

## マッコール氷河における降雪及び融解・再凍結の考察

日下 稜, 高橋修平 (北見工業大学)

## 1. はじめに

アラスカ, ブルックス山脈にあるマッコール氷河は近年 50 年で末端部がおよそ 1km 後退している. そのため気候変動の指標として注目されている (Gessaman 1972; Rabus and Echelmeyer 1998). しかし, 氷河の進退だけでは温暖化の指標としての評価には不十分である. そこで, 氷河の質量収支を知るために涵養量の評価が重要である.

マッコール氷河の涵養は, 降水 (降雪) によるもの他, 夏期, 融解水が氷河内部に入り込み再凍結することにより起こる (若浜ほか 1974). 本研究では雪面レベル変化の観測及び融解水の再凍結についての実験, 検討をおこなった.

## 2. 研究概要

高橋らは 2003 年および 2004 年にアラスカ・ブルックス山脈 McCall 氷河 (69°N, 143°W) において各種雪氷調査を行なった (高橋ら 2003, 2004a, 2004b; Takahashi and others 2005; Segawa and others 2004; Satow and others 2005; 植竹ら 2004). その観測の内, 積雪観測および温度分布観測を解析する. 涵養域 3 つにあるカールのうち最も高い Upper cirque 中心部に雪尺を設置し, その雪尺に高さ 100cm ~ -10cm は 10cm おきに, 及び -50cm の位置に温度計 (T&D 製おんどとり Jr. TR-52) を取り付けた (図 1). そしてこの雪尺をインターバルカメラ (コーナシステム (現ノースワン) 製 KADEK-EYE) により 3 時間インターバルで撮影し雪面レベルの変化を観測した (写真 1). また, 温度計では 1 時間毎の温度を測定した. 観測期間は 2003 年 8 月 9 日から 1 年間である.

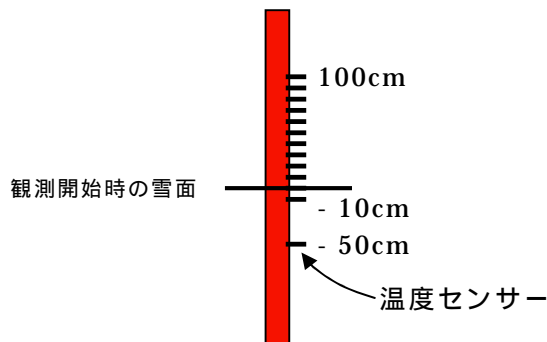


図 1 温度計設置概念図



写真 1 雪尺とカメラ

融解水が氷河内部に入り込むと, マイナスであった温度計の値が雪面近くにあるものから徐々に 0 以上に上昇する. この温度変化から融解水の浸入を判定した. 再凍結の判断は逆に温度が 0 以下に下がったことにより行った.

温度センサーが雪面より下に存在したか, 空中に露出していたかの判断はインターバルカメラ (KADEK-EYE) により撮影した写真から行った. また, カメラへの着雪等で雪尺が見えなかった場合は単位時間当たりの温度変化量により雪面レベルを求め

ることにより判定を行った。

雪面レベルは観測開始時を 0 (cm) とし、降雪・融解等により雪面が上がった場合 + で、下がった場合 - で表すこととする。

### 3. 結果

図 2 は 7 月 26 日までの雪面レベルの変化を示したものである。雪面レベルのピークは 2004 年 5 月 29 日の 98cm であり、この日を境に一気に融解が進んでいる。7 月に一度だけ雪面レベルが 20cm ほど上がっているが、このときの気温は -5 ほどまで低下していた。

また観測場所は McCall 氷河の Upper cirque で涵養域とされているにもかかわらず雪面レベルは 2003 年 8 月から 2004 年 8 月までの 1 年間で 32cm 低くなった。1 年のうち 10 ヶ月間が積雪期で 2 ヶ月間が融雪期となっていて最後のわずかに 2 ヶ月間で 10 ヶ月間の積雪量以上の融解が進んだことが分かる。この現象が 2003 年から 2004 年シーズンに特有の現象なのかは今後検証する必要がある。この観測装置と同様の物が現在もほぼ同じ地点に設置してあるので回収次第、比較検討する予定である。



図 2 雪面レベルの年変化

図 3 は 2003 年 10 月、凍結が始まった時期の垂直温度分布の時間変化を等温線で示したものである。黒線は雪面レベルの変化を表しているので黒線の下が氷河内部の温度変化を示している。等温線の変化から、温度計の設置されている -50cm 地点まではほぼ一定の速度で氷河が冷却されていることが分かる。図中の -5 及び -10 等温線から求められる冷熱の浸透速度は 1 日に 3K、10cm 程である。よって温度勾配は 30K/m になる。その後冷熱の浸透速度は遅くなり -10 線が -50cm 地点に到達するのは 11 月 28 日である。10 月 14 日に -5 線が -50cm に到達しているので 45 日間要したことになる。

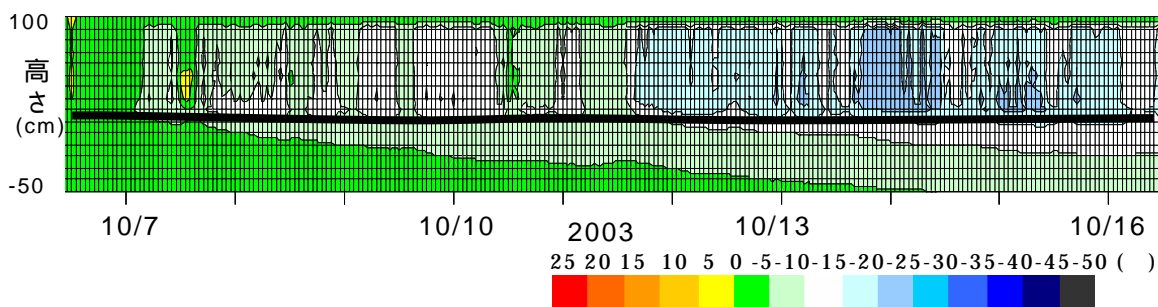


図 3 凍結初期の積雪内垂直温度分布変化。実線は雪面レベルを表す。それより上は気温を示し、下が積雪内温度を示す。

よってこの間の浸透速度は 0.11K/day ほどである。さらに冷却が進み、-50cm 地点の温度が最も低くなったのは 3 月 12 日で -18.0 であった。-50cm 地点が -5 から最低温度の -18.0 を記録するまでおよそ 5 ヶ月かかっているが、逆に -5 まで上昇したのは 2 ヶ月半後の 5 月 30 日である。

次に 2004 年 6 月、融解期の温度分布を図 4 に示す。黄色と黄緑色の境界が 0 の等温線である。融解期には融解と氷河の持つ冷熱による再凍結が繰り返されながら融解が進むことが分かる。

そして 1 日分、1 サイクルの融解・再凍結による温度変化は徐々に小さくなって行き、温度変化が一度ほとんど無くなった後、一気に融解が進行している。これは融解・再凍結を繰り返したことにより周辺の氷の持つ冷熱量が減少していたところに、融解水が一度に入り込んだことが理由と思われる。

また、再凍結量は徐々に小さくなるものの再凍結が最も進行するのは正午頃でありほとんど変化がなかった。このことは時期が遅くなるほど再凍結のピークは早くなるであろうという予測に反していた。

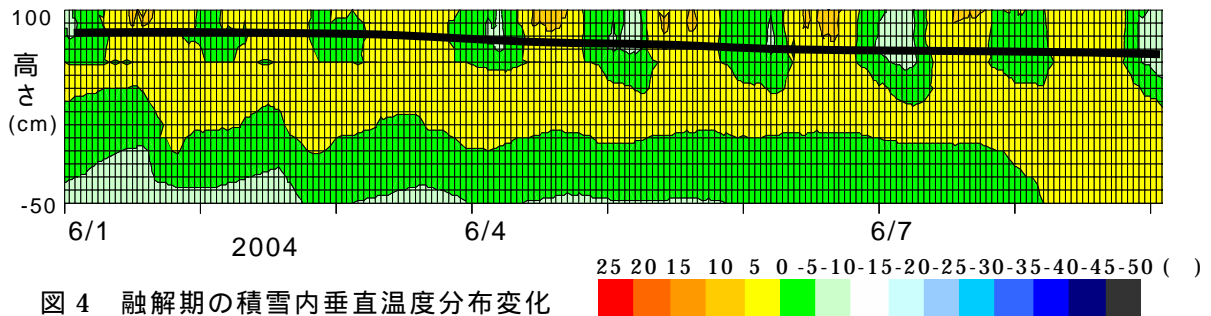


図 4 融解期の積雪内垂直温度分布変化

図 5 は毎月 15 日の氷河内部の垂直温度分布を示している。温度勾配が最も大きくなるのは 1 月であった。2 月のなると温度勾配が小さくなるが、氷河内部の温度は低下し続け -50cm 地点の最低温度はこのグラフには現れていないが 3 月 12 日、13:30-16:30 にかけて記録した -18.0 である。その後温度は各地点において上昇を続け 4 月～5 月で温度勾配が逆転して表面付近の温度が内部に比べて高くなる。また、温度勾配が逆転する 5 月 10 日前後には表面付近と下部が高く中間地点の 20cm-30cm 付近が低いという温度分布が存在した。また、6 月の温度分布が 0 付近でほぼ一定であるのは融解水が浸入したためと考えられる。

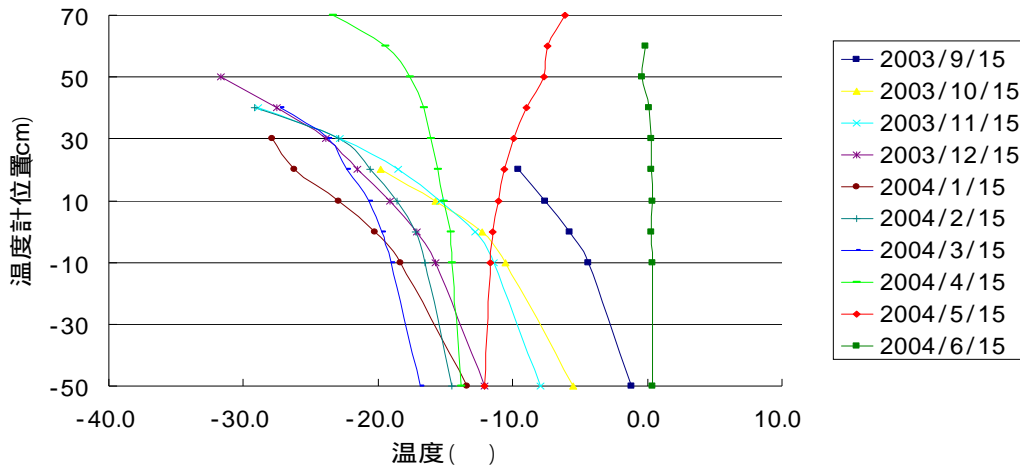


図 5 氷河内部の垂直温度分布

#### 4. まとめ

今回の結果をまとめると次のようになる。

観測で雪尺を設置した地点は涵養域とされている場所ではあるが2003年8月9日～2004年7月26日までの約1年間で雪面レベルは32cm低下した。これが温暖化によるものか、この年特有のものであるかは現在同地点に設置してある同様の装置による観測結果から検証する予定である。

雪尺に取り付けられた温度計データから雪面レベルを推定することが可能で、その精度は±10cm程度であった。これは今回設置した温度センサーの間隔が10cmだったためであるが、雪尺周辺に吹き溜まりが存在したり、融解期には雪尺伝いに融解し穴があいたりすることを考えるとこの±10cmという精度が温度変化から推定できる限界であると思われる。

凍結開始期の表面付近の氷河内温度勾配は約30K/mであった。

融解期には一度融解した水が、氷河の持つ冷熱により再凍結した。その再凍結が最も進行するのは気温が最も低くなる時刻よりさらに8-10時間ほど遅い正午頃であった。また、この時刻は暖かくなり、氷河の冷熱による再凍結量が減少しても変化することはなかった。

積雪内部の温度勾配が最も大きいのは1月であり、表面付近の温度が上昇し温度勾配が逆転するのは5月の上旬であった。

#### 参考文献

- Rabus, B. T. and K. A. Echelmeyer, 1998: The mass balance of McCall Glacier, Brooks Range, Alaska, U.S.A.; its regional relevance and implications for climate change in the Arctic. *Journal of Glaciology*, Vol. 44, No. 147, 333-351.
- Gessaman, James A. 1972: Bioenergetics of the snowy owl (*Nyctea scandiaca*). *Arctic and Alpine Research*, Vol. 4, No. 3, 223-238.
- Satow, K., Uetake, J., Takahashi, S., Sato, K., Yamazaki, T., Takahashi, A., Nolan, M., Igarashi, M., and Fujii, Y. (2005): Stratigraphical studies in accumulation area of McCall glacier, Alaska, 2003 – 2004. Abstract for Third International Symposium on the Antarctic Research (Tokyo).
- Segawa, T., Kohshima, S., Igarashi, M., Takahashi, S., Nolan, M. and Fujii, Y. (2004): Ice-core dating with snow algae and pollens in McCall Glacier, Brooks Range, Alaska. Abstract for International Symposium on Arctic Glaciology.
- 高橋修平, 五十嵐誠, 瀬川高広, Frank Pattyn, Matt Nolan, 藤井理行(2003): 2003年アラスカ・マッコール氷河雪氷調査報告(1). 第26回極域気水圏シンポジウム講演要旨, p3.
- 高橋修平, 佐藤研吾, 佐藤和秀, 植竹淳, 山崎哲秀, 高橋昭好, Matt Nolan, 五十嵐誠, 藤井理行(2004): 2004年アラスカ・マッコール氷河雪氷調査報告. 第27回極域気水圏シンポジウム講演要旨, p3.
- 高橋修平, 佐藤研吾, 佐藤和秀, 植竹淳, 山崎哲秀, 高橋昭好, Matt Nolan, 五十嵐誠, 藤井理行(2004): 2004年マッコール氷河表層のGPR観測. 第27回極域気水圏シンポジウム講演要旨, p31.
- Takahashi, S., Sato, K., Satow, K., Uetake, J., Yamazaki, T., Takahashi, A., Nolan, M., Igarashi, M., and Fujii, Y. (2005): Glaciological observations on McCall glacier, Alaska, in 2004. Abstract for Third International Symposium on the Antarctic Research (Tokyo).
- 植竹淳, 瀬川高広, 幸島司郎, 佐藤和秀, 高橋修平, Matt Nolan, 五十嵐誠, 藤井理行(2004): アラスカ、マッコール氷河、アイスコア中の雪氷微生物と花粉分析. 第27回極域気水圏シンポジウム講演要旨, p29-30.
- 若浜五郎・黒岩大助・Carl S. Benson, 1974: アラスカ州マッコール氷河源流域における積雪の氷河水への転化. 低温科学 物理編, 第32集, 143-159.