどの点が際立つ。結果的に、西側へ流下する氷河が前進へ転じた1980年以降、山脈の風上で多降水が優越し、風下ではむしろ小雨の頻度が大になっている。これは第6図に掲げたNZの平均的な降水分布の東西差をより一層、顕在化させる方向に位置づけられる。このようなサザンアルプスの地形起伏に起因する降水分布への影響は、卓越する西～南西寄りの風が強まれば、益々その東西差が鮮明になると想定するに難くない。よってホキティカで示される近年の風上側における降水量の増大は、少なくとも西～南西風吹送の優越性を示唆する1つの指標と解釈できる。

また西～南西風の吹送が卓越することは、サザンアルプスの風上側に相当する西海岸で多降水・悪天になりやすい反面、風下側には高温・小雨を招来しがちである。同時にこれは日照時間の長短において、風上側に寡照をもたらす一方で、晴天の確率が高い風下側での多照に連動する。氷河の融解・消耗を考慮すれば、風下側のタスマンやフッカーの氷河は、斜面を流下するにつれて日射に晒されるので氷河の融解を促進される。これは先に言及した山脈の東西における近年の氷河末端の対照的な動向を支持するものである。

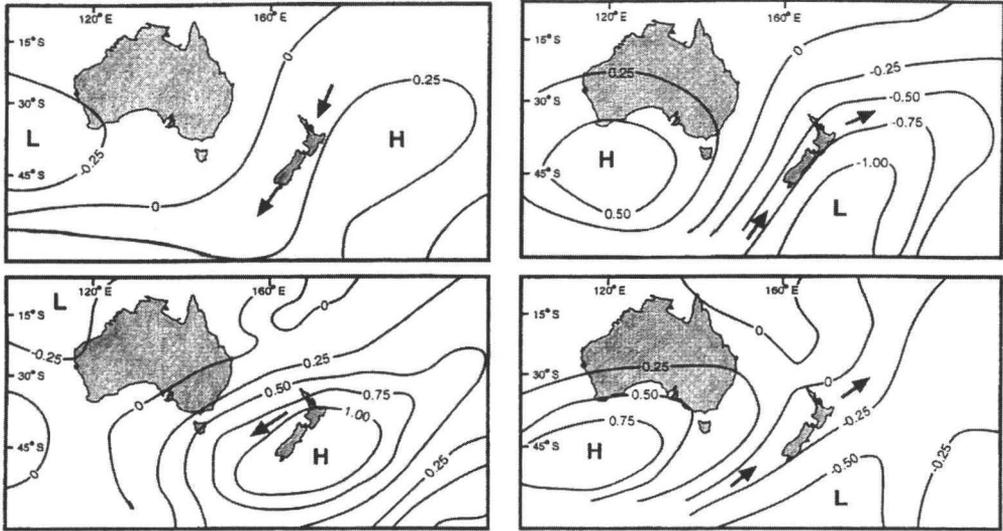


第7図 脊梁山地の風上・ホキティカと風下・ギスポーンにおける1970年以後の降水量の経月変化。(月別降水量を立方根で正規化して年平均偏差を求め、7項の移動平均を施して図示)。

2. 西～南西風の吹送と気圧場

NZおよびその周辺域で西～南西風が卓越する際の気圧配置はどうであろうか。Hooker (1995)によれば、この地域で高緯度側からの南西風、あるいは反対の赤道側からの北東風の吹送する際の気圧配置は第8図のように示され、NZの東方と西方における高圧部と低圧部の配置が極めて対照的である。すなわち、サザンアルプスの西側に多降水や寡照をもたらす冷湿な西～南西風の卓越には、NZの東方に低圧部が、逆のオーストラリア南方に高圧部の存在がそれぞれ必要とされ、当然その間の気圧傾度にその風速は比例する。

自ずとこれとは逆の東～北東風の卓越には、反対の気圧配置が求められ、NZの東側に高圧部、オーストラリア側に低圧部が形成された場合となる。自明のように、南半球では地球自転に伴うコリオリの力が北半球とは逆に作用し、低圧部では時計回り、高圧部では反時計回りとなるので第8



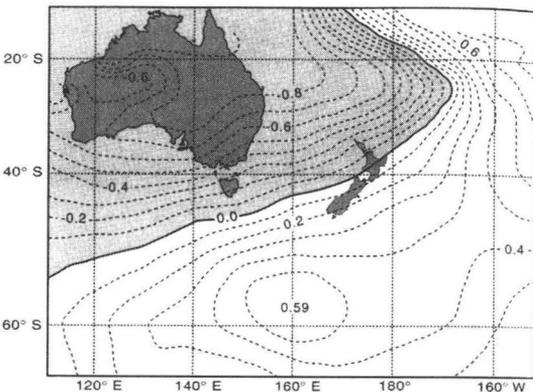
第8図 NZ近傍における主要な平均海面気圧の偏差分布型(hPa)と卓越風の対応。(Hooker 1995による).

図の教示内容も無理なく受容できる。

してみると、これまでの思考内容から1980年以後、NZに南～南西風を吹送させる気圧配置がそれほど頻出しているのだろうか。

3. NZ近傍の気圧場とENSO現象

冒頭で触れたように昨今、日本では天候不順が生ずると、地球温暖化のせいだとか異常気象だなど、

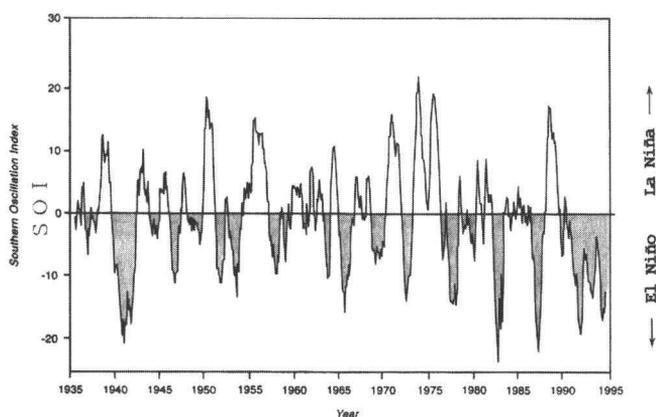


第9図 NZ近傍における平均海面気圧とSOIとの相関係数の分布。(1958～1983年間の値をもとに算出。陰影部は負相関の領域を示す。Gordon 1986による)。

と、明瞭な因果関係の究明を待たずして勝手に納得するきらいがある。最近、それに追加されたのはENSO現象であろうか。言うまでもなくこの現象は南方赤道海域での水温の急変と大気現象との連関を指している。確かに地球表面の7割を占める海水域と、それに接している大気が相互に密接な影響を及ぼしあう関係にあることは否定できない。加えてその結果から、気圧変化を介して気圧配置が変わり、ひいては赤道海域だけの出来事に留まらない可能性が大いに有り得る。今日、テレコネクション(teleconnection; 遠隔結合, 遠隔相関)と呼称されるこの遠方への波及効果は、その明確な因果関係や確たる機構の解明は別にしても、統計的に現出している。例えば、その一例としてENSO現象とオセアニア地域の気候との絡みも徐々に詳らかになりつつある(Tait et al. 1998)。

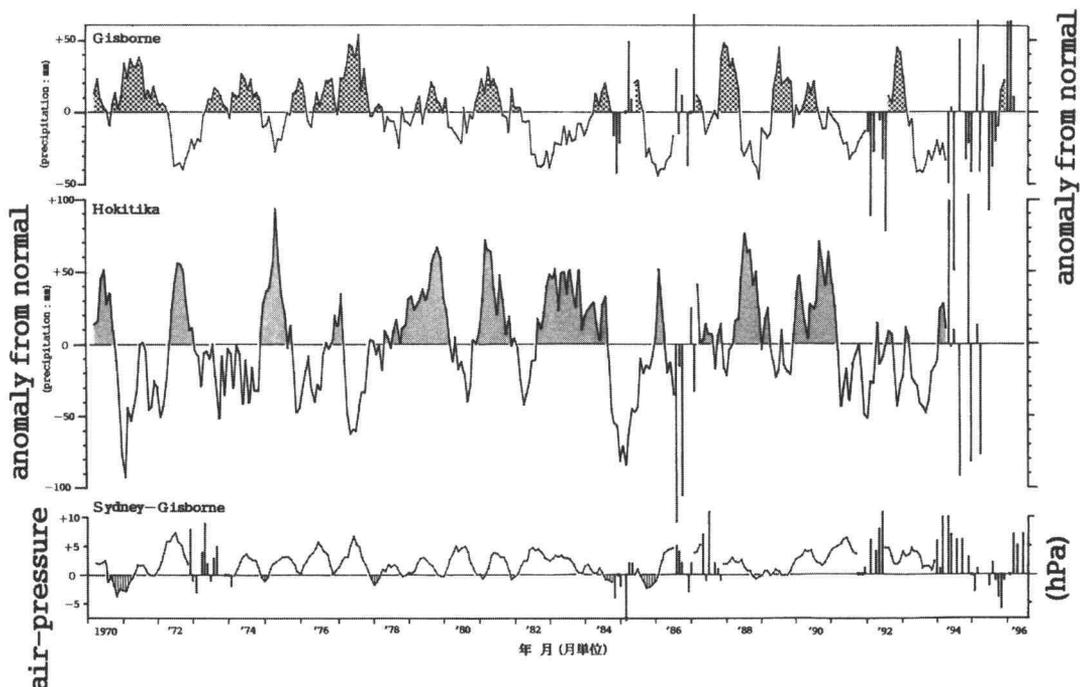
ENSO現象とNZの天候との関係を報じたGordon (1986)の研究もその視座から見逃さない。そこではNZ近傍の海面気圧とSOI⁵⁾との相関が精査されている(第9図)。NZ南東方の領域では両者が正相関を、北西のオーストラリアでは相互が負相関を各々示している。つまり、エルニー

ニョ (El Niño)時にはNZ南東方の気圧が低下し、逆のラニーニャ (La Niña)時にはそれが上昇することを明示している。よってこれに依拠する限り、エルニーニョ時ほどNZでは西～南西風が顕著に卓越しやすい。ならば、SOIは経年的にどのような変化を呈しているのだろうか。とりわけ1980年以降のそれが本稿では興味をひく。第10図がその結果である。SOIは周期性を示しながらも、1980年代以後に負の値を示す期間が多い。具体的には1983年や1987年、それに1990年以降は連続して、典型的なエルニーニョ年として顕著である⁶⁾。ゆえに西～南西風の吹送が卓越し、サザンアルプスの風上側に位置する南島の西海岸やフィヨルドランド地方には多降水をもたらしたと想定することに無理はない。実際、平年に比較して1983年には、西側のフランツジョセフやミルフォードサウンドで著しく降水が増大しており⁷⁾、標高の高い山



第10図 1935～1995年までのSOIの経年変化。
(オーストラリア気象局の資料をもとに作成)。

岳地域ではそれが一層、増強していると推測できる。しかも高緯度側からの冷湿な気塊ゆえ、その多くは降雪と思われる。この点を補完する意図で、月別値の7項移動平均ながらシドニー (Sydney)



第11図 シドニーとギスボーンの気圧差と風上・ホキティカ、および風下・ギスボーンの降水量偏差の経月変化。
(いずれも月別値をもとに7項の移動平均を施して図示。なお、一部データ欠測のため棒グラフで併記している)。



写真4 タスマン氷河の末端部とブルーレイク湖。
(氷河によって運搬されてきた砂礫が浮上した結果、
氷河の表面は黒一色。1997年9月17日筆者撮影)。

オーストラリア)とギスボーン(NZ)との気圧差とNZ西海岸のホキティカの降水量を対応させた結果、両地点間の気圧差が拡大すれば、つまり西～南西流が強まれば、ホキティカで多降水となり正相関の関係が伺われた(第11図)。このような西～南西流吹送の強化は、既述したように脊梁山地の西～南西側では多降水・寡照となる一方、風下の東側には小雨・多照を招来するのみならず、山脈両側における気候差を益々、顕在化させる方向に作用する。だから風下側では晴天の確率が増し、日射も強まるであろう。

以上により、このような一連の状況が近年、とくに1980年以後、サザンアルプスの東西における氷河末端の消長に差異を招いているものと理解できる。長大な東側斜面を下るタスマン氷河を上空から俯瞰すると、下流に進む氷河の融解に即応して相対的に浮上する運搬砂礫が、氷河表面を黒色に覆って日射をより多く吸収し、氷河の消耗を促す様子が分かる(写真4)。この点において悪天で雲に覆われる風上側と大きく違うことは見逃しえない⁸⁾。

V おわりに

近年のNZにおける氷河の消長において、なかでも1980年以降の西側氷河の前進は、同地域の多降水頻出時期に一致している。それは西～南西風



写真5 フランツジョセフ氷河の広大なスノーフィールド
(涵養域)。(1997年7月1日筆者撮影)。

の一層の卓越、すなわちSOIの負、換言すれば、近年のエルニーニョ現象の多発に符合していると解釈できる。

しかし、同一の山頂域にその涵養源を抱きながら東側に流出している氷河が、未だ前進に転ずる気配を示さない理由は判然としない。本稿で述べたように西～南西風吹送の強化に伴って、サザンアルプスの地形起伏に起因する風上・風下の降水量の東西差がそれを助長した現れなのか、それとも単に気候的差異への反応が遅れているに過ぎないのか、この点に関して現時点での言明はできない。ただし西～南西流の卓越に伴って風下側、つまり東側ではフェーン気味となりやすく、雲量も少なく日射・日射の増大が容易に想定され、氷河融解に及ぼすその影響の大きさは無視できない。

また一方で、この地域の東西の氷河における気候状況への反応の遅速も指摘されている。その例示とも言えるSalinger et al. (1983)は、東側を下るストックキング(Stocking)氷河の気候変化への反応が2～5年程度と言及している。さらに数値モデルで同類の算定をしたOerlemans (1997)は、

フランツジョセフ氷河の同様な反応は比較的短いと述べている。フォックス氷河も含めた西側の氷河のこのような反応の速さの背景として、谷の縦断勾配が急傾斜なのに加えて最大傾斜線方向に下っており、しかも氷河の涵養域に相当する源流部のスノーフィールドが広大で(写真5)、かつ複合流域を呈している反面、流下していく下流の谷幅が比較的狭いなどの諸点が挙げられる。

いずれにせよ、その精巧な仕組みや因果関係の適否は別にしても現象論的にはENSO現象とNZ近傍の気圧配置とに一定の関係が識別された。それに因りエルニーニョ現象が多発している1980年以降、NZでは西～南西風の卓越と強化が著しくなり、冷湿な気塊のもたらす多降水が風上側氷河の涵養を促進した結果、西側の氷河末端が近年、前進へ転じたと理解できる。これはENSO現象の発生に伴い南半球の気圧配置、言い換えるならば半球規模の大気の循環系が変わることの一端と受け止められる。この立場から見れば、NZ西海岸の氷河の前進・後退と南アフリカの乾季発現との同時性に触れたTyson et al. (1997)の研究は興味を呼ぶに十分である。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、気候資料の紹介や便宜を供与してくれたNZのオタゴ(Otago)大学地理学教室の諸先生方に厚くお礼を申し上げます。なかでも議論に加わって助言して戴いた同教室のDr.B.Fitzharris助教授(筆者の在外研究当時)には、この場を借りて心より謝意を表したい。

なお、本稿は日本地理学会1999年度秋季学術大会(四国大学)、および法政大学地理学会2000年度大会での発表内容を骨子に再検討を加え、加筆・修正を施したものである。

注 記

- 1) スイス中央部の名山・ユングフラウから南流するこの氷河は、最近100年間の状況をベルン大学の研究者によって調べられている(例えば、2003年8月14日付の朝日新聞)。
- 2) 名古屋大学によるネパールを中心とした氷河の調査によれば、1958年と1992年の航空写真の比較から約6割の氷河の末端が後退しており、前進したのは

1割に過ぎなかった。また2005年11月9日付の朝日新聞には“チベット氷河急速解凍”という見出しの記事が掲載されている。

- 3) 例えば、若浜(1978)など。
- 4) 計算からその決定係数が-0.4弱である。
- 5) 周知のように、南方振動指数と呼ばれるこの指数は[タヒチーダーウィン]の気圧差をもとにして計算する。この値が負の場合には、タヒチの気圧が例年よりも低くてダーウィンではその値が高い。正の場合にはこの逆を表わしている。前者はエルニーニョに、後者はラニーニャに各々対応している。
- 6) とくに1997～1998年にかけては、著しいエルニーニョ状態であり、スーパーエルニーニョと呼ばれるに至った。
- 7) Wratt et al. (1996)によれば、年降水量がホキティカでは12,000mm弱、ミルフォードサウンドでは14,000mm弱にも達する。
- 8) 実測の気象観測値に依拠して、この点を客観的に補強する必要があるものの、残念ながら脊梁山地の両側麓の地点における日照・日射に関する観測値が欠如している。

参 考 文 献

- 桐生広人(1999)：消える氷河。毎日新聞社。189p。
- 小林国夫・阪口 豊(1982)：氷河時代。岩波書店。209p。
- 佐藤典人(1999)：NZにおける近年の氷河の消長とその気候的背景。日本地理学会発表要旨集、56、128-129。
- 佐藤典人(2000)：ニュージーランドの自然の素顔。法政地理、32、9-30。
- 佐藤典人(2004)：地球温暖化への再考。法政大学文学部紀要、49、33-64。
- 若浜五郎(1978)：氷河の科学。日本放送協会。238p。
- Aniya,M.et al. (1997)：Recent Glacier Variations in the Southern Patagonia Icefield, South America. Arctic & Alpine Research, 29, 1-12。
- Chinn,T.J.H. (1995)：Glacier Fluctuations in the Southern Alps of New Zealand determined from Snowline Elevations. Arctic & Alpine Research, 27, 187-198。
- Coates,G.et al. (1992)：The Franz Josef and Fox Glaciers. Inst. Geological & Nuclear Sciences. Information Series. No. 2。
- Dyurgerov,M.B.et al. (1997)：Mass Balance of Mountain and Subpolar Glaciers：A New Global

- Assessment for 1961 – 1990. *Arctic & Alpine Research*, 29, 379 – 391.
- Erickson, J. 長本 英俊訳(1992): 大氷河時代. オーム社. 221p.
- Gentili, J. (1971) : *Climates of Australia and New Zealand*. Elsevier Publishing Company. 389p.
- Gordon N.D. (1986) : The Southern Oscillation and New Zealand Weather. *Mon. Wea. Rev.*, 114, 371 – 387.
- Hessell, J.W.D. (1983) : Climatic Effects on the Recession of the Franz Josef Glacier. *New Zealand of Science*, 26, 315 – 320.
- Hooker, B.L. (1995) : Advance and Retreat of the Franz Josef Glacier in relation to Climate. Unpublished Dissertations, Dep. of Geogr. Univ. of Otago, Dunedin. 62p.
- McCabe, G.J. et al. (1995) : Relation between Atmospheric Circulation and Mass Balance of South Cascade Glacier, Washington, U.S.A. *Arctic & Alpine Research*, 27, 226 – 233.
- Oerlemans, J. (1997) : Climate Sensitivity of Franz Josef Glacier, New Zealand, as revealed by Numerical Modeling. *Arctic & Alpine Research*, 29, 233 – 239.
- Porter, S.C. (1975) : Glaciation Limit in New Zealand's Southern Alps. *Arctic & Alpine Research*, 7, 33 – 37.
- Salinger, M.J. et al. (1983) : Variation of the Stocking Glacier, Mount Cook and Climatic Relationships. *New Zealand of Science*, 26, 321 – 338.
- Salinger, M.J. et al. (1990) : New Zealand Climate – The Past Two Million Years, in *New Zealand Climate Report 1990*. Royal Soc. of N.Z. Wellington, 13 – 17.
- Tait, A.B. et al. (1998) : Relationships between New Zealand Rainfall and South – West Pacific Pressure Patterns. *Inter. J. of Climatology*, 18, 407 – 424.
- Tyson, P.D. et al. (1997) : Circulation Changes and Teleconnections between Glacial Advances on the West Coast of New Zealand and Extended Spells of Drought Years in South Africa. *Inter. J. of Climatology*, 17, 1499 – 1512.
- Weaver, R.L. (1975) : "Boas" Glacier Mass Balance for the Five Budget Years 1969 to 1974. *Arctic & Alpine Research*, 7, 279 – 284.
- Wiles, G.C. et al. (1995) : Glacier Fluctuations in the Kenai Fjords, Alaska, U.S.A. *Arctic & Alpine Research*, 27, 234 – 245.
- Wilhelm, F. (1975) : *Schnee – und Gletscherkunde*. Berlin. 434p.
- Woo, M-k. et al. (1992) : Reconstruction of Mass Balance Variations for Franz Josef Glacier, New Zealand, 1931 to 1989. *Arctic & Alpine Research*, 24, 281 – 290.
- Wood, F.B. (1988) : Global Alpine Glacier Trends, 1960s to 1980s. *Arctic & Alpine Research*, 20, 404 – 413.
- Wratt, D.S. et al. (1996) : The New Zealand Southern Alps Experiment. *B.A.M.S.*, 77, 683 – 692.