

立山、内蔵助山荘での長期気温観測データ（1997 - 2009年）と現在の氷河平衡線高度

福井幸太郎¹⁾

1. はじめに

立山は日本にある3000m峰でもっとも北に位置し、山岳永久凍土（福井・岩田、2000；福井、2004）や氷河の可能性のある水体（飯田ほか、1990、山本ほか、1986）など寒冷地特有の現象がみられる山岳である。これら永久凍土や水体がどのような気象環境下で出現しているのか？立山の高山帯では、これまで長期にわたる気象観測が行われていなかったためよく分かっていなかった。

筆者は1997年10月から立山の稜線部に位置する標高2780mの内蔵助山荘（図1）で無人氣温観測を実施している。立山は豪雪地帯のため稜線上でも観測機器が積雪に埋没する可能性があり、通年の観測は困難を伴う。しかし、内蔵助山荘の協力を得て雪が吹きだまりにくい場所に気温計を設置しているために12年間

に及ぶ気温データを得ることに成功している。今回は1997年10月から2009年12月までの観測データについて報告する。

2. 観測地点と方法

立山の主稜は雄山（標高3003m）～真砂岳（2861m）～別山（2874m）へとほぼ南北方向に伸びており、観測点の内蔵助山荘は真砂岳から北東方向に伸びる尾根上の標高約2780mに位置している（図1）。山荘の緯度経度はそれぞれ北緯36度35分18秒、東経137度37分24秒である。

観測装置は山荘の北向きの壁に取り付けてあるテレビアンテナの台座に設置した（図2）。使用した機材はT and D社製の小型防水温度データロガーTR-52である。温度センサーは外付けのサーミスタセンサーで

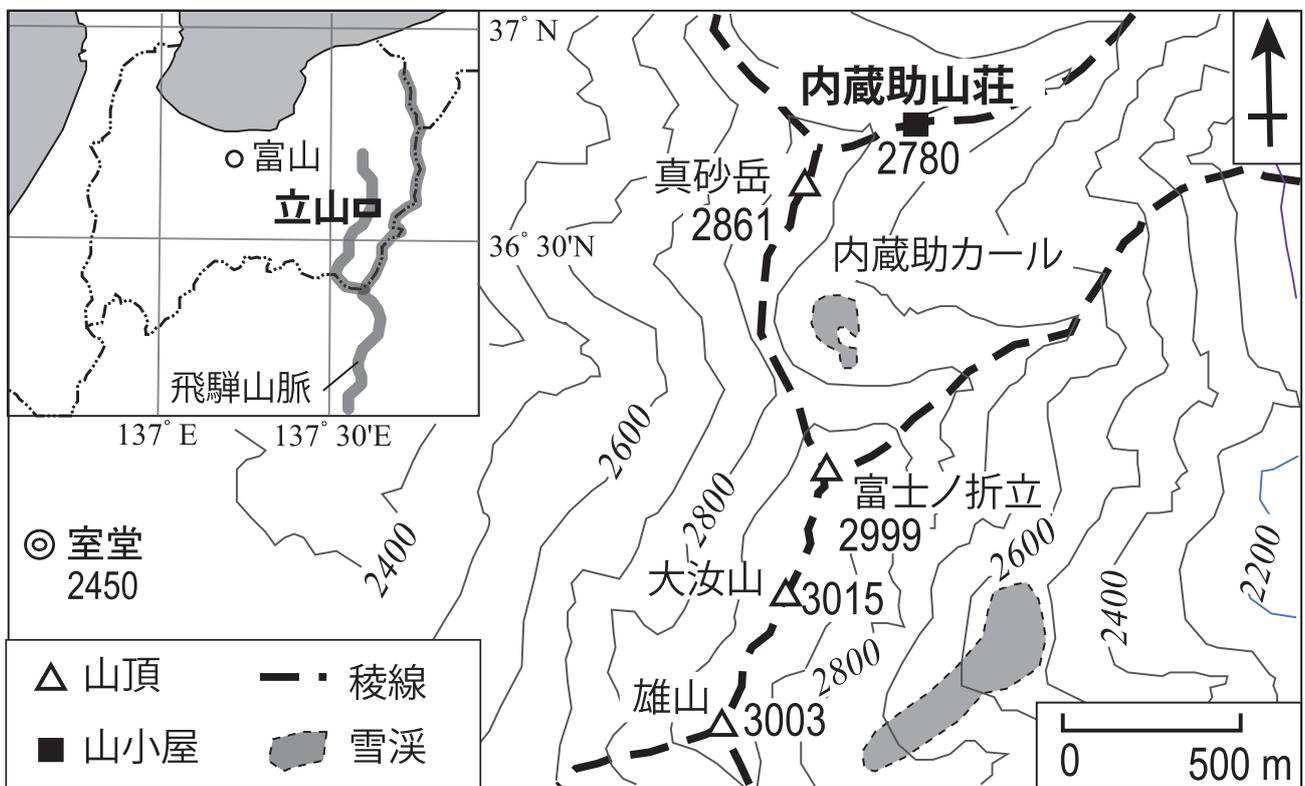


図1 内蔵助山荘（約2780m）の位置

1) 立山カルデラ砂防博物館

測定分解能 0.1℃、測定誤差 ±0.3℃、サーミスタセンサーは日射よけの通風シェルター内に固定し、山荘の壁から 20cm 離して地上 2.5m 高に取り付けた (図 2)。測定間隔は夏期が 30 分、冬期が 1 時間である。データ回収は 4 月下旬と 10 月中旬の年 2 回行った。

今回、報告する観測データのうち 1998 年 10 月～2000 年 8 月と 2005 年 10 月～2006 年 7 月の期間は観測を一時中断していたためデータが欠測している。また、観測データを見ると夏季の朝 7～10 時にかけて日射による昇温傾向が認められた。このため 7～10 時のデータは解析の際に取り除いた。さらに、2002 年 1～3 月の期間はデータの日較差が小さいため積雪に観測装置が埋没していた可能性がある。このためこの期間の気温データは異常値とみなした。

3. 結果

表 1 は内蔵助山荘で観測した 1998～2009 年の 12 年間の年平均気温、夏季 (6、7、8 月) および冬季 (12、1、2 月) 平均気温、年較差を示す。比較のため日本を代表する寒冷な山岳である富士山と大雪山の気温データを表 2 と表 3 にそれぞれ示す。なお、富士山の気温データは 1998～2009 年に富士山測候所 (標高



図 2 気象観測点の写真。上は無人氣温観測を行っている内蔵助山荘。下は通風シェルターとデータロガー。

表 1 内蔵助山荘の年平均気温、夏季 (6、7、8 月)、冬季 (12、1、2 月) の平均気温、年較差の経年変化。2002 年冬期は観測装置が積雪に埋没していた可能性がある。

年	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	平均
年平均気温 (°C)	-	-	-	-2.5	(-1.0)	-1.1	-1.0	-	-	-1.7	-2.3	-1.2	-1.6
夏季平均気温 (°C)	8.6	-	-	9.1	8.5	9.8	10.1	9.7	-	9.3	8.4	8.9	9.2
冬季平均気温 (°C)	-15.4	-	-	-14.6	(-10.3)	-13.1	-13.4	-13.0	-	-11.8	-13.9	-11.9	-13.4
年較差 (°C)	-	-	-	26.8	(21.4)	26.9	27.2	-	-	25.1	24.9	25.0	26.0

表 2 富士山測候所 (標高 3775m) の年平均気温、夏季 (6、7、8 月)、冬季 (12、1、2 月) の平均気温、年較差の経年変化。

年	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	平均
年平均気温 (°C)	-4.6	-5.7	-6.1	-6.0	-5.9	-5.5	-5.2	-6.6	-5.6	-6.1	-6.0	-5.9	-5.8
夏季平均気温 (°C)	4.4	4.4	4.3	4.9	4.1	3.8	4.8	4.4	4.6	4.3	4.6	3.4	4.3
冬季平均気温 (°C)	-15.3	-16.8	-17.4	-16.7	-17.0	-16.5	-17.3	-16.2	-18.1	-15.5	-17.5	-15.7	-16.7
年較差 (°C)	23.2	24.6	27.5	25.8	24	25.5	26	27.4	25.6	23.3	26.7	24.5	25.3

3775m) で観測されたデータ、大雪山の気温データは1985～1993年に白雲小屋（標高2000m）で観測されたデータ（曾根・仲山、1992；曾根、1994）である。

内蔵助山荘の年平均気温は $-1.0 \sim -2.5^{\circ}\text{C}$ 、平均で -1.6°C であった。この年平均気温はシベリアやアラスカでタイガ（亜寒帯針葉樹林）が広がり永久凍土が不連続に分布するような寒冷地の年平均気温に匹敵する。富士山の年平均気温は -5.8°C 、大雪山のそれは -4.5°C であり、内蔵助山荘の年平均気温は富士山や大雪山のそれよりも大幅に高い。

内蔵助山荘の夏季平均気温は 9.2°C であった。富士山のそれは 4.3°C 、大雪山のそれは 9.6°C であり、内蔵助山荘の夏季平均気温は富士山よりも大幅に高いが大雪山よりも若干低い。これに対して冬季平均気温は -13.4°C と富士山の -16.7°C 、大雪山の -16.8°C よりも大幅に高かった。

年較差は 26°C と富士山の 25.3°C とほぼ同じであり、大雪山の 31.3°C より小さかった。立山は海に近いために冬に寒冷で夏に温暖な内陸性の気候である大雪山よりも年較差が小さいといえる。

表4に1997年10月～2009年12月までの内蔵助山荘の月平均気温、月最高気温、月最低気温を示す。最暖月は8月であった。ただし、2001、2002年のように7月の方が月平均気温が高い年もあった。7、8月の最低気温をみると2002年8月のように 0.1°C まで下がっている年があった。このような低温時には真夏にもかかわらず地表付近で凍結が生じた可能性もある。

最寒月は1月、観測期間中の最低気温は1998年1月の -29.2°C であった。北海道の内陸部では旭川や帯広など平野部でも最低気温が -30°C を下回る場所が多数あるので、最低気温自体はそれほど低温であるとはいえない。

つぎに気温の経年変化をみている。図3は内蔵助山荘の1997年10月～2009年12月までの12年間の月平均気温の変化を示す。月平均気温の経年変化は夏と冬で顕著な違いが認められた。夏の月平均気温は年ごとにばらつきがあるものの、観測期間中ほぼ安定しているように見える。ところが、冬の平均気温はゆっくりとではあるが昇温傾向がみられた。近年、室堂では、厳冬期にも雪がとけて積雪層内に氷板が多数形成されるなど、暖冬の影響がみられる。今回の観測結果もこの近年の暖冬傾向を裏付ける結果となった。

4. 氷河は存在可能か？現在の立山の平衡線高度の推定

内蔵助山荘の南側にある内蔵助雪渓ではかつて氷河として流動していた痕跡がある厚さ30mの氷河水がみついている（吉田ほか、1987；飯田、1990）。さらに、2009年9月17日、内蔵助山荘の南側約1.8kmに位置する御前沢圏谷で長さ700m幅200m、厚さ30mに達する日本最大級の氷体がアイスレダ探査によって見つかった（福井、2010）。この氷体は厚さや表面傾斜から判断して現在でも流動している氷河である可能性が高い。

これら氷河の可能性を秘めた氷体が存在する立山の高山帯は現在でも氷河が存在できる気候条件なのか？今回観測した内蔵助山荘の夏の気温を使って推測する。

氷河は涵養と消耗という二つの機構の収支の上に維持されている。したがって、涵養域と消耗域の境界である平衡線の高度は氷河の分布を知るうえで良い目安になる。Ohmura et al. (1992)は、氷河の平衡線における降水量と気温の関係を詳細に検討し、平衡線における6～8月の平均気温 $T (^{\circ}\text{C})$ と年間降水量 $P (\text{mm})$ との間に以下の関係を見いだした。

$$P = 9T^2 + 296T + 645$$

表3 大雪山白雲小屋（標高2000m）の年平均気温、夏季（6、7、8月）、冬季（12、1、2月）の平均気温、年較差の経年変化（曾根・仲山、1992；曾根、1994）。

年	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	平均
年平均気温($^{\circ}\text{C}$)	-3.8	-	-4.9	-5.2	-	-	-	-	-3.9	-4.5
夏季平均気温($^{\circ}\text{C}$)	10.2	-	9.1	10.4	9.5	-	9.5	-	8.7	9.6
冬季平均気温($^{\circ}\text{C}$)	-	-18.7	-	-19.8	-16.4	-	-16.0	-15.0	-	-16.8
年較差($^{\circ}\text{C}$)	35.2	31	31	35.9	28.9	-	30.5	-	26.4	31.3

表4 内蔵助山荘の1997年～2009年の月平均気温、月最高気温、月最低気温。

1997年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年間
月平均気温(°C)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	-4.2	-6.5	-13.1	—
月最高気温(°C)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	12.9	2.6	-0.5	—
月最低気温(°C)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	-16.5	-18.1	-25.0	—

1998年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年間
月平均気温(°C)	-18.3	-14.8	-13.1	-1.1	3.7	6.4	9.4	9.9	8.1	—	—	—	—
月最高気温(°C)	-3.0	-0.5	9.5	15.6	23.8	24.2	23.1	19.9	21.6	—	—	—	—
月最低気温(°C)	-29.2	-26.6	-26.6	-20.3	-8.4	-3.0	2.6	3.6	1.8	—	—	—	—

2000年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年間
月平均気温(°C)	—	—	—	—	—	—	—	—	7.0	1.7	-3.9	-12.4	—
月最高気温(°C)	—	—	—	—	—	—	—	—	18.1	10.7	9.3	-2.4	—
月最低気温(°C)	—	—	—	—	—	—	—	—	-3.7	-8.8	-17.1	-21.8	—

2001年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年間
月平均気温(°C)	-16.1	-15.3	-12.0	-4.6	1.1	5.9	10.7	10.6	6.8	2.7	-7.3	-13.0	-2.5
月最高気温(°C)	-2.8	-4.6	0.9	14.6	13.2	17.3	19.2	18.4	15.9	18.6	2.3	-2.6	19.2
月最低気温(°C)	-24.0	-24.0	-24.0	-18.4	-19.7	-3.3	3.6	4.1	-6.1	-6.5	-15.0	-18.4	-24.0

2002年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年間
月平均気温(°C)	(-9.5)	(-8.4)	(-6.1)	-1.3	1.6	4.7	10.8	10.0	6.3	-0.3	-9.1	-10.6	(-1.0)
月最高気温(°C)	(-2.0)	(-6.7)	(-2.7)	7.2	18.7	20.4	20.4	19.8	18.4	12.9	-0.6	-0.5	20.4
月最低気温(°C)	(-22.2)	(-9.8)	(-8.1)	-11.9	-6.4	-4.1	4.8	0.1	-6.1	-11.4	-16.4	-21.1	(-22.2)

2003年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年間
月平均気温(°C)	-15.2	-13.4	-11.8	-2.3	3.6	7.9	9.9	11.7	9.4	0.1	-2.0	-11.3	-1.1
月最高気温(°C)	-1.3	-2.9	-0.3	9.0	16.6	11.0	12.8	14.0	12.9	13.5	5.9	-0.3	16.6
月最低気温(°C)	-25.5	-21.1	-22.9	-15.9	-14.8	3.7	6.8	8.7	3.8	-10.2	-14.5	-21.6	-25.5

立山、内蔵助山荘での長期気温観測データ（1997-2009年）と現在の氷河平衡線高度

2004年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年間
月平均気温(°C)	-15.7	-13.3	-10.9	-3.9	3.7	7.6	11.2	11.5	8.7	2.5	-3.9	-10.0	-1.0
月最高気温(°C)	-7.9	0.9	2.3	9.1	18.4	21.3	24.5	25.3	18.7	17.5	7.2	7.5	25.3
月最低気温(°C)	-24.8	-21.4	-22.4	-16.0	-5.0	-3.3	4.0	4.1	2.0	-9.1	-12.8	-19.7	-24.8

2005年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年間
月平均気温(°C)	-14.8	-14.3	-10.9	-3.2	0.2	7.9	9.9	11.4	9.4	—	—	—	—
月最高気温(°C)	-4.4	-0.7	0.6	10.6	14.0	23.1	25.3	22.8	16.8	—	—	—	—
月最低気温(°C)	-21.6	-22.8	-21.9	-11.7	-11.2	0.2	4.5	4.5	3.9	—	—	—	—

2006年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年間
月平均気温(°C)	—	—	—	—	—	—	—	12.6	8.4	2.3	-5.0	-10.8	—
月最高気温(°C)	—	—	—	—	—	—	—	20.1	17.2	10.9	2.9	-0.9	—
月最低気温(°C)	—	—	—	—	—	—	—	6.2	0.2	-5.4	-13.7	-21.1	—

2007年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年間
月平均気温(°C)	-13.2	-11.6	-11.0	-7.1	0.0	6.2	9.7	11.9	10.1	1.1	-6.4	-10.7	-1.7
月最高気温(°C)	-4.5	-1.0	0.9	1.6	9.9	14.6	16.1	20.2	18.5	10.0	3.1	-0.5	20.2
月最低気温(°C)	-19.1	-20.5	-21.2	-19.0	-8.7	-2.7	4.4	5.4	2.4	-10.4	-16.8	-18.3	-21.2

2008年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年間
月平均気温(°C)	-14.5	-16.4	-9.2	-3.8	0.8	5.0	9.6	10.4	7.2	1.4	-6.6	-10.7	-2.3
月最高気温(°C)	-1.2	-5.8	2.4	8.1	10.7	15.3	17.7	19.8	18.0	11.0	5.4	-1.1	19.8
月最低気温(°C)	-23.0	-24.0	-20.7	-16.2	-10.0	-4.6	3.9	2.1	-7.1	-11.7	-17.1	-22.2	-24.0

2009年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年間
月平均気温(°C)	-13.6	-11.5	-9.3	-4.1	2.2	5.8	9.6	11.4	7.3	0.0	-4.3	-10.4	-1.2
月最高気温(°C)	-1.2	0.3	0.3	6.5	14.5	22.8	19.1	24.5	19.8	10.5	5.5	-1.0	24.5
月最低気温(°C)	-22.7	-24.3	-17.7	-15.4	-8.3	-3.0	4.3	3.4	-0.7	-6.8	-15.8	-20.7	-24.3

Tを内蔵助山荘（標高2780m）の6～8月の平均気温9.2℃、Pを室堂平の積雪水量約3000mmと天狗平のアメダスで観測された夏季降水量の平年値約1500mmを合わせた降水量4500mm、気温減率を-0.6℃/100mとして上記の経験式から立山の現在の平衡線高度を算出すると2650mになる。立山主稜の標高はこの平衡線高度を大幅に上回っており、気象条件的に現在の立山では氷河が存在可能であるといえる。

なお、Ono et al. (2003)でも本データの一部を使って立山の平衡線高度を推定算出しており、それによると平衡線高度2970mであると推定している。

比較のため富士山、大雪山の平衡線高度をみってみる。Ono et al. (2003)は富士山の平衡線高度を上記の経験式と富士山測候所の気象観測データから4192mと算出している。したがって、現在の富士山は平衡線高度には達していない。

大雪山の現在の平衡線高度について記述した論文は出版されていないが、Tを白雲小屋の6～8月の平均気温9.6℃、Pを五色岳周辺で観測された夏季降水量約1000mm (Iwahana et al., 2008)と旭岳西斜面で観測された積雪水量約1500mm (山田ほか、1975)を合わせた降水量2500mmとして平衡線高度を算出すると2700mになる。このため、現在の大雪山も平衡線高度に達していない。つまり、富士山も大雪山も現在の気象条件下では氷河の分布が不可能であるといえる。

氷河の可能性を秘めた氷体が日本では立山周辺だけに複数分布するのは、立山が平衡線高度に達するような寒冷で降水量が多いという氷河の分布に適した気象条件にあることを背景にしているのかもしれない。

参考文献

- 飯田 肇・竹中修平・上田豊・伏見碩二 1990. 北アルプス内蔵助雪渓氷体の内部構造－化石氷体の可能性について－. 日本最古の化石氷体（北アルプス内蔵助沢）の構造と形成に関する研究. 平成元年度科学研究費補助金（総合研究A）研究成果報告書19－30.
- Iwahana, G., Sawada, S., Ishikawa, M., Katamura, F., Sone, T., Sueyoshi, T. and Harada, K. 2008. Micrometeorological Measurements on Mountain Permafrost in the Daisetsu Mountains, Hokkaido, Japan. Proceedings of Ninth International Conference on Permafrost. 809－814.
- 福井幸太郎・岩田修二 2000. 立山、内蔵助カールでの永久凍土の発見. 雪氷62:23－28.
- 福井幸太郎 2004. 立山での山岳永久凍土の形成維持機構. 雪氷66:187－195.

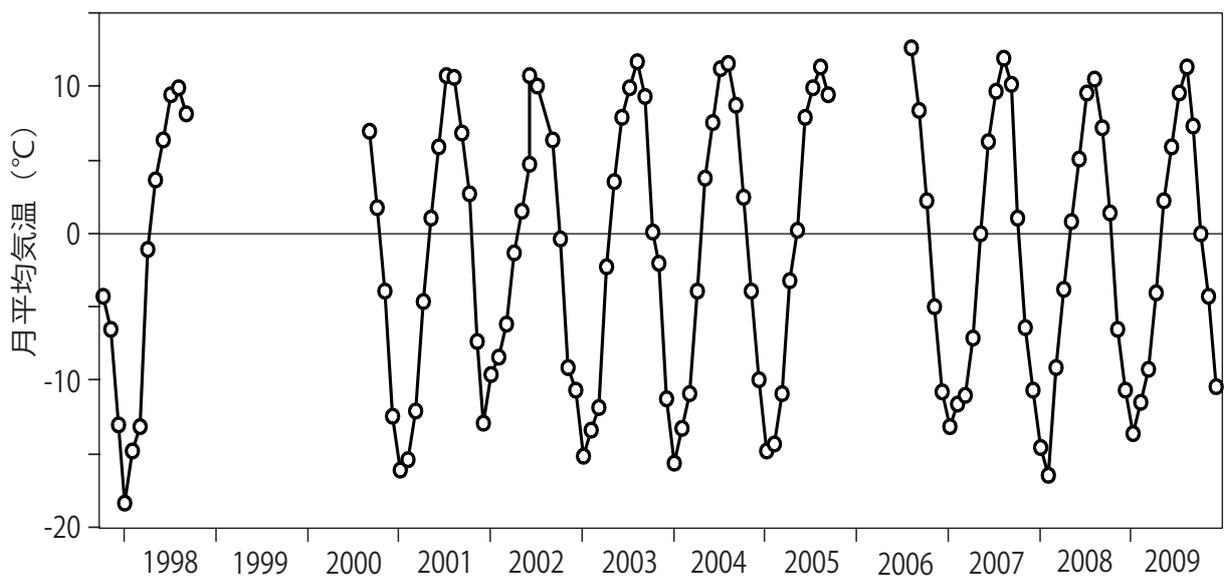


図3 1997～2009年にかけての月平均気温の推移。
1998年10月～2000年8月と2005年10月～2006年7月の期間は観測を中断していたためデータが欠測。

- 福井幸太郎 2010. 立山周辺の雪渓 氷河の可能性
をもつ御前沢雪渓. 地図中心 454:8 –
11.
- Ohmura, A., Kasser, P., and Funk, M. 1992. Climate
at the equilibrium line of glaciers. J.
Glaciol. 38:397 – 411.
- Ono, Y., Shiraiwa, T. and Dali, L. 2003. Present
and last-glacial Equilibrium Line Altitudes
(ELAs) in the Japanese high Mountains. Z.
Geomorph. N.F., Suppl.-Bd. 130: 217 – 236.
- 曾根敏雄・仲山智子 1992. 北海道、大雪山白雲小
屋における1987-1989年の気温観測資料.
低温科学 物理篇 51 資料集:31 – 37.
- 曾根敏雄 1994. 北海道、大雪山白雲小屋における
1990-1993年の気温観測資料. 低温科学
物理篇 53 資料集:33 – 39.
- 山田知充・西村寛、水津重雄、若浜五郎 1975. 大
雪山旭岳西斜面における積雪の分布と堆積・
融雪過程. 低温科学 物理篇 37:1 – 12.
- 山本勝弘・飯田 肇・高原浩志・吉田 稔・長谷川 浩
1986. インパルスレーダーによる内蔵助雪渓
の内部構造調査. 雪氷 48:1 – 9.

【要 旨】

立山内蔵助山荘（標高約2780m）で1997年から2009年まで12年間、気温の無人連続観測を実施した。年平均気温は -1.6°C であった。この気温はシベリアなどで永久凍土が不連続に分布している地域の気温に匹敵する。また、夏季3ヶ月の平均気温と室堂の年間降水量から立山の現在の氷河平衡線高度を計算すると2650mとなり、立山では現在でも気候的に氷河が分布可能であることが分かった。