

## みずほ基地におけるごみ、糞尿および 廃水の処理方法に関する提案

林田 進\*・前 晋爾\*\*・村山雅美\*\*

### A Treatment and Disposal System of Waste Materials at Mizuho Station

Susumu HAYASHIDA\*, Shinji MAE\*\* and Masayoshi MURAYAMA\*\*

**Abstract:** As long as the activity of Mizuho Station is maintained, it is inevitable to cause environmental pollution. The authors propose a treatment and disposal system of garbage, feces and waste water, as a suitable system adapted for climatic conditions at Mizuho Station. This system is characterized by freezing up waste water in cubic ice blocks and sealing garbage and feces in these cubic ice blocks. By applying this system, we can dispose the waste materials without diffusing pollution.

**要旨:** みずほ基地は沿岸から 250 km 内陸にはいった氷床上に存在する小基地である。この基地には通常 3~5 名の人員が滞在し、地球科学的研究・観測が実施されてきている。特に氷床上の降雪・積雪・氷床氷の研究では、雪氷上の微量化学物質の分析に基礎をおく地球化学の研究を含んでいる。このため基地周辺の環境の汚染は最小限にいくとめなければならない。

筆者が南極地域観測隊隊員としてみずほ基地に滞在した経験を基に、みずほ基地のごみ、糞尿および廃水の処理方法を考察してみた。その結果本論文では、みずほ基地の燃料事情ときびしい作業条件を勘案し、次のような方法を廃水、ごみおよび糞尿処理の 1 つの方法として提案する。処理方法の骨子は、まず廃水を凍結固化して氷ブロックを作製し、この氷ブロック中にごみ糞尿等を封じこめ、雪面下の適当な場所に収容する、ことである。しかし、この処理方法は実験事実に基づいて提案されたものではないので、今後実現化を図る際には基礎実験を国内の低温室やみずほ基地で実施することが必要となろう。この点についても簡単に記述する。

\* 環境コンサルタント. Environmental Consultant, 92-1, Kajiwara, Kamakura 247.

\*\* 国立極地研究所. National Institute of Polar Research, 9-10, Kaga 1-chome, Itabashi-ku, Tokyo 173.

## 1. はじめに

みずほ基地は、観測拠点として第11次南極地域観測隊によって建設され、その後第17次南極地域観測隊から通年維持され、現在に至っている。みずほ基地は内陸氷床にあり、昭和基地とは環境条件はまったくといってよいほど異なっている。当然のことながら、廃水・ごみおよび糞尿処理方法は、昭和基地のそれとは相違せざるをえないと同時に、基地人員が3~5名であることから、処理に要する作業も大きな問題となる。

またみずほ基地では、降雪・積雪・氷床氷に含まれる微量の物質、すなわち酸素同位体や海塩濃度、鉛等の重金属の測定が実施されてきており、今後さらに微量物質分析に関連する研究・観測が拡大進展するものと推定される。したがってみずほ基地周辺の環境汚染は最小限にとどめ、汚染地域も限られたものとしなければならない。

基地とそこで生活する隊員が生産する汚染物質は多種にのぼるが、廃水・ごみ・糞尿は多量に生産される物質であり、これらの処理は研究観測にも影響がある。このため、現在までのみずほ基地の状況を参考に廃水・ごみ・糞尿の処理について考察を加えてみた。現在まで、みずほ基地でのこの種の物質の処理に関する体系的な研究は、少なくとも筆者は見聞しておらない。したがって筆者の考察は、いわば机上の考察であり、基礎的な実験事実にかならずしも基づいているものではない。この点からも、本論文は1つの処理方法の提案の域を出ない。しかし、将来南極事業の発展に伴い氷床あるいは氷棚上の基地や観測拠点、航空拠点が建設され維持されることが予想されることもあり、廃水・ごみ・糞尿の処理が真剣に検討されるべき時期と考え、廃水・ごみ・糞尿処理に関する筆者の考察を論文としてまとめた。

## 2. 各隊次における廃水・ごみ・糞尿の排出量とその処理方法

### 2.1. 概要

みずほ基地は、第11次南極地域観測隊が観測拠点として建設した。沿岸から約250km内陸にはいったところであり、カタバ風（斜面下降風）気候帯に存在している。このため、雪面上は12~13 m/sの斜面下降風と低気圧に起因する風とにさらされ、かつ年平均気温は-33°Cである。また、高度は約2000mで気圧は730 mbと低く、基地作業の環境としてかなりきびしいといわねばならない。

みずほ基地は建設当初雪面上にあったが、地吹雪による吹きだまりで次第に埋められ、第18次および第19次南極地域観測隊の頃から完全に雪面下に埋まってしまった。したがっ

表 1 みずほ基地の水利用とごみの排出  
 Table 1. Water utilization and waste disposal at Mizuho Station.

隊次	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
項目										
滞在期間 (人・日) (うち支援等短期)	187 (187)	792 (336)	1307 (178)	388 (153)	829 (304)	170 (170)	1314 (210)	1753 (237)	1575 (151)	
造水方法	—	エンジン余熱により雪を融かす								
水源	—	雪面下より切り出した雪ブロック						飛雪		
風呂	なし	あり								
水使用量* (l/人・日)	—	—	37	40	40	40	43~(70)	40	40	
廃水量(t)	—	—	48	15	33	7	56	70	63	
廃水処理方法	—	雪面上に排出し放置					クラックに注入一部雪面下の雪穴に投棄			
糞尿量(t)	—	0.7	1.3	0.4	0.8	0.2	1.3	1.8	1.6	
糞尿処理方法	戸外に排泄	雪洞内に設けたドラム缶の便槽に排泄し、使用後は埋める					雪洞内の素掘りの雪穴に排泄			
ごみ量(t)	—	—	0.5	—	—	—	3.0	2.5	—	
ごみ処理方法	—	—	雪面上に投棄，一部焼却				昭和基地に持ち帰る。雪面に穴を掘って埋め立て、一定個所に野積みなど			
備考	基地建設	夏期のみ滞在	越冬開始				長期の滞在はしなかった			

\* 14 次, 15 次, 16 次, 18 次および 19 次については, 水使用量原単位を 40 l/人・日と仮定した。

て, 第 11 次南極地域観測隊以来各隊で水利用と廃棄物の処理方法とが変わってきている。この変化のようすを表 1 に示す。一般的にみて廃水量がごみや糞尿の処理量に比較して圧倒的に多いことが分かるが, 廃棄方法の困難さは, ごみや糞尿の方がはるかに大である。以下の各項で, 水利用と廃水・ごみ・糞尿の各隊の処理方法を詳述してみる。

## 2.2. 水利用と廃水処理

12 次隊から 17 次隊までは雪面下より切り出した雪ブロックをエンジン余熱で融解して水を作った。しかし, 雪ブロックを切り出す場所が少なくなったこと, 切り出した雪ブロックに以前に使用廃棄したオイルが混っていることもあって, 18 次隊から雪ブロック切り出しによる造水をあきらめた。18 次隊以降は, 雪面にたて穴を掘りこみ, そこに貯留した飛雪に

水資源を求め、エンジン余熱を利用してそれらを融かして用水を得ている。水使用量原単位は 40 l/人・日程度で、昭和基地における 50 l/人・日よりも若干少ないが、夏期には 70 l/人・日であったという報告もある（第 17 次隊において 1 月上旬測定）。水使用量原単位の測定値が欠けている隊次については 40 l/人・日と仮定して、年間の水使用量、すなわち廃水量を算出し、表 1 に示した。16 次隊までの廃水処理は、廃水を一たん凍結防止のための投込ヒーターを備えたドラム缶による汚水槽に貯留し、槽内の水中ポンプとそれに接続したゴムホースによって雪面上に排除して凍結させるものであったが、この方法で雪面上に廃棄、凍結された汚水量は合計 103 t になる。17 次隊以降は雪洞内にクラックを発見し、そこに注入する方法をとり、一部炊事廃水等の汚れの著しい廃水は、糞尿処理のために設けた雪洞内の素掘りの雪穴に投棄した。この方法によって処理された廃水量は合計 189 t になる。

### 2.3. 糞尿処理

一般に糞尿の排泄量原単位は 1 l/人・日程度であるが、その数値を採用して算出した値を表 1 に示した。13 次から 16 次隊までは雪面下に雪洞による便所を掘って、床にドラム缶を埋め込んで便槽とし、その中に排泄して、満杯になりしだい雪の中に埋める方法をとっていたが、17 次隊以降はドラム缶を埋め込む労を省き、素掘りの雪穴に排泄している。いずれにしても、極地においては排泄物はほぼ原型を保ったまま凍結してしまうので便槽の容量効率 は低い。

### 2.4. ごみ処理

ごみの排出量についてはデータが乏しく、実態を把握することが困難であるが、隊次が進むにつれて基地での消費生活が活発になり、それに伴ってごみの排出量も増大することが予想される。

13 次から 16 次隊までは、雪面上に投棄し、廃水とともに凍結させる方法をとっていた。可燃性のごみについては焼却処理することも試みられたが、低温と強風のため着火しにくく、うまくいかなかった。17 次隊以降は、1) 昭和基地に持ち帰る。2) 雪面に穴を掘って埋め立てる。3) 一定の場所に野積みする、などの方法がとられている。

### 2.5. これらの方法の問題点

水源を雪面下から切り出した雪ブロックに求めた場合、水使用量の増大に伴って雪面下空間が広がるわけであるが、基地の増設期においては、その空間を実験室、作業場、倉庫など

に活用できる効果があった。しかしそれらの空間需要が充足されると、不必要な雪面下空間が拡大することになる。

雪面下に掘削された空間は長時間のうちには天井の沈下がおこり、ついには天井が落ちる、すなわち雪面が陥没する危険がある。

基地の安全対策上、雪面下空間を不必要に拡張することは好ましくなく、18次隊以降降雪に水源を求めたことは賢明である。また基地開設後10年になろうとする昨今では、雪面下から切り出した雪ブロックが油などで汚染されている場合が少なくないということである。

廃水を雪面上に排除し、凍結させる処理方法は、汚水排除のためのゴムホースが凍結して閉塞するという事故がしばしばあった。その上凍結した排水は小山状にもり上がり雪面の形態を乱すという欠点があり、またいかにも汚物の山という外観を呈してきわめて見苦しかった。クラックに注入する方法をとれば、これらの欠点は改善されるが、クラックにそって廃水がどこまで浸透するかしれず、これまでの注入量を見てもかなり広範囲にわたる雪氷を汚染していることは容易に考えられる。

糞尿処理についてはほぼ合理的な方法がとられてきたわけであるが、便所がいわゆる「使い捨て」であるために、最近では新設のためのスペースの確保に苦慮しはじめている。

ごみ処理については特に17次隊以降さまざまな工夫がこらされているが、いずれも長期的展望を欠いた場当たりの方策であると評価せざるをえない。

### 3. 新処理方法の提案

#### 3.1. 新処理方法の概要

前節に記した現在の廃水処理を改めて、廃水そのものを氷のブロック化することがまず第1である。この方法によって廃水がクラックにそってどこまで流れるかわからない現在の方法が改善される。特に基地で実施が予定されている掘削氷に対する汚染の危惧をとり除くことができる。

さらに廃棄物処理を一貫したものとするため、廃水を凍結させて作った氷ブロックのなかにごみと糞尿をとじこめ、汚物を中につつまこんだ氷ブロックを作ってしまう。氷ブロックにしてしまえば、運搬も可能であり、かつ収容場所についても現状よりはるかに可能な領域が広がってくる。

次の項からは、廃水利用の氷ブロックの作製方法と汚物処理方法について詳しく記す。

3.2. 廃水利用氷ブロックの作製

廃水は、1) 風呂水、2) 食器洗浄水、3) 炊事廃水、があげられる。このうち風呂水と食器洗浄水が比較的きれいである。3) の炊事廃水が調理の際にでる汚物を相当含んでおり、むしろ糞尿と同種と考える方が妥当である。このため、この項の廃水は風呂水と食器洗浄水に限ることとする。

廃水を凍結して作る氷ブロックは、隊員1人が持ち運びのできる大きさとし、かつその内部に糞尿等の汚物をつつみこむことのできる形状としなければならない。そこで大小2種類のステンレススチール製の箱を作製し、この箱の間隙に廃水を流しこみ氷ブロックを作るこ

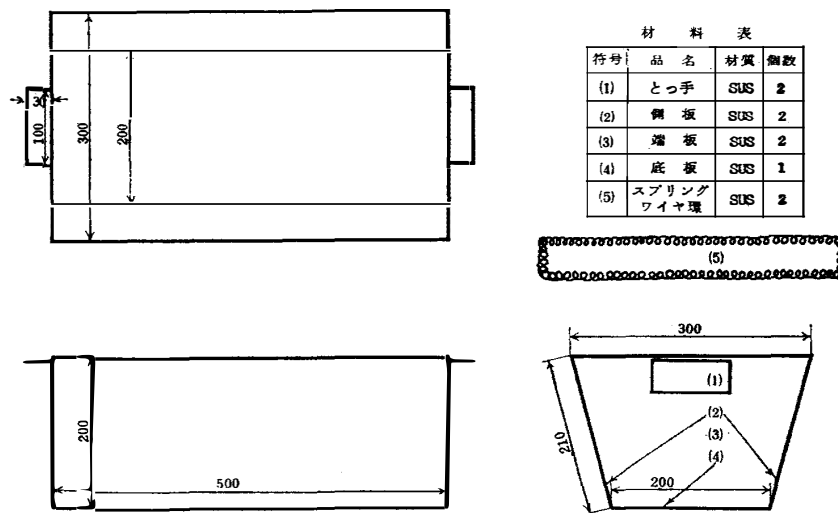


図 1 ブロック形成大型容器外箱  
Fig. 1. Outer part of the large size waste box.

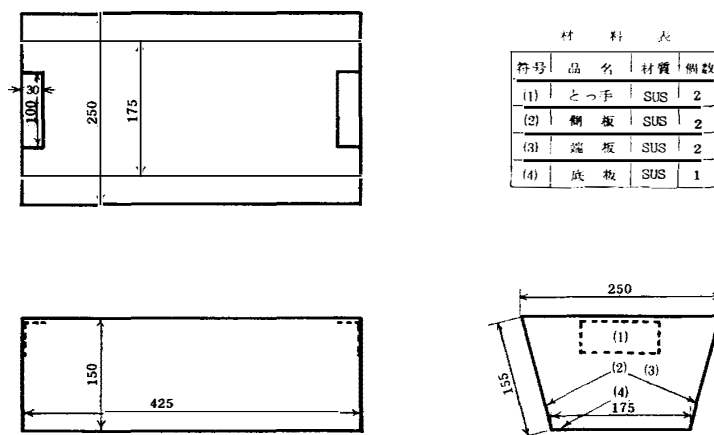


図 2 ブロック形成大型容器内箱  
Fig. 2. Inner part of the large size waste box.

ととした。以下にステンレススチール製の金属箱について述べる。

図1に構造を示すとき、それぞれステンレススチール製の底辺 200 mm, 上辺 300 mm, 高さ 200 mm の把手付台形端板 2 枚と、幅 200 mm, 長さ 500 mm の底板 1 枚および幅 210 mm, 長さ 500 mm の側板 2 枚からなる容量 25 l の外箱と、図2に構造を示すとき、それぞれステンレススチール製の底辺 175 mm, 上辺 250 mm, 高さ 150 mm の把手付台形端板 2 枚と幅 175 mm, 長さ 425 mm の底板 1 枚および幅 155 mm, 長さ 425 mm の側板 2 枚からなる容量 13.5 l の内箱そして図1に示す外箱を締めつけるためのスプリングワイヤー環 2 個からなる。

図3に手順を示すように、金属容器の外

箱の中に内箱を納め、スプリングワイヤー環にて外箱を2個所で締めつけた後、外箱と内箱の間隙に風呂廃水と食器洗浄廃水を満たして放置し(図3A)、廃水が十分凍結した後にスプリングワイヤー環および内箱を取り外すと外箱はほぼきれいな廃水でコーティングされたような状態になる。

以上がきれいな廃水を使用する氷ブロックの作製法である。

### 3.3. ごみ、糞尿の処理方法

ごみは紙製品を含むため空隙が大きく重量の割にはかさばっている。3.2. で述べた氷ブロックに封入するためには、何らかの方法で圧縮する必要がある。ステンレススチール製の外箱をつけた氷ブロックにごみを入れ、上から踏みかためることも一方法である。

氷ブロックの内に入れたごみには上から風呂水や食器洗浄水をかけて氷ブロックの中に凍結固化してしまう。その後外箱をはずすときれいな氷に外側をかこまれた台形状の氷ブロックができる。ステンレススチール製の金属箱の中にごみを入れ、圧縮の後廃水を注入凍結させ金属箱をはずしてもよい。しかしこの方法では、完全に廃水がごみの空隙を埋めこまない

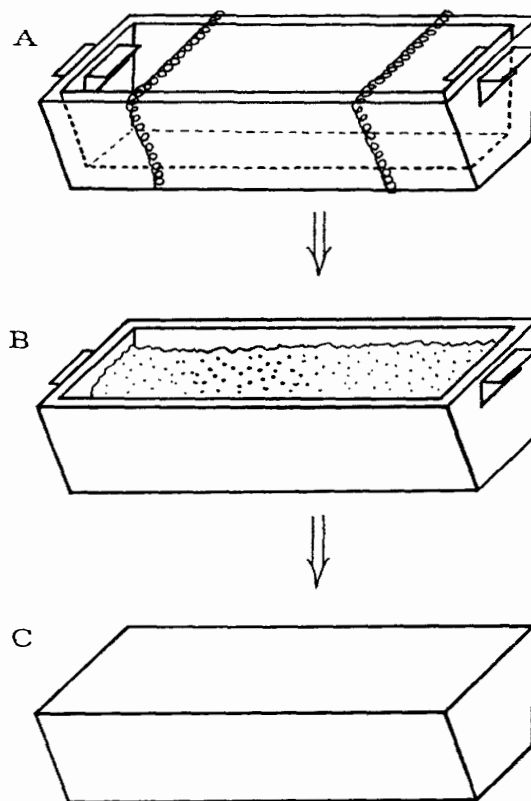


図3 糞尿処理の手順

Fig. 3. Procedure for treatment of feces.

限り、外側は汚くもありまたブロックが壊れやすく運搬が困難になる。

ステンレススチール金属箱に氷がはりついている中空の氷ブロックをおまるのように使用して糞尿を処理する。この場合、紙はべつのビニール袋等に入れる必要がある。また糞尿は筒状に蓄積するので比較的平坦に蓄積されるよう適当に箱を動かす必要がある。さらに鉄棒で凍結した糞尿をつきくずし、表面を平坦にしなければならない。糞尿が適当量たまったら(図 3 B)、比較的きれいな廃水を満たして放置凍結すると糞尿は比較的きれいな氷に密封された台形ブロックとして形成され、ステンレススチール製の金属箱をとりはずすと完全な氷ブロックとなる(図 3 C)。

炊事廃水は糞尿ほど固形物を含んでいないが、ほぼ糞尿と同様の取り扱いをすべきである。

### 3.4. 氷ブロックの処分

廃棄物ブロックの処分のための空間は、雪面下に求める。すなわち、造水用の雪ブロックを切り出すことによって得られた雪面下の空間に、積み重ねて処分する。最終処分状態の想像図を図 4 に示す。

廃棄物ブロックは一定の形に成形されているので、むだな空間を残すことなく処分することができ、積み重ねておけば、自重によって互いに融着して堅固な一構造となり、崩れる心配はない。

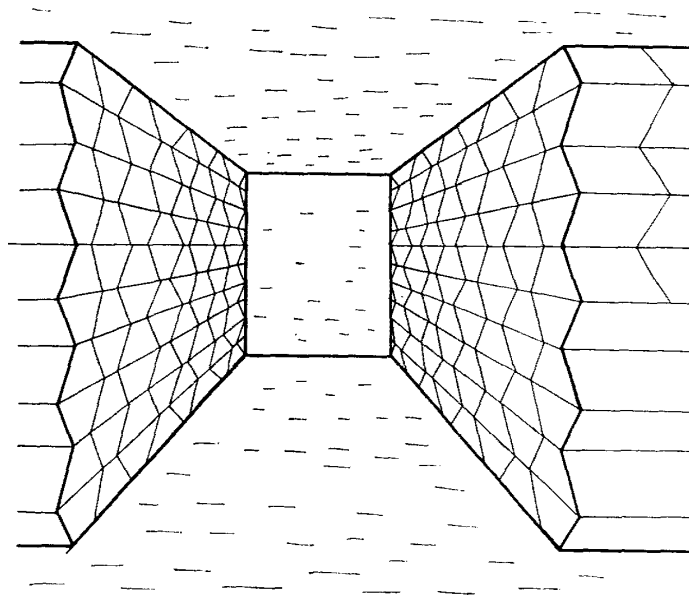


図 4 廃棄物ブロック最終処分想像図

Fig. 4. Imaginary illustration of finally disposed waste blocks.



ところで廃棄物ブロックは、水、糞尿、ごみおよびその他の汚物からなっているわけであるが、2.1.にて考察したように、水の占める割合が圧倒的に大きい。造水源として切り出された雪ブロックのかさ密度は、ほぼ  $500 \text{ kg/m}^3$ 、廃棄物ブロックのそれは、ほぼ  $1000 \text{ kg/m}^3$  であるから、雪ブロックの切り出しによって得られた雪面下空間で、すべての廃棄物ブロックが処分できるものと考えられる。

#### 4. 廃棄物量の算定

3 節で廃棄物ブロックの作製法について記述したが、それではどの程度の廃棄量になるかこの節で検討したい。

廃棄ブロックは雪面下に収容室を作り収容することとする。このため雪面下で切り出す雪ブロックは、廃棄物収容のため切り出すこととし通常の用水は飛雪ををたくわえて融解し作製する。この仮定の下で廃棄量の計算を試みる。

##### 4.1. 基本式

上記の仮定にたつと、以下の諸式が成り立つ。

$$Q = W \cdot N = Q_1 + Q_2,$$

$$A = \frac{N}{H} \cdot \left( \frac{W}{dw} + \frac{F}{df} + \frac{M}{dm} \right),$$

$$Q_1 = A \cdot H \cdot ds.$$

ここに、

$Q$ : 用水量 (kg)

$Q_1$ : 雪ブロック水源の造水量 (kg)

$Q_2$ : 飛雪水源の造水量 (kg)

$N$ : 滞在期間 (人・日)

$W$ : 水使用量原単位 (kg/人・日)

$F$ : 糞尿量原単位 (kg/人・日)

$M$ : ごみ排出量原単位 (kg/人・日)

$A$ : 廃棄物ブロック処分面積 ( $\text{m}^2$ )

$H$ : 廃棄物ブロック処分高さ (m)

$dw$ : 水の密度 ( $\text{kg/m}^3$ )

$df$ : 糞尿密度 ( $\text{kg/m}^3$ )

$dm$ : ごみ密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$ds$ : 雪ブロックのかさ密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

#### 4.2. 数値の仮定

次の各項目については、実際に測定した数値や一般に採用されている設計値があるので、下記の数値を採用する。

$W$ : 40  $\text{kg}/\text{人}\cdot\text{日}$

$F$ : 1  $\text{kg}/\text{人}\cdot\text{日}$

$dw$ : 1000  $\text{kg}/\text{m}^3$

$df$ : 1000  $\text{kg}/\text{m}^3$

$ds$ : 500  $\text{kg}/\text{m}^3$

$H$ : 2.4 m

廃棄物ブロック処分高さ ( $H$ ) は、高くするほど少ない面積で多くの廃棄物を処分できることになるが、作業性を考えるとこの程度になろう。

ごみについてはデータが乏しく、数値を決定することが困難であるが、廃棄物全体から見ると占める割合が少ないので、許容誤差範囲は広いと考え、ここでは仮に次の数値を採用しておく。

$M$ : 1  $\text{kg}/\text{人}\cdot\text{日}$

$dm$ : 2000  $\text{kg}/\text{m}^3$

#### 4.3. 計算結果

以上の基本式と数値から、滞在期間を決定すれば、用水量、雪ブロックを水源とする造水量、飛雪を水源とする造水量、糞尿量、ごみ排出量、および廃棄物ブロックの処分面積などを算出することができる。

図5に滞在期間に対する用水量、雪ブロックを水源とする造水量および飛雪を水源とする造水量の関係を示し、図6に滞在期間に対する糞尿量、ごみ排出量および廃水量を示す。

ところで隊員4人常駐の規模でみずほ基地を通年維持すると、支援隊を含めた年間の滞在期間は、ほぼ1500人・日となる。そのような状態を維持した場合の廃棄物ブロック処分面積の累加曲線を図7に示す。

実際にはみずほ基地の年間滞在期間は、実施に先だって計画されるから、前もって雪ブロックの掘削場所を定めておき、計画的に廃棄物ブロックを処分していくことができる。

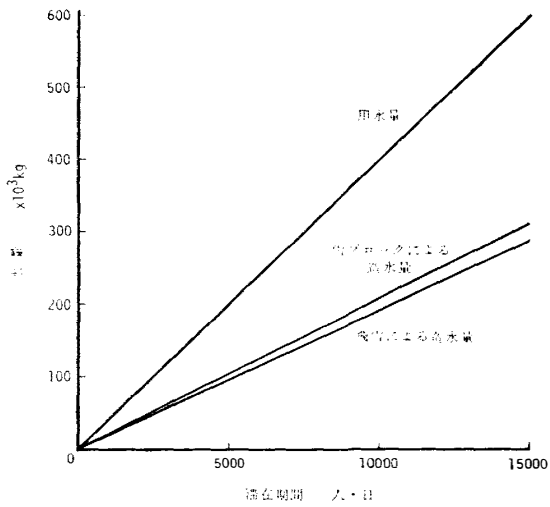


図 5 滞在期間と用水量との関係  
 Fig. 5. The relation between stay man-days and water utilization.

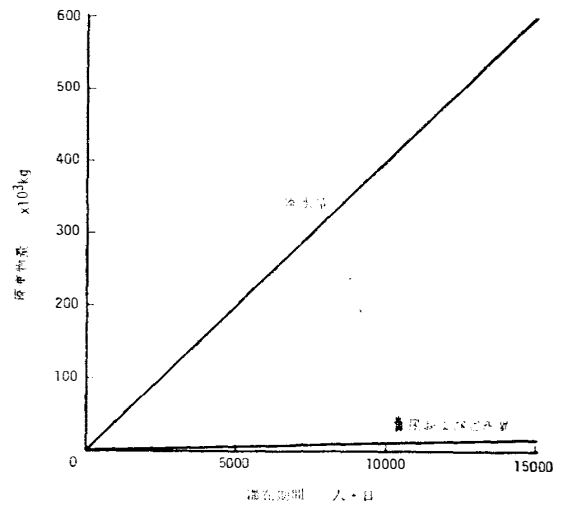


図 6 滞在期間と廃棄物量との関係  
 Fig. 6. The relation between stay man-days and weight of waste materials.

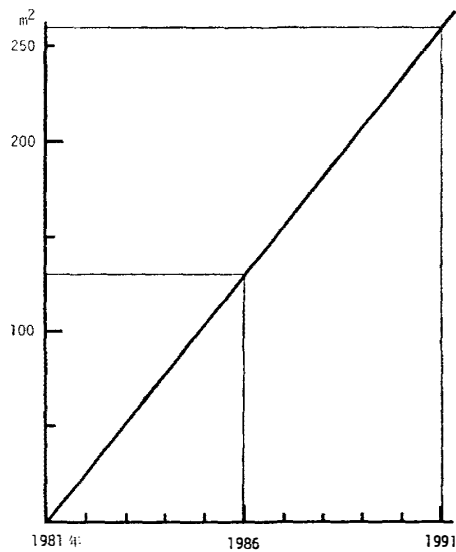


図 7 廃棄物ブロック処分面積の予測  
 Fig. 7. The projection of space for final disposal of waste blocks.

### 5. 問題点

1 節で述べたようにこの論文で提案した廃棄物処理方法は、実験事実に基礎をおいたものではなく机上のプランである。したがって実際にこの提案を実行した場合深刻な問題が生ずる可能性もある。そこでこの節では現時点で考えられる問題点を指摘しておく。

この処理方法が成功するか否かは、ステンレススチール製の大小2種類の金属箱から外箱にはりついた氷ブロックができるかどうか依存している。この点をさらに焦点を絞ってみると氷から金属製の内箱と外箱をはがしとることが容易にできるかということに帰着する。たとえば内箱の表面をかなづち等でたたき、内箱をはずす方法もある。しかし、かなづち等でたたくことにより外箱と内箱の間の氷が破壊されたり、内箱を変形してしまう可能性もある。外箱をはずす時も同様である。

金属箱をうまく氷からはがしとることができるか否か、できるとすればどの方法が最適であるか、といった問題は国内の実験室で実験可能である。みずほ基地に問題を限るとすると、基地内（雪面下約 2m）の温度はほぼ  $-33^{\circ}\text{C}$  であるから、この程度の温度で実験しなければならない。また氷の物性は温度に敏感であるから、種々の温度下での実験も必要である。

その他実際上の細かな問題が存在するが、上記の問題点が解決されれば、この処理方法の実現化はそれほど困難ではないと期待している。

## 謝 辞

本文を書くにあたって、国立極地研究所と北海道大学低温科学研究所のみずほ基地経験者の皆様から貴重な経験談と助言をいただいた。記して謝辞としたい。

## 付 記

本論文は当初林田氏個人の論文として提出され、村山と前が校閲にあたった。しかし、不幸なことに、林田氏が谷川岳で突然事故のため亡くなられた。編集委員会は、本論文の意義を認め、村山と前とに加筆訂正のうえ再提出をするように要請した。そこで、村山と前とは、論文を部分的に書き直したうえで、再提出を行った。

(1980年7月1日受理, 1981年1月26日改訂稿受理)