

# 自然エネルギーを利用したヒートパイプ型 凍土低温貯蔵庫の構造と性能に関する研究

(研究課題番号 08556036)

平成8年度～平成10年度科学研究費補助金(基盤研究(A)(1))

## 研究成果報告書

平成11年3月

研究代表者 土 谷 富 士 夫

(帯広畜産大学畜産学部教授)

## はしがき

この研究は、冬期の寒冷気候帯にある北海道のような地域で、自然冷熱エネルギーを最大限利用してランニングコストのほとんどいらない人工凍土低温貯蔵庫の実用化を目指して研究された者である。この貯蔵庫の特色は、温度差のみで作動する動力電気エネルギーを一切ひっようとしない、化石燃料に依存しないクリーンなエネルギーを目指す新型低温貯蔵庫である。

1987 年貯蔵庫として最初モデル的に建設がなされ、10 年以上の歳月が流れ、このシステムの温度環境の変化等をまとめ、さらに新しい構造の提案、貯蔵農作物等の安定性、凍土周辺環境の植生変遷、凍土厚の電気探査など総合的な研究を加えてまとめたものがある。

### 研究組織

研究代表者: 土谷富士夫(帯広畜産大学・畜産学部・教授)  
研究分担者: 石橋 憲一(帯広畜産大学・畜産学部・教授)  
研究分担者: 丸山 純孝(帯広畜産大学・畜産学部・教授)  
研究分担者: 了戒 公利(清水建設技術研究所主席研究員)  
研究分担者: 高見 雅三(北海道立地下資源調査所・研究技術員)

### 研究経費

平成 8 年度	7, 100 千円
平成 9 年度	5, 600 千円
平成 10 年度	3, 400 千円

計	16, 100 千円
---	------------

### 研究発表

#### (1) 学会誌等

土谷富士夫・了戒公利:冷熱エネルギーを利用した凍土低温貯蔵システム、農業土木学会誌、第 64 巻第 3 号、1996

Takami,M.,Wake T. and Tsuchiya F.:Measurement system of electrical prospecting method for seasonal frost depth and freezing-thaw process of ground, 7<sup>th</sup> International Conference on thermal energy Storage, 1997

土谷富士夫:10 ヶ年の人工永久凍土低温貯蔵庫の経年変化、第 47 回農業土木学会北海道支部研究発表講演集、1998

## (2)講演および口頭発表

石橋憲一・土谷富士夫:「農産物の低温貯蔵」、北海道次世代研究者オープンフォーラム講演会、札幌市教育文化会館、札幌、主催:寒地環境工学研究会、1997年11月19日

土谷富士夫・石橋憲一:「自然エネルギーを利用した低温貯蔵庫」、北海道次世代研究者オープンフォーラム講演会、札幌市教育文化会館、札幌、主催:寒地環境工学研究会、1997年11月19日

土谷富士夫:「冬の寒さを利用した貯蔵庫」、日本雪氷学会北海道支部地域講演会、とかちプラザ、帯広、主催:日本雪氷学会北海道支部、1998年1月30日

土谷富士夫:「自然冷熱エネルギーを利用したヒートパイプ型凍土低温貯蔵庫」、冷熱エネルギーによる貯蔵技術シンポジウム、北海道大学学術交流会館、札幌、主催:大規模長期食糧備蓄基地構想推進協議会、1998年12月21日

土谷富士夫:「自然冷熱エネルギーを利用した凍土低温貯蔵庫における農産物貯蔵」、自然冷熱エネルギーを利用した農産物貯蔵に関するセミナー、ウェディングプラザみやもと、帯広、主催:十勝支庁、1999年2月5日

石橋憲一:「農産物の生理と貯蔵」、自然冷熱エネルギーを利用した農産物貯蔵に関するセミナー、ウェディングプラザみやもと、帯広、主催:十勝支庁、1999年2月5日

## (3)出版物

土谷富士夫・了戒公利:「人工永久凍土低温貯蔵庫の開発とその経時変化に関する研究」、自費出版、pp.1~191、1998

土谷富士夫:「自然冷熱エネルギーを利用した農産物貯蔵技術(冷熱エネルギー利用調査)、十勝支庁農業振興部、pp.67~103、1999

## 目 次

第1章 人工永久凍土低温貯蔵庫における温度環境の経年推移	1
第2章 ヒートパイプ及び蓄熱体の違いによる潜熱蓄熱量の比較検討	20
第3章 潜熱蓄熱体として水を貯蔵空間中央に設置した低温貯蔵庫の 熱環境予測<冬氷システム・ルプシカ>	40
第4章 ヒートパイプ低温貯蔵庫を利用した野菜の貯蔵	57
第5章 ヒートパイプ型凍土低温貯蔵庫によるリンゴの長期貯蔵	71
第6章 凍土斜面の緑化と周辺植生および景観計画	78
第7章 電気探査による人工永久凍土のモニタリング	101
新聞報道記事	141

# 第1章 人工永久凍土低温貯蔵庫における温度環境の経年推移

帯広畜産大学 土谷富士夫

## 目 次

1. はじめに
2. ヒートパイプ型凍土低温貯蔵庫
3. 温度計測システム
4. 結果と考察
  - (1) 貯蔵システムの月別平均値の年次経過
  - (2) 貯蔵システムの気象環境とシステムの年平均温湿度
  - (3) 凍土壁地盤の温度変化
  - (4) 庫内の温度環境の年次変化
5. 結論
6. おわりに

## 引用文献

## 第1章 人工永久凍土低温貯蔵庫における温度環境の経年推移

### 1. はじめに

近年、自然エネルギーを有効利用しようとする試みが多数行われつつあるが、環境にやさしい反面、コスト割高が大きな課題ともなっている。なかでも、冷熱エネルギー利用は北海道にとって有益であることから、大いに興味深い研究課題である。雪室や氷室などのように古くから雪氷利用の農産物の貯蔵システムが注目されつつある。冷熱源は安価でも、毎年貯蔵庫に多量の雪や氷の運搬や清掃の労力が必要である。雪氷は地域的に偏在することや季節的に偏ることから、どここの地域でも可能な訳ではない。さらに、農産物を貯蔵するためには雪や氷が半分近くも建造物内に存在することは、建築建設費のコスト高ともなる。

これに対して、寒冷な空気はどこにも存在し運搬する労力はいらなく、無尽蔵に存在することから冷熱源として最適である。そこで、冬期の寒冷外気を利用し、ヒートパイプと呼ばれる電熱素子を媒体に地中に凍土を造成し、その冷熱源を長期保存させることにより、農産物等の地中低温貯蔵庫として活用できるシステムを開発した。人工的につくられた凍土は完全に永久凍土化したことを証明するとともに、最近の気象変動による貯蔵庫の温度変化の状況影響を示すものとする。

### 2. ヒートパイプ型凍土低温貯蔵庫

1987年12月に帯広畜産大学構内に、幅3.6m、奥行き6.0m、高さ3.6mの貯蔵空間（床面積20m<sup>2</sup>）の人工永久凍土低温貯蔵庫モデルプラントが建設されてから、10年以上の歳月が過ぎた。写真-1に示すように、貯蔵空間の周りに約2m以上の厚さの盛土斜面を造成し、216本のヒートパイプが50cm間隔に4列に敷設された。この貯蔵庫に関する研究結果の多くは多数の論文で公表してきたので詳細はここでは省略する<sup>1),2),3),4),5)</sup>。

ヒートパイプの原理を簡単に説明すると、パイプ内の液体の蒸発と凝集の潜熱を利用したもので、小さな温度差で多量の熱輸送が可能であり、現在産業機器に多数利用されている。

ここに使用したヒートパイプは、外径46mmのコルゲートステンレスパイプであり、作動液体にモノクロロジフルオロメタン(R-22)を使用し、蒸発部（地上部）に170枚のアルミフィンを取り付けたものである。このヒートパイプの凍土造成半径は、初期地温を15℃としたとき、直径50cmの凍土を形成するには、-10℃の寒冷気温が約40日必要である。

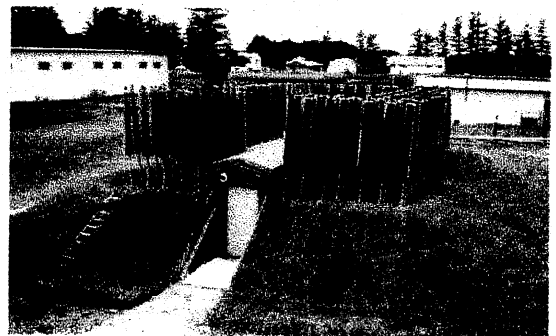


写真-1 ヒートパイプ型低温貯蔵庫（畜大）

### 3. 温度計測システム

貯蔵庫システムの温度環境を測定するために、熱電対センサー49カ所、湿度センサー1カ所の計50点を江藤電気製の温度計測ロガーに接続し、GPIBバスを介してパソコン

で1日8回、3時間ごとに10年間継続計測した。測定位置は、ヒートパイプのフィンに2カ所、東壁側部地盤4、その地中ヒートパイプ表面5、南壁側部地盤6、その地中ヒートパイプ9、貯蔵庫内5、庫底・盛土・切土・断熱材内外に計8カ所に埋設してた。図-1に貯蔵庫の主な温度測定位置の概略図を示す

また、気温、風向、風速などの気象要素は試験圃場にある総合気象観測装置から得られたデータを利用し、月平均気温、積算寒度、積算温度などを計算した。

#### 4. 結果と考察

##### (1)貯蔵システムの月別平均値の年次経過

1987年12月から連続的に、3時間ごとに50点の温湿度の計測を行った結果、表-1から表-10に示す月平均の値を得た。膨大なデータからこの凍土システムの温度環境の推移を見るために、初年度の計測位置の違いから、1988年の冬から図化したものが図-2～図-5である。貯蔵庫の東壁周囲(図-2)の温度変化をみると、最低温度に違いがあるがほぼ同様な年次パターンを示すことが分かる。フィン23は、外気温の近いことから、その年の気温を反映している。図-3をみると、貯蔵庫の南壁周囲の温度パターンも同様な変化が見られる。図-4の断熱材の外側の温度変化は大きく、底面では断熱材を通じてその外側も冬期凍結していることが判明した。図-5によると、庫内天井は、かなり温度変化は大きく、東壁は西壁より温度が低いことが判明した。

人工凍土低温貯蔵庫モデルプラント図

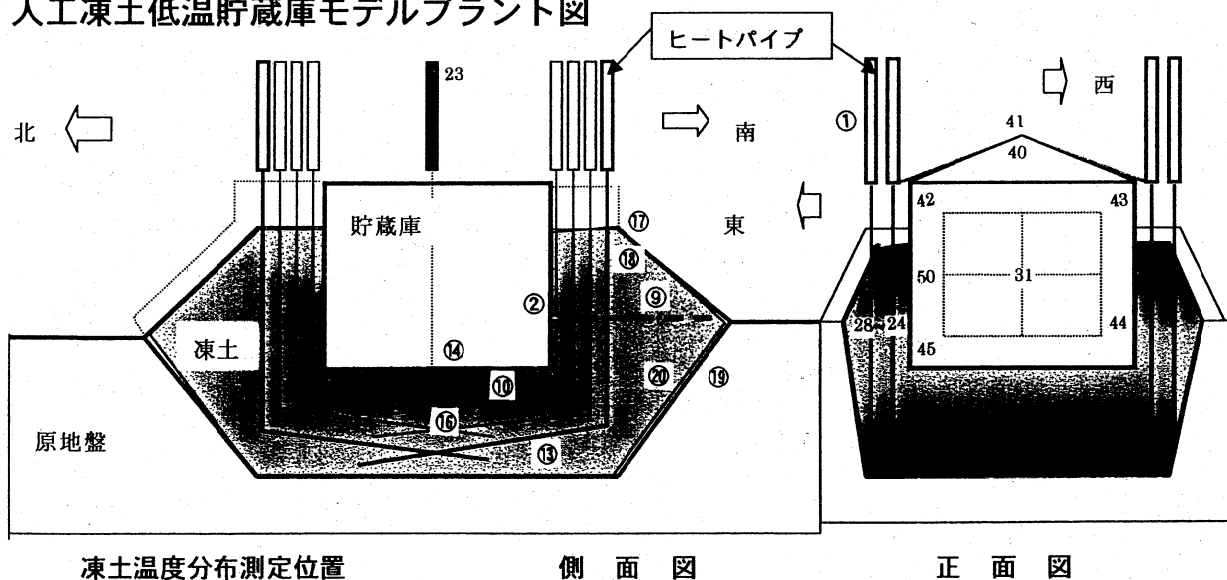


図-1 人工凍土貯蔵庫の温度の測定位置

表-1 人工永久凍土修補貯蔵庫の温度(°C)、湿度(%)の月平均値(1987-88年)

測定地点	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	平均
東壁側部地盤												
GL-LINE No34	-2.7	-6.6	-7.0	-3.7	-1.3	-0.4	0.1	0.7	1.9	2.4	2.4	-1.3
35	-2.4	-8.2	-9.3	-5.1	-2.0	-0.9	-0.4	-0.2	0.1	1.0	1.3	-2.4
38	-0.2	-3.5	-6.8	-5.5	-2.9	-1.7	-1.3	-1.0	-0.8	-0.6	-0.3	-2.2
41	-0.4	-3.1	-7.0	-6.2	-3.3	-1.9	-1.3	-1.0	-0.9	-0.7	-0.5	-2.4
直管型パイプ												
フィン No32	-4.5	-8.7	-9.2	-2.5	5.5	10.4	15.5	14.7	19.8	15.0	8.1	5.8
GL-LINE 36	-2.7	-10.3	-12.5	-7.3	-3.1	-1.5	-0.9	-0.5	-0.3	-0.1	-0.1	-3.6
37	-4.1	-9.0	-11.1	-7.2	-3.3	-1.7	-1.3	-1.0	-0.8	-0.4	-0.1	-3.6
先端部 39	-4.4	-11.5	-13.7	-9.0	-4.3	-2.3	-1.4	-1.0	-0.8	-0.6	-0.4	-4.5
40	-3.6	-8.5	-10.6	-7	-3.4	-1.9	-1.3	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-3.5
南壁側部地盤												
GL-LINE No 3	-2.3	-5.7	-6.5	-3.5	-1.1	-0.1	0.6	1.2	2.4	2.9	2.8	-0.8
5	-0.9	-8.3	-10.9	-6.6	-2.9	-1.4	-0.9	-0.6	-0.4	0.0	0.4	-3.0
9	-0.8	-9.2	-13.0	-8.6	-4.0	-2.3	-1.5	-1.1	-1.0	-0.7	-0.5	-3.9
11	-1.2	-8.5	-12.2	-8.2	-4.0	-2.3	-1.6	-1.2	-1.0	-0.8	-0.6	-3.8
13	-0.4	-4.6	-8.3	-6.3	-3.3	-2.0	-1.4	-1.1	-1.0	-0.7	-0.5	-2.7
14	0.0	-2.1	-5.9	-5.2	-2.9	-1.9	-1.4	-1.1	-1.0	-0.8	-0.5	-2.1
L字型パイプ												
フィン No1	-4.5	-8.8	-9.5	-2.7	5.6	10.4	15.4	14.6	19.8	15.0	8.1	5.8
GL-LINE 4	-3.5	-7.8	-9.0	-4.8	-1.6	-0.6	-0.2	0.3	1.4	2.1	2.1	-2.0
7	-2.1	-9.9	-12.9	-8.0	-3.6	-1.9	-1.3	-1.0	-0.8	-0.5	-0.2	-3.8
10	-2.0	-9.7	-13.2	-8.6	-4.0	-2.3	-1.6	-1.2	-1.0	-0.8	-0.5	-4.1
12	-2.0	-7.7	-10.8	-7.3	-3.6	-2.1	-1.5	-1.1	-1.0	-0.7	-0.5	-3.5
傾斜部 15	-5.0	-11.8	-11.2	-7.8	-3.7	-1.5	-0.8	-0.4	-0.3	0.3	0.6	-3.8
17	-4.9	-12.5	-14.2	-9.6	-4.7	-2.3	-1.4	-0.9	-0.8	-0.5	-0.3	-4.7
18	-4.7	-11.9	-14.5	-9.8	-4.8	-2.4	-1.4	-1.0	-0.8	-0.6	-0.4	-4.8
19	-3.7	-10.1	-13.4	-9.3	-4.4	-2.1	-1.1	-0.7	-0.6	-0.3	-0.2	-4.2
先端部 23	-5.3	-12.7	-14.2	-9.7	-4.9	-2.3	-1.4	-1.0	-0.8	-0.6	-0.4	-4.8
底壁地盤												
庫底 30cm	-1.1	-9.5	-5.7	-6.3	-3.1	-0.9	-0.5	0.3	1.4	2.0	1.6	-2.0
70cm	-4.3	-12.0	-12.4	-8.9	-4.5	-2.0	-1.2	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	-4.3
破土表面												
断熱材 外側	-3.8	-7.4	-7.1	-0.7	7.1	11.4	16.3	16.0	20.0	15.6	8.8	6.9
内側	-0.7	-4.7	-7.9	-4.9	-1.0	0.6	2.8	4.1	6.7	6.9	5.0	0.6
切土斜面												
断熱材 外側	5.7	4.9	4.5	3.8	3.1	2.8	3.0	3.9	4.9	6.8	6.9	4.6
内側	2.5	2.3	2.2	1.5	0.9	0.8	0.9	1.4	1.9	2.8	3.1	1.8
掘削底面												
断熱材 外側	5.6	-0.4	-1.5	-1.0	0.8	2.7	3.5	3.5	3.6	4.5	4.7	2.4
内側	0.8	-9.6	-12.5	-9.0	-4.3	-1.8	-0.8	-0.5	-0.4	-0.1	0.1	-3.5
貯蔵庫内												
中央 No47	-1.1	-0.3	-0.4	-0.1	0.5	1.7	2.2	2.6	4.2	4.2	3.9	1.6
天井 43	-1.4	-0.3	0.6	0.9	2.5	4.7	5.8	5.9	7.9	6.6	4.9	3.5
側壁 44	-1.7	-3.3	-3.5	-2.4	-0.9	0.6	1.4	1.7	3.1	3.3	3.1	0.1
床面 48	-1.1	-5.4	-2.8	-3.0	-1.0	1.6	2.2	2.3	4.1	4.2	3.0	0.4
湿度 50	98.6	79.2	73.4	76.7	89.0	96.1	93.5	93.1	93.2	93.8	94.6	89.2

表-2 人工永凍土低溫貯蔵庫の温度(℃)、湿度(%)の月平均値(1988-89年)

測定地点	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	平均
東壁側部地盤													
GL-LINE No24	0.7	-0.4	-4.7	-6.4	-3.7	-3.7	-1.4	-0.7	-0.2	0.5	2.2	2.3	1.8
25	1.3	-0.2	-5.1	-7.3	-4.4	-4.4	-1.8	-1.1	-0.6	-0.2	0.0	0.8	0.9
28	0.9	-0.2	-2.6	-5.1	-3.8	-3.8	-2.0	-1.4	-1.0	-0.9	-0.8	-0.5	-0.3
0.0	-0.7	-3.0	-4.9	-4.9	-3.9	-3.9	-2.0	-1.3	-0.9	-0.8	-0.8	-0.5	-0.4
腐底 30													-1.6
直管型パイプ													
フィン No23	-0.1	-2.5	-5.6	-4.9	0.7	0.7	5.3	9.8	12.6	18.7	21.0	15.8	10.4
GL-LINE 26	0.8	-0.7	-6.3	-9.0	-5.6	-5.6	-2.6	-1.5	-1.0	-0.4	-0.4	-0.2	-0.1
27	2.0	-2.0	-6.2	-7.9	-4.7	-4.7	-2.2	-1.5	-1.1	-0.8	-0.8	-0.5	-0.3
先割部 29	-0.2	-2.3	-6.2	-7.4	-4.6	-4.6	-2.3	-1.5	-1.0	-0.9	-0.9	-0.6	-0.5
南壁側部地盤													
GL-LINE No 2	1.4	-0.8	-5.0	-6.0	-3.3	-3.3	-1.2	-0.3	1.0	2.6	3.7	3.1	2.5
4	0.3	-0.2	-5.9	-8.4	-5.6	-5.6	-2.5	-1.5	-0.9	-0.6	-0.2	0.2	0.3
6	-0.2	-0.9	-6.6	-9.1	-6.1	-6.1	-2.8	-1.8	-1.3	-1.1	-1.0	-0.6	-0.5
8	-0.3	-0.7	-3.4	-5.5	-4.1	-4.1	-2.1	-1.4	-1.1	-1.0	-0.9	-0.6	-0.5
9	-0.3	-0.2	-1.9	-4.1	-3.5	-3.5	-1.9	-1.4	-1.1	-1.0	-0.9	-0.6	-0.5
L字型パイプ													
フィン No1	1.1	-2.3	-5.6	-5.0	0.5	0.5	5.2	9.6	12.3	18.6	20.8	15.7	10.3
GL-LINE 3	0.3	-1.3	-5.7	-6.8	-3.7	-3.7	-1.4	-0.6	0.0	1.5	2.8	2.5	1.9
5	-0.1	-1.2	-6.9	-9.3	-6.2	-6.2	-2.8	-1.7	-1.2	-0.9	-0.8	-0.4	-0.2
7	-0.4	-1.5	-5.4	-7.2	-4.8	-4.8	-2.3	-1.5	-1.2	-1.0	-0.9	-0.6	-0.5
傾斜部 10	-0.5	-2.0	-6.2	-8.1	-6.1	-6.1	-3.2	-1.9	-1.1	-0.8	-0.8	-0.4	-0.2
11	-0.5	-2.3	-7.8	-9.4	-6.8	-6.8	-3.5	-2.1	-1.4	-1.1	-1.0	-0.7	-0.6
12	-0.7	-2.4	-6.3	-8.6	-6.2	-6.2	-3.0	-1.7	-1.0	-0.7	-0.6	-0.4	-0.3
先割部 16	-0.3	-2.2	-7.5	-9.1	-6.7	-6.7	-3.6	-2.1	-1.3	-1.0	-1.0	-0.7	-0.5
底部地盤													
腐底 30cm	0.4	0.2	0.0	-2.8	-4.3	-4.3	-2.6	-1.5	-0.9	-0.7	-0.7	-0.4	-0.2
70cm	0.0	-1.2	-6.0	-8.0	-6.3	-6.3	-3.4	-2.0	-1.3	-1.0	-1.0	-0.7	-0.5
盛土表面													
断熱材 外側	0.4	-1.6	-5.2	-2.9	0.9	0.9	7.2	11.1	13.9	19.3	22.0	16.4	11.2
内側	0.6	0.1	-2.2	-4.6	-2.0	-2.0	0.2	0.7	2.4	5.5	8.8	8.0	6.4
切土斜面													
断熱材 外側	4.0	5.2	4.8	4.3	3.8	3.8	3.3	3.4	4.0	5.6	5.7	7.0	8.2
内側	1.9	2.3	2.1	1.8	1.4	1.4	1.1	1.1	1.3	2.0	2.2	2.7	3.5
堤削底面													
断熱材 外側	3.4	5.5	1.6	-1.0	-0.3	-0.3	1.6	2.8	3.1	3.8	3.3	3.7	2.9
内側	0.1	0.1	-5.2	-8.2	-6.0	-6.0	-2.8	-1.3	-0.7	-0.4	-0.4	-0.2	0.0
貯蔵庫内													
中央	1.9	0.3	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5	0.4	1.3	1.9	3.5	4.9	4.2	3.2
天井	0.8	0.0	0.8	1.0	4.5	4.5	2.9	0.9	5.7	8.4	9.6	7.1	5.1
東壁地上 3m	1.3	-0.3	-2.7	-3.4	-2.1	-2.1	-0.8	0.5	1.9	3.3	4.4	3.3	2.5
西壁地上 3m	1.9	-0.4	-1.3	-1.1	0.7	0.7	1.4	2.5	2.9	4.6	5.6	4.5	3.3
東壁地上 1m	1.0	-0.3	-2.5	-3.8	-3.0	-3.0	-1.3	-0.5	-0.1	1.7	3.7	3.2	2.4
西壁地上 1m	1.2	-0.2	-2.7	-3.2	-2.1	-2.1	-0.8	0.3	1.7	3.2	4.4	3.4	2.5
床面	0.7	0.0	0.0	-2.4	-4.2	-4.2	-1.9	-0.9	-0.4	-0.4	0.8	3.1	2.8
湿度	97.9	99.9	97.2	93.7	89.8	90.4	88.4	90.2	88.6	88.5	88.5	92.9	99.9
93.1													

表-3 人工永久凍土低溫貯蔵庫の温度(°C)、湿度(%)の月平均値(1989-90年)

測定地点	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	平均
東壁側部地盤													
GL-LINE No24	0.6	-0.2	-6.3	-7.5	-3.9	-1.9	-1.0	-1.0	-0.6	-0.3	0.3	1.4	1.3
25	0.4	-0.2	-7.4	-9.1	-4.7	-2.4	-1.4	-0.9	-0.9	-0.6	-0.3	-0.1	0.4
28	-0.1	-0.5	-3.9	-7.4	-4.6	-2.7	-1.7	-1.3	-1.0	-0.8	-0.8	-0.6	-2.1
30	-0.1	-0.7	-4.2	-7.7	-4.8	-2.6	-1.5	-1.1	-0.9	-0.9	-0.8	-0.6	-2.1
直管型パイプ													
フィン No23	4.0	-1.4	-7.5	-3.4	2.6	7.8	15.0	18.7	20.0	22.1	22.1	17.2	11.2
GL-LINE 26	0.1	-0.6	-8.6	-11.5	-5.9	-3.1	-1.8	-1.3	-0.9	-0.5	-0.5	-0.3	-0.2
27	-0.1	-1.1	-7.0	-9.8	-5.4	-3.0	-1.8	-1.3	-1.0	-0.8	-0.8	-0.5	-0.3
先端部 29	-0.2	-1.9	-7.4	-9.6	-5.3	-2.9	-1.7	-1.2	-1.0	-0.9	-0.9	-0.7	-0.6
南壁側部地盤													
GL-LINE No2	0.8	0.3	-4.2	-6.2	-3.0	-1.3	-0.5	0.0	0.9	2.0	2.0	2.4	2.2
4	0.2	-0.1	-7.3	-11.0	-5.5	-2.9	-1.6	-1.1	-0.8	-0.5	-0.5	-0.2	0.3
6	-0.2	-1.0	-8.5	-12.1	-6.2	-3.4	-1.9	-1.4	-1.1	-1.0	-1.0	-0.7	-0.1
8	-0.2	-0.9	-5.0	-7.9	-4.7	-2.7	-1.7	-1.3	-1.1	-0.9	-0.9	-0.7	-0.1
9	-0.2	-0.4	-2.9	-6.3	-4.1	-2.5	-1.6	-1.3	-1.1	-1.0	-1.0	-0.7	-0.2
L字型パイプ													
フィン No1	3.7	-3.1	-10.4	-6.1	-0.8	5.7	12.4	16.4	18.1	20.2	20.2	15.8	10.1
GL-LINE 3	0.5	-0.3	-5.3	-7.2	-3.5	-1.6	-0.8	-0.4	0.1	1.2	1.2	1.9	1.8
5	-0.1	-1.5	-9.5	-12.2	-6.1	-3.2	-1.8	-1.3	-1.0	-0.8	-0.8	-0.5	0.1
7	-0.3	-2.0	-8.1	-9.9	-5.4	-2.9	-1.7	-1.3	-1.1	-0.9	-0.9	-0.7	-0.1
傾斜部 10	-0.1	-1.4	-7.5	-11.1	-5.8	-3.0	-1.7	-1.2	-0.9	-0.8	-0.8	-0.6	-0.3
11	-0.4	-3.3	-11.4	-13.1	-6.9	-3.6	-2.0	-1.4	-1.1	-1.0	-1.0	-0.8	-0.4
12	-0.3	-2.9	-10.0	-11.9	-6.4	-3.2	-1.6	-1.0	-0.8	-0.6	-0.6	-0.4	-0.1
先端部 16	-0.3	-2.9	-10.8	-13.0	-6.8	-3.5	-1.9	-1.3	-1.0	-0.9	-0.9	-0.7	-0.3
底部地盤													
層底 30cm	0.0	-0.1	-2.4	-7.9	-4.7	-2.4	-1.3	-0.9	-0.7	-0.6	-0.6	-0.4	0.0
70cm	-0.3	-2.0	-8.8	-11.9	-6.4	-3.3	-1.9	-1.3	-1.0	-0.9	-0.9	-0.7	-0.3
盛土表面													
断熱材 外側	4.1	-1.1	-7.1	-4.9	2.2	7.8	13.4	18.1	19.3	21.2	21.2	16.9	12.1
内側	2.9	0.4	-3.2	-6.7	-2.8	-0.3	1.4	3.9	6.4	9.5	9.5	9.4	7.3
切土斜面													
断熱材 外側	6.9	6.1	5.4	4.8	4.0	3.4	3.6	4.1	4.7	5.7	5.7	7.0	7.9
内側	3.1	2.7	2.4	1.9	1.3	0.9	0.9	1.1	1.5	1.9	1.9	2.5	2.7
掘削底面													
断熱材 外側	3.5	4.3	0.1	-2.5	-1.0	2.1	3.1	3.1	3.1	4.1	4.1	3.7	4.8
内側	0.2	-0.1	-7.7	-11.4	-6.1	-2.7	-1.2	-0.7	-0.5	-0.3	-0.3	-0.1	0.0
貯蔵庫内													
中央	0.9	1.4	0.4	1.0	1.0	0.8	1.3	2.0	2.9	4.1	4.1	4.1	3.1
天井	2.4	0.4	0.4	2.6	2.4	3.9	6.7	8.5	9.6	11.0	11.0	8.7	5.8
東壁地上 3m	0.9	0.7	-0.7	-2.3	-1.3	-0.6	0.4	1.4	2.3	3.4	3.5	3.5	2.6
西壁地上 3m	1.7	0.3	-1.7	-0.3	0.5	1.5	3.3	4.8	5.9	7.3	7.3	6.5	4.5
東壁地上 1m	0.8	0.8	-1.1	-2.5	-1.4	-0.6	0.3	1.2	1.9	2.9	2.9	3.1	2.4
西壁地上 1m	0.7	0.6	-3.3	-6.9	-4.2	-2.3	-1.2	-0.6	-0.3	0.5	0.5	1.6	1.5
床面	0.7	0.7	-0.1	-3.7	-1.6	-0.6	-0.2	0.1	0.3	0.5	0.5	1.1	1.3
湿度	94.9	98.4	92.1	75.8	84.7	92.4	94.8	94.0	92.2	90.7	90.7	93.2	95.3
温度													91.5

表-4 人工永久凍土体温度履歴の温度(℃)、湿度(%)の月平均値(1990-91年)

測定地点	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	平均
東壁側部地盤 GL-LINE No24	0.5	0.0	-1.5	-5.4	-4.2	-4.2	-1.9	-0.8	-0.3	-0.2	-0.2	0.3	0.4
25	0.2	-0.1	-2.1	-7.1	-5.3	-5.3	-2.5	-1.2	-0.6	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1
28	-0.2	-0.4	-1.2	-4.7	-4.9	-4.9	-2.6	-1.5	-1.0	-0.9	-0.7	-0.5	-0.3
庫底 30	-0.1	-0.2	-1.6	-4.4	-4.5	-4.5	-2.4	-1.2	-0.8	-0.6	-0.4	-0.3	-0.2
直管型パイプ													
フィン No23	5.0	0.1	-2.4	-5.2	0.2	0.2	7.5	15.5	19.0	18.8	20.3	17.4	10.2
GL-LINE 26	-0.1	-0.5	-2.6	-8.9	-6.9	-6.9	-3.2	-1.7	-1.0	-0.7	-0.4	-0.3	-0.2
27	-0.1	-0.5	-2.0	-7.6	-6.2	-6.2	-3.1	-1.7	-1.2	-0.8	-0.6	-0.4	-0.3
先端部 29	-0.6	-1.2	-3.7	-7.6	-6.1	-6.1	-3.2	-1.9	-1.4	-1.2	-1.1	-0.9	-0.7
南壁側部地盤													
GL-LINE No 2	1.2	0.6	-0.1	-3.9	-3.3	-3.3	-1.1	-0.1	0.3	0.4	0.9	1.3	1.1
4	0.4	0.4	-1.1	-7.2	-5.8	-5.8	-2.4	-1.0	-0.4	-0.3	-0.1	0.1	0.3
6	0.1	-0.1	-2.4	-8.6	-6.9	-6.9	-3.0	-1.4	-0.8	-0.5	-0.3	-0.1	0.0
8	0.1	-0.2	-1.5	-5.0	-4.7	-4.7	-2.3	-1.2	-0.7	-0.5	-0.4	-0.2	0.0
9	-0.1	-0.1	-0.8	-3.4	-3.9	-3.9	-2.2	-1.3	-0.9	-0.7	-0.5	-0.3	-0.2
L字型パイプ													
フィン No1	4.5	-0.6	-4.1	-7.7	-2.4	-2.4	5.8	13.1	17.2	17.4	18.8	15.9	9.4
GL-LINE 3	0.9	0.2	-0.6	-4.9	-3.8	-3.8	-1.4	-0.3	0.1	0.2	0.5	1.0	0.9
5	0.2	-0.5	-2.8	-9.0	-6.7	-6.7	-2.8	-1.3	-0.7	-0.4	-0.2	0.0	0.1
7	0.0	-0.8	-3.0	-7.5	-5.7	-5.7	-2.6	-1.2	-0.7	-0.5	-0.3	-0.1	0.0
傾斜部 10	-0.3	-1.0	-3.6	-8.2	-6.8	-6.8	-3.5	-1.8	-1.0	-0.6	-0.4	-0.2	-0.1
11	-0.4	-1.9	-5.8	-10.9	-8.0	-8.0	-4.0	-2.1	-1.2	-0.8	-0.5	-0.4	-0.3
12	-0.3	-1.7	-4.5	-9.5	-7.2	-7.2	-3.4	-1.5	-0.8	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1
先端部 16	-0.2	-1.3	-5.1	-10.1	-7.5	-7.5	-3.9	-1.9	-0.9	-0.6	-0.5	-0.4	-0.2
底壁地盤													
庫底 30cm	0.1	0.0	-0.7	-3.4	-4.6	-4.6	-3.0	-1.3	-0.6	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1
70cm	-0.2	-0.9	-4.1	-8.6	-7.1	-7.1	-3.9	-1.9	-1.1	-0.7	-0.6	-0.4	-0.3
盛土表面													
断熱材 外側	5.1	0.7	-2.1	-4.1	0.0	0.0	7.6	14.0	18.3	18.5	19.8	17.2	10.9
内側	3.6	0.8	-0.4	-4.3	-3.8	-3.8	-0.5	1.5	4.8	7.3	9.3	9.2	6.7
切土斜面													
断熱材 外側	7.4	6.3	5.5	4.8	4.0	4.0	3.4	3.7	4.4	5.8	7.7	7.5	7.4
内側	2.7	2.4	2.1	1.7	1.3	1.3	0.9	1.0	1.2	1.4	2.0	2.2	2.5
欄間底面													
断熱材 外側	5.0	5.2	3.6	-1.4	-1.7	-1.7	0.9	2.6	2.8	2.8	3.3	2.9	1.3
内側	0.1	0.1	-1.6	-8.0	-6.9	-6.9	-3.2	-1.4	-0.8	-0.6	-0.4	-0.3	-0.2
貯蔵庫内													
中央	1.7	1.2	0.5	0.1	0.3	0.3	0.7	1.5	2.1	2.3	2.4	2.5	1.4
天井	2.3	0.5	-0.3	1.3	2.8	2.8	4.6	7.4	9.3	9.2	9.7	8.2	4.7
東壁地上 3m	1.1	0.6	-0.4	-3.0	-3.0	-3.0	-1.3	-0.1	0.2	0.9	1.4	1.6	1.1
西壁地上 3m	1.9	0.5	-0.6	-1.4	-0.3	-0.3	1.5	3.7	5.3	5.6	5.8	5.3	3.2
東壁地上 1m	1.1	0.6	-0.3	-2.4	-2.9	-2.9	-1.4	-0.3	0.1	0.8	1.5	1.7	1.2
西壁地上 1m	1.0	0.5	-0.8	-4.4	-4.4	-4.4	-2.2	-0.8	0.0	0.3	1.0	1.2	0.9
床面	1.3	0.7	0.1	-3.2	-4.1	-4.1	-2.1	-0.8	-0.3	0.5	0.9	1.0	1.7
湿度	98.2	99.7	99.9	89.7	81.7	81.7	79.7	82.4	79.2	77.8	76.3	77.6	81.3
85.3													

表-5 人工永久凍土低温貯蔵庫の温度(℃)、湿度(%)の月平均値(1991-92)

測定地点	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	平均
東蔵側部地盤													
GL-LINE No24	0.1	-0.7	-6.0	-6.5	-3.6	-3.6	-1.9	-0.8	-0.4	-0.2	0.1	0.5	0.8
25	-0.1	-0.9	-7.5	-8.5	-4.8	-4.8	-2.5	-1.3	-0.7	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1
28	-0.2	-0.6	-3.9	-6.7	-4.9	-4.9	-2.6	-1.6	-1.2	-0.9	-0.7	-0.5	-0.3
30	-0.1	-0.7	-4.1	-6.4	-4.8	-4.8	-2.6	-1.3	-0.8	-0.6	-0.4	-0.3	-0.2
直管型パイプ													
フィン No23	3.1	-1.9	-6.7	-5.1	1.0	1.0	6.0	11.8	15.4	20.1	20.7	15.4	10.1
GL-LINE 26	-0.3	-1.3	-8.5	-10.1	-5.9	-5.9	-3.0	-1.6	-0.9	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2
27	-0.3	1.2	-6.5	-8.9	-5.8	-5.8	-3.1	-1.8	-1.1	-0.8	-0.6	-0.5	-0.3
先端部 29	-0.7	-2.2	-7.5	-8.8	-5.8	-5.8	-3.3	-1.9	-1.4	-1.2	-1.1	-0.9	-0.7
南蔵側部地盤													
GL-LINE No2	0.6	0.2	-3.1	-4.2	-2.3	-2.3	-1.0	-0.1	0.1	0.5	1.2	1.3	1.5
4	0.3	-0.1	-6.4	-8.3	-4.7	-4.7	-2.1	-0.9	-0.5	-0.2	0.0	0.2	0.3
6	0.0	-0.9	-7.7	-9.9	-5.9	-5.9	-2.8	-1.3	-0.8	-0.5	-0.3	0.0	0.1
8	0.0	-0.6	-4.4	-6.7	-4.6	-4.6	-2.5	-1.2	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0.0
9	-0.1	-0.3	-2.8	-5.3	-4.2	-4.2	-2.4	-1.4	-1.0	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2
L字型パイプ													
フィン No1	2.6	-2.7	-8.7	-7.3	-1.0	-1.0	5.3	10.3	13.8	18.6	19.3	14.1	9.3
GL-LINE 3	0.4	-0.4	-4.6	-5.6	-2.9	-2.9	-1.4	-0.3	0.0	0.2	0.7	1.0	1.2
5	0.0	-1.4	-8.5	-9.8	-5.4	-5.4	-2.6	-1.2	-0.7	-0.3	-0.1	0.1	0.2
7	-0.1	-1.6	-7.1	-8.7	-5.2	-5.2	-2.6	-1.2	-0.8	-0.5	-0.3	-0.1	0.1
10	-0.4	-2.0	-7.6	-9.2	-5.8	-5.8	-3.2	-1.6	-0.9	-0.6	-0.3	-0.2	-0.2
11	-0.6	-3.3	-10.5	-11.3	-6.8	-6.8	-3.7	-1.9	-1.1	-0.8	-0.5	-0.4	-0.3
12	-0.4	-2.5	-9.0	-10.2	-6.2	-6.2	-3.2	-1.4	-0.8	-0.4	-0.2	-0.1	-0.1
先端部 16	-0.3	-2.6	-9.4	-10.3	-6.2	-6.2	-3.4	-1.6	-0.9	-0.6	-0.4	-0.3	-0.1
底層地盤													
庫底 30cm	0.0	-0.6	-4.9	-6.2	-4.4	-4.4	-2.4	-1.1	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	0.0
70cm	-0.3	-2.1	-8.5	-9.8	-6.3	-6.3	-3.4	-1.7	-1.0	-0.7	-0.5	-0.4	-0.2
盛土表面													
断熱材 外側	2.8	-1.5	-6.1	-5.2	0.9	0.9	7.9	11.8	14.9	19.7	20.4	15.9	11.4
内側	2.0	0.1	-4.2	-7.1	-3.7	-3.7	-0.2	1.3	3.8	7.1	9.2	8.8	6.6
切土斜面													
断熱材 外側	7.0	6.2	5.3	4.6	4.0	4.0	3.6	3.6	4.6	5.4	6.3	7.3	7.4
内側	2.7	2.5	2.2	1.7	1.2	1.2	0.8	0.7	0.9	1.2	1.6	2.1	2.4
埋削底面													
断熱材 外側	2.9	3.6	-1.1	-2.9	-1.7	-1.7	-0.2	1.5	2.4	2.7	3.2	3.6	0.7
内側	0.0	-0.2	-7.0	-9.2	-6.0	-6.0	-3.1	-1.4	-0.8	-0.5	-0.3	0.0	0.0
貯蔵庫内													
中央井	0.8	0.5	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1	0.0	0.7	1.2	1.6	2.0	2.0	1.9
天	1.2	1.1	3.3	4.5	4.0	4.0	-4.2	6.0	7.6	9.8	10.3	0.0	6.0
東蔵地上 3m	0.5	0.3	-0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.8	1.3	1.7	1.9	1.8	2.5
西蔵地上 3m	0.9	0.3	-0.8	-0.1	0.4	0.4	1.3	3.2	4.4	5.6	6.1	4.9	4.6
東蔵地上 1m	0.4	-0.1	-3.4	-5.1	-3.6	-3.6	-2.1	-0.8	0.0	0.1	0.7	1.2	1.2
西蔵地上 1m	0.6	0.1	-1.6	-2.4	-1.8	-1.8	-1.2	-0.3	0.4	1.0	1.5	1.6	1.6
床面	0.9	0.5	-0.2	0.1	0.3	0.3	0.3	1.0	1.7	2.0	2.2	2.0	1.5
湿度	88.3	81.7	56.4	48.3	72.3	72.3	73.3	74.0	70.9	65.6	64.8	64.8	74.9
温度													69.6

表-6 人工永久凍土低溫貯蔵庫の温度、湿度の月平均値(1992-93年)

測定地点	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	平均
東壁側部地盤 GL-LINE No24 25 28 庫底 30 直管型パイプ フィン No23 GL-LINE 26 27 先端部 29	0.2	-0.4	-4.3	-3.3	-3.4	-1.9	-0.8	-0.3	-0.1	0.0	0.4	0.3	-1.1
	0.0	-0.9	-5.5	-4.7	-4.2	-2.3	-1.1	-0.6	-0.3	-0.2	-0.1	0.1	-1.7
	-0.2	-0.7	-3.2	-4.1	-3.9	-2.3	-1.5	-1.1	-0.7	-0.6	-0.4	-0.3	-1.6
	-0.1	-0.8	-3.5	-3.7	-3.5	-2.0	-1.1	-0.7	-0.5	-0.4	-0.3	-0.1	-1.4
	2.8	-0.7	-4.6	-3.5	1.3	5.9	11.8	14.0	17.3	20.0	16.1	9.4	7.5
	-0.2	-1.4	-6.5	-6.1	-5.1	-2.8	-1.5	-0.8	-0.5	-0.4	-0.3	-0.1	-2.1
	-0.2	-1.2	-4.9	-5.7	-4.8	-2.6	-1.6	-1.0	-0.6	-0.5	-0.4	-0.2	-2.0
	-0.7	-2.4	-6.2	-6.0	-4.8	-2.7	-1.7	-1.3	-1.0	-0.9	-0.8	-0.6	-2.4
	0.9	0.2	-4.5	-3.3	-2.8	-1.5	-0.3	0.1	0.4	0.8	1.3	1.1	-0.6
	0.4	-0.3	-6.5	-5.8	-4.6	-2.4	-1.0	-0.4	-0.1	0.1	0.2	0.4	-1.7
南壁側部地盤 GL-LINE No 2 4 6 8 9 L字型パイプ フィン No 1 GL-LINE 3 5 7 傾斜部 10 11 12 先端部 16	0.2	-1.1	-7.2	-6.9	-5.5	-2.8	-1.4	-0.8	-0.4	-0.2	-0.1	0.1	-2.2
	0.1	-0.8	-4.0	-4.6	-4.0	-2.2	-1.2	-0.8	-0.5	-0.3	-0.2	0.0	-1.5
	-0.1	-0.4	-2.7	-3.7	-3.6	-2.2	-1.3	-1.0	-0.7	-0.6	-0.4	-0.2	-1.4
	2.2	-3.6	-6.0	-5.6	-1.3	4.3	10.1	12.6	15.8	18.2	14.9	8.6	5.9
	0.6	-0.5	-5.4	-4.3	-3.4	-1.7	-0.5	0.0	0.3	0.4	0.8	0.8	-1.1
	0.0	-1.9	-7.8	-7.0	-5.3	-2.7	-1.2	-0.6	-0.3	-0.1	0.0	0.2	-2.2
	-0.1	-2.0	-6.0	-6.1	-4.7	-2.3	-1.1	-0.8	-0.4	-0.3	0.0	0.0	-2.0
	-0.4	-2.3	-7.2	-6.8	-5.5	-3.2	-1.8	-1.0	-0.7	-0.4	-0.3	-0.3	-2.5
	-0.7	-4.0	-9.4	-8.4	-6.4	-3.5	-1.9	-1.1	-0.8	-0.5	-0.4	-0.3	-3.1
	-0.5	-3.4	-7.7	-7.3	-5.4	-2.8	-1.3	-0.7	-0.3	-0.1	0.0	0.0	-2.5
底部地盤 庫底 30cm 70cm 壁土表面 断熱材 外側 内側 切土斜面 断熱材 外側 内側 掘削底面 断熱材 外側 内側	0.1	-2.8	-8.0	-7.1	-5.2	-2.5	-1.4	-0.9	-0.5	-0.4	-0.3	0.0	-2.4
	0.1	-0.3	-3.3	-4.0	-3.6	-2.2	-1.1	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	0.0	-1.3
	-0.2	-2.4	-7.5	-6.9	-5.5	-3.1	-1.7	-1.0	-0.6	-0.5	-0.3	-0.2	-2.5
	3.3	-1.4	-5.9	-3.7	1.3	6.7	11.9	14.5	18.0	19.8	16.9	10.3	7.6
	2.2	0.0	-3.5	-4.4	-3.0	-0.1	1.5	4.5	7.3	9.6	9.5	6.1	2.5
	6.9	6.1	5.2	4.6	4.0	3.5	3.5	4.8	5.5	6.3	7.1	7.3	5.4
	2.7	2.4	2.0	1.6	1.2	0.9	0.9	1.0	1.5	1.6	2.2	2.7	1.7
	1.7	2.8	-1.7	-2.0	-1.2	0.3	1.5	3.1	2.5	0.7	0.8	1.3	0.8
	0.1	-0.3	-6.4	-6.3	-4.8	-2.4	-1.0	-0.4	-0.1	-0.1	-0.1	0.1	-1.8
	貯蔵庫内 中央 天井 東壁地上 3m 西壁地上 3m 東壁地上 1m 西壁地上 1m 床面 湿度	1.0	0.3	-1.1	0.0	-0.4	-0.5	0.6	1.1	1.5	1.9	1.9	1.0
1.9		-0.3	1.3	1.5	2.7	3.0	36.0	7.0	8.7	10.8	7.9	4.2	7.1
0.9		0.2	-0.9	-0.1	-0.5	-0.6	0.5	1.0	1.4	2.6	1.9	1.0	0.6
1.2		-0.3	-1.0	-0.8	0.0	0.5	2.8	3.9	5.3	7.3	5.2	2.8	2.2
0.6		-0.2	-4.1	-2.4	-3.1	-2.1	-0.7	0.1	0.1	0.6	1.2	0.7	-0.8
0.7		0.0	-2.6	-1.6	-2.0	-1.5	-0.3	0.3	0.8	1.5	1.6	0.9	-0.2
0.9		0.2	-1.1	-0.2	-0.5	-0.6	0.5	1.0	1.3	1.7	1.9	1.0	0.5
74.5	78.9	61.0	64.0	52.4	66.8	65.1	66.0	63.5	70.0	63.4	68.3	66.2	

表-7 人工水気凍土低温貯蔵庫の温度、湿度(%)の月平均値(1993-94年)

測定地点	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	平均
東壁側部地盤													
GL-LINE No24	0.2	-0.5	-4.4	-4.5	-2.7	-1.0	-0.3	0.0	0.1	0.9	0.8	0.7	-0.9
25	0.1	-1.0	-5.8	-6.0	-3.7	-1.7	-0.7	-0.3	-0.2	-0.1	0.0	0.1	-1.6
28	-0.2	-0.8	-3.5	-5.6	-3.9	-2.5	-1.5	-1.1	-0.8	0.7	-0.5	-0.3	-1.7
30	-0.1	-0.8	-3.0	-5.3	-3.6	-2.2	-1.2	-0.8	-0.5	-0.4	-0.2	-0.1	-1.5
直管型パイプ													
フィン No23	3.6	-1.9	-6.6	-2.3	0.7	-7.4	14.0	17.2	21.7	24.2	18.1	10.4	7.6
GL-LINE 26	-0.2	-1.4	-6.9	-7.7	-4.7	-2.4	-1.2	-0.7	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	-2.2
27	-0.3	-1.9	-6.3	-7.3	-4.8	-2.7	-1.5	-1.0	-0.7	-0.5	-0.3	-0.1	-2.3
先端部 29	-0.7	-2.4	-6.8	-7.3	-4.6	-2.9	-1.8	-1.3	-1.1	-1.1	-0.9	-0.8	-2.6
南壁側部地盤													
GL-LINE No 2	0.8	0.0	-4.7	-4.8	-2.4	-0.8	0.0	0.5	1.0	1.9	1.8	1.4	-0.4
4	0.4	-0.6	-6.7	-7.8	-4.3	-2.1	-0.8	-0.3	-0.1	0.2	0.2	0.4	-1.8
6	0.6	-1.2	-7.2	-9.0	-5.2	-2.8	-1.4	-0.8	0.5	-0.2	-0.1	0.1	-2.2
8	0.0	-0.8	-4.2	-6.0	-4.1	-2.4	-1.3	-0.9	-0.6	-0.3	-0.2	0.0	-1.7
9	-0.1	-0.5	-2.7	-4.9	-3.6	5.2	-1.5	-1.1	-0.8	-0.7	-0.5	-0.3	-1.0
L字型パイプ													
フィン No1	3.0	-3.1	-8.7	-4.0	-2.2	-1.1	12.0	15.0	20.0	22.8	17.1	9.2	6.7
GL-LINE 3	0.5	-0.7	-6.0	-5.7	-3.1	-2.5	-0.2	0.2	0.4	1.2	1.2	1.1	-1.1
5	0.1	-1.9	-8.3	-8.0	-5.1	-2.5	-1.1	-0.6	-0.3	-0.1	0.0	0.2	-2.3
7	-0.1	-1.8	-6.6	-7.4	-4.8	-3.3	-1.3	-0.9	-0.6	-0.3	-0.2	0.0	-2.3
傾斜部 10	-0.4	-2.3	-7.3	-8.8	-5.6	-3.6	-1.7	-1.1	-0.7	-0.6	-0.4	-0.3	-2.7
11	-0.5	-3.7	-9.7	-10.2	-6.2	-2.8	-1.9	-1.1	-0.8	-0.6	-0.5	-0.3	-3.2
12	-0.3	-2.7	-7.9	-8.9	-5.2	-2.8	-1.2	-0.6	-0.3	-0.1	0.0	-0.1	-2.5
先端部 16	0.0	-3.0	-9.0	-9.7	-5.8	-3.4	-1.7	-1.0	-0.6	-0.4	-0.3	-0.1	-2.9
底部地盤													
庫底 30cm	0.1	-0.5	-3.2	-5.5	-4.3	-2.8	-1.3	-0.7	-0.4	-0.3	-0.1	0.0	-1.6
70cm	-0.2	-2.3	-7.5	-9.1	-5.6	-3.4	-1.7	-1.0	-0.7	-0.5	-0.3	-0.2	-2.7
盛土表面													
断熱材 外側	4.2	-0.9	-6.1	-4.0	0.4	7.6	13.0	17.8	21.0	23.7	18.5	10.9	8.8
内側	2.7	0.0	-3.6	-5.8	-3.1	-0.4	1.9	5.1	8.4	12.2	10.7	7.1	2.9
切土斜面													
断熱材 外側	6.8	6.0	5.1	4.4	3.7	3.1	3.3	3.9	4.6	5.5	6.8	8.2	5.1
内側	2.7	2.4	2.0	1.6	1.1	0.8	0.8	1.2	1.5	1.9	2.4	3.1	1.8
掘削底面													
断熱材 外側	1.9	2.8	-1.4	-3.6	-1.6	0.5	2.2	2.5	2.5	3.5	2.9	0.8	1.1
内側	0.2	0.0	-5.0	-8.4	-4.6	-2.4	-0.8	-0.4	-0.2	0.0	0.2	0.2	-1.8
貯蔵庫内													
中央	0.6	0.3	-0.7	-0.6	-0.2	0.4	1.0	1.4	1.9	2.6	2.1	1.5	0.9
天井	1.5	0.2	-1.0	5.1	5.4	5.7	7.4	9.1	12.2	13.6	9.1	5.2	13.6
東壁地上 3m	0.5	0.3	-0.7	1.0	1.6	1.4	1.7	2.3	3.7	4.0	2.3	1.5	1.6
西壁地上 3m	1.1	-0.2	-2.3	0.7	1.7	2.2	3.9	5.3	8.5	9.8	6.3	3.5	3.4
東壁地上 1m	0.4	-0.2	-3.2	-5.3	-3.6	-1.9	-0.8	-0.2	0.4	1.4	1.3	0.9	-0.9
西壁地上 1m	0.5	0.0	-2.8	-3.5	-2.4	-1.1	-0.2	0.6	1.5	2.2	1.8	1.2	-0.2
床面	0.5	0.3	-0.9	0.2	0.9	1.5	1.7	2.1	1.0	0.3	1.8	1.5	0.9
湿度	72.3	74.1	69.9	44.9	42.3	55.0	61.8	61.8	59.1	63.5	61.7	66.0	61.0

表-8 人工永久凍土低溫貯蔵庫の温度、湿度(%)の月平均値(1994-95年)

測定地点	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	平均
東壁側部地盤													
GL-LINE No24	-0.5	0.4	-4.8	-5.5	-3.2	-3.2	-0.1	0.0	0.2	0.2	0.9	1.4	1.2
25	-0.9	0.1	-6.2	-7.3	-4.5	-4.5	-0.9	-0.4	-0.1	0.0	0.1	0.2	0.3
28	-0.7	-0.3	-3.3	-6.1	-4.8	-4.8	-2.4	-1.4	-1.0	-0.7	-0.5	-0.4	-0.3
庫底	-0.7	-0.1	-3.5	-5.8	-4.5	-4.5	-2.2	-1.1	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.1
直管型パイプ													
フィン No23	-2.1	3.6	-5.6	-4.0	1.4	1.4	7.2	13.7	15.7	21.5	20.1	16.8	11.3
GL-LINE 26	-1.3	-0.2	-7.2	-9.2	-5.8	-5.8	-1.8	-1.0	-0.4	-0.2	-0.1	-0.1	0.0
27	-2.0	-0.4	-6.0	-8.4	-5.8	-5.8	-2.5	-1.4	-0.9	-0.6	-0.4	-0.2	-0.1
先端部 29	-2.3	-1.0	-6.7	-8.6	-5.9	-5.9	-3.1	-1.9	-1.4	-1.2	-1.1	-0.9	-0.8
南壁側部地盤													
GL-LINE No2	0.1	1.0	-4.1	-5.7	-0.5	-0.5	0.1	0.5	0.9	1.5	1.9	1.8	1.5
4	-0.4	0.4	-6.5	-9.0	-1.8	-1.8	-0.8	-0.3	0.0	0.1	0.2	0.2	0.3
6	-1.1	0.1	7.0	-10.0	-2.7	-2.7	-1.3	-0.7	-0.4	-0.2	-0.2	-0.1	0.0
8	-0.8	0.0	-3.9	-6.7	-2.5	-2.5	-1.3	-0.8	-0.5	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1
9	-0.5	-0.2	-2.6	-5.7	-2.5	-2.5	-1.5	-1.1	-0.8	-0.6	-0.7	-0.4	-0.3
L字型パイプ													
フィン No1	-3.2	2.8	-7.3	-6.7	5.3	5.3	11.9	13.7	19.6	18.6	22.8	15.3	10.3
GL-LINE 3	-0.7	0.5	-5.4	-6.8	-0.8	-0.8	-0.2	0.2	0.4	0.9	1.2	1.3	1.2
5	-1.9	-0.1	-8.0	-10.4	-2.3	-2.3	-1.1	-0.6	-0.3	-0.1	-0.1	0.0	0.1
7	-1.8	-0.3	-6.1	-8.7	-2.6	-2.6	-1.3	-0.8	-0.5	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1
傾斜部 10	-2.2	-0.5	-7.2	-9.8	-2.8	-2.8	-1.5	-0.9	-0.6	-0.4	-0.6	-0.2	-0.2
11	-3.5	-0.8	-9.3	7.5	-3.4	-3.4	-1.7	-1.0	-0.7	-0.5	-0.6	-0.4	-0.3
12	-2.6	-0.5	-7.3	-6.7	-2.9	-2.9	-1.2	-0.5	-0.2	0.0	-0.1	0.1	0.0
先端部 16	-2.8	-0.3	-8.5	-7.3	-3.2	-3.2	-1.4	-0.6	-0.4	-0.2	-0.4	-0.1	0.0
底部地盤													
庫底 30cm	0.0	-0.6	-4.3	-6.7	-4.8	-4.8	-1.8	-0.8	-0.4	-0.2	-0.1	0.0	0.0
70cm	-0.2	-2.2	-7.6	-10.1	-6.8	-6.8	-3.0	-1.4	-0.8	-0.2	-0.1	-0.2	-0.2
盛土表面													
断熱材 外側	-1.6	3.4	-5.8	1.4	7.3	7.3	13.3	15.8	20.6	21.0	19.6	16.9	12.7
内側	-0.2	2.1	-3.9	-0.9	-0.2	-0.2	1.8	4.2	7.7	8.4	9.9	9.3	7.3
切土斜面													
断熱材 外側	6.4	7.5	5.4	4.0	3.3	3.3	3.3	4.3	4.9	4.6	5.9	6.8	7.1
内側	2.8	3.2	2.3	1.3	0.9	0.9	1.0	1.4	1.7	1.5	2.2	2.6	2.9
掘削底面													
断熱材 外側	2.5	1.6	-2.0	-3.1	-0.5	-0.5	1.5	2.5	2.6	2.5	2.1	0.9	0.9
内側	0.1	0.3	-5.6	-6.2	-2.6	-2.6	-0.7	-0.1	0.1	-0.2	0.2	0.2	0.3
貯蔵庫内													
中央	1.1	0.2	-1.1	-0.8	-0.2	-0.2	0.3	1.1	1.4	1.8	2.4	2.3	1.8
天井	2.8	-0.3	1.3	5.1	4.4	4.4	3.3	6.7	8.3	10.4	10.0	8.9	6.0
東壁地上 3m	1.4	-0.4	-1.8	-0.4	0.4	0.4	1.3	3.5	4.4	6.3	6.8	6.6	4.7
西壁地上 3m	1.0	0.0	-1.2	-0.5	-0.1	-0.1	0.3	1.1	1.4	2.0	2.7	3.1	2.3
東壁地上 1m	0.6	-0.3	-3.7	-5.4	-3.5	-3.5	-0.3	0.2	0.5	0.9	1.6	1.7	1.3
西壁地上 1m	0.9	-0.1	-2.2	-2.9	-1.8	-1.8	-0.3	0.3	0.6	1.1	1.8	2.0	1.6
床面	0.1	1.0	-1.4	-0.2	0.3	0.3	1.0	1.4	1.9	1.0	2.5	2.5	2.0
湿度	69.2	74.9	57.6	39.3	49.7	49.7	70.2	64.7	63.1	62.0	58.4	58.4	61.2

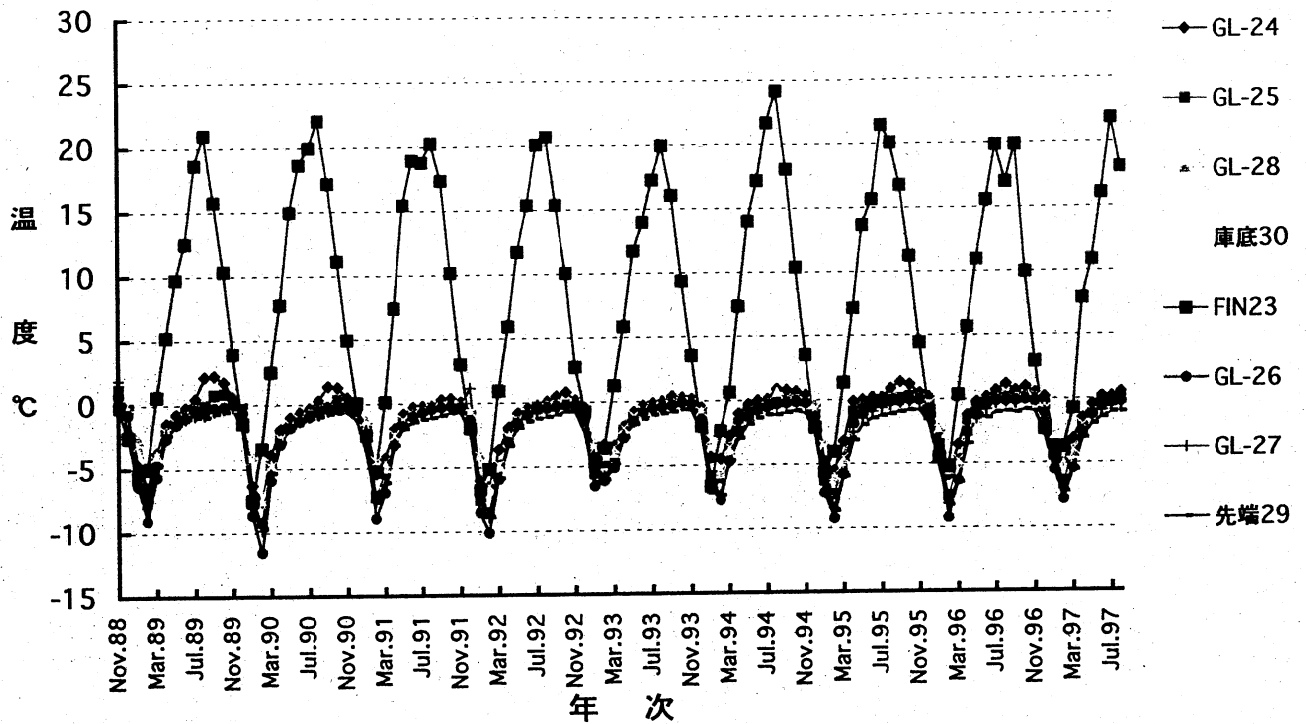
表9 人工永久凍土低温貯蔵庫の温度、湿度の月平均値(1995-96年)

測定地点	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	平均
東壁側部地盤													
GL-LINE No24	0.5	0.2	2.5	-5.9	-3.5	-1.2	-0.2	0.2	0.7	1.2	0.7	1.0	-0.3
25	0.2	-0.1	-3.5	-7.5	-4.7	-1.8	-0.7	-0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	-1.5
28	-0.2	-0.4	-2.2	-5.5	-5.0	-2.6	-1.5	-0.9	-0.4	-0.3	-0.4	-0.2	-1.6
30	0.0	-0.3	-2.3	-4.9	-4.7	-2.4	-2.0	-0.7	-0.3	-0.2	-0.3	-0.1	-1.5
直管型パイプ													
フィン No23	4.5	-0.9	-4.5	-5.2	0.4	5.7	11.0	15.6	19.9	17.0	19.9	10.0	7.8
GL-LINE 26	0.0	-0.7	-4.4	-9.2	-6.3	-2.6	-1.2	-0.4	-0.1	0.0	-0.1	0.0	-2.1
27	-0.2	-1.6	-4.4	-8.1	-6.2	-2.8	-1.5	-0.8	-0.3	-0.2	-0.3	0.0	-2.2
先端部 29	-0.8	-1.8	-5.1	-8.2	-6.4	-3.4	-1.2	-1.4	-1.0	-0.9	-1.0	-0.8	-2.7
南壁側部地盤													
GL-LINE No2	0.7	0.4	-2.5	-5.3	-3.0	-0.9	0.0	0.4	0.9	1.7	1.9	1.5	-0.4
4	0.3	0.0	-4.4	-8.7	-5.9	-2.3	-0.9	-0.3	0.0	0.2	0.3	0.4	-1.8
6	0.1	-0.5	-4.9	-9.7	-7.1	-3.1	-1.5	-0.8	-0.5	-0.3	-0.1	0.0	-2.4
8	0.0	-0.5	-2.7	-6.1	-5.3	-2.7	-1.4	-0.8	-0.6	-0.3	-0.1	0.0	-1.7
9	-0.2	-0.3	-1.7	-4.7	-4.7	-2.7	-1.5	-1.1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.3	-1.6
L字型パイプ													
フィン No1	3.9	-1.9	-6.4	-7.8	-2.4	3.8	9.3	13.8	18.7	18.5	15.5	8.9	6.2
GL-LINE 3	0.5	-0.3	-3.6	-6.7	-2.9	-1.3	-0.3	0.2	0.4	1.0	1.3	1.2	-0.9
5	0.0	-1.3	-5.9	-10.2	-6.8	-2.7	-1.2	-0.6	-0.3	-0.1	0.0	0.1	-2.4
7	-0.1	-1.3	-4.6	-8.4	-6.3	-2.8	-1.4	-0.9	-0.6	-0.3	-0.2	-0.1	-2.3
10	-0.3	-1.5	-5.5	-9.1	-6.6	-3.0	-1.5	-0.9	-0.5	-0.3	-0.2	-0.2	-2.5
11	-0.4	-2.5	-7.4	-11.3	-7.9	-3.6	-1.8	-1.0	-0.7	-0.5	-0.4	-0.3	-3.2
12	-0.2	-1.9	-5.6	-9.5	-7.0	-3.1	-1.3	-0.6	-0.2	-0.1	0.0	0.0	-2.5
先端部 16	0.0	-1.7	-6.6	-10.4	-7.4	-3.3	-1.4	-0.7	-0.3	-0.2	0.0	0.0	-2.7
底壁地盤													
庫底 30cm	0.1	0.0	-1.8	-5.7	-4.9	-2.1	-0.8	-0.3	-0.1	0.0	0.1	0.1	-1.3
70cm	-0.1	-1.2	-5.6	-9.4	-7.1	-3.3	-1.5	-0.8	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	-2.5
盛土表面													
断熱材 外側	4.3	-0.3	-4.0	-5.6	0.2	6.0	11.9	15.8	18.0	20.0	17.3	11.2	7.9
内側	2.7	0.1	-2.7	-7.3	-4.6	-0.7	1.7	5.2	7.3	10.8	10.2	6.6	2.4
切土斜面													
断熱材 外側	6.9	6.2	5.3	4.7	4.0	3.4	3.4	3.9	5.5	5.8	6.6	6.3	5.2
内側	3.0	2.7	2.4	2.0	1.5	1.1	1.0	1.3	1.5	2.2	2.7	2.8	2.0
掘削底面													
断熱材 外側	1.5	2.6	0.0	-4.1	-3.4	-1.0	0.7	2.2	2.5	1.0	4.2	0.8	0.6
内側	0.4	0.3	-3.1	-8.0	-6.5	-2.9	-1.0	-0.3	-0.1	0.3	0.2	0.3	-1.7
貯蔵庫内													
中央	0.7	0.4	0.0	-0.6	0.3	0.4	0.8	1.3	1.5	2.5	2.2	1.6	0.9
天井	1.8	-0.2	2.4	5.4	6.0	4.9	6.4	8.0	9.9	10.4	8.7	4.9	5.7
東壁地上 3m	0.7	0.3	0.0	-0.5	0.4	0.4	0.9	1.3	5.3	2.6	2.4	1.7	1.3
西壁地上 3m	1.4	-0.1	-0.8	-0.6	1.0	1.2	3.1	4.3	1.4	6.8	5.9	3.5	2.3
東壁地上 1m	0.5	0.1	-1.7	-4.8	-3.8	-1.9	-0.7	-0.1	0.1	1.3	1.6	1.2	-0.7
西壁地上 1m	0.5	0.1	-1.2	-2.3	-1.3	-0.5	0.2	0.8	0.8	2.0	1.9	1.4	0.2
床面	0.7	0.3	-0.1	-0.6	0.2	0.5	0.9	1.3	-0.6	2.6	2.3	1.7	0.8
湿度	71.8	77.6	60.1	39.3	38.9	55.7	61.2	63.2	63.5	58.1	65.0	68.4	60.2

表-10 人工永久凍土低溫防護庫の温度、湿度の月平均値(1996-97年)

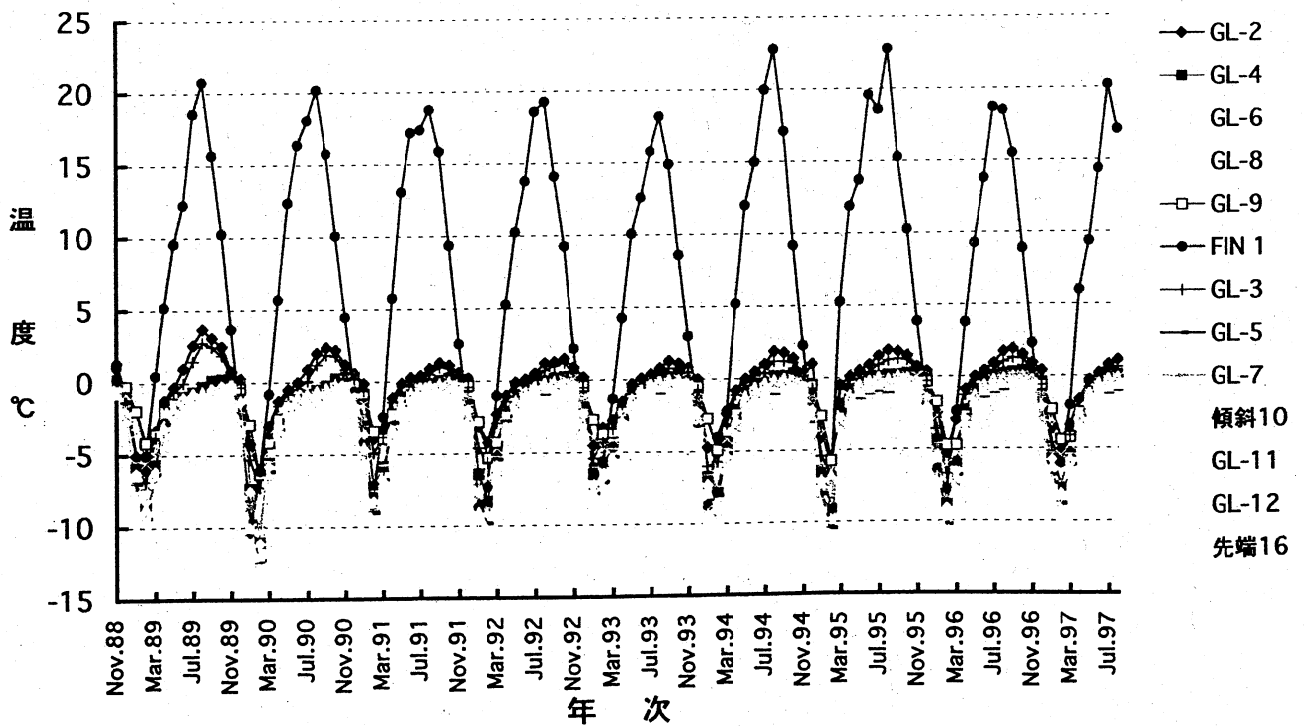
測定地点	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	平均
東壁側部地盤 GL-LINE No24	0.5	0.2	-3.2	-4.2	-3.7	-0.7	7.9	10.9	16.1	21.9	18.1	0.0	1.2
25	0.2	-0.4	-4.4	-5.5	-7.8	-5.4	-2.6	-1.2	-0.5	-0.3	-0.2	0.0	0.3
28	-0.2	-0.7	-2.8	-4.7	-7.0	-5.3	-2.5	-1.4	-0.9	-0.6	-0.4	0.0	-0.3
庫底	0.0	-0.8	-2.8	-4.4	-4.4	-3.9	-2.0	-1.0	-0.6	-0.4	-0.3	0.0	-0.1
直管型パイプ フィン No23	3.0	-2.3	-4.2	-5.5	-7.8	-5.4	-2.6	-1.2	-0.5	-0.3	-0.2	0.0	6.7
GL-LINE 26	-0.1	-1.1	-4.7	-5.6	-7.2	-5.5	-3.0	-1.9	-1.4	-1.0	-1.0	0.0	-2.5
27	-0.1	-1.6	-4.7	-5.6	-7.2	-5.5	-3.0	-1.9	-1.4	-1.0	-1.0	0.0	-2.5
先端部 29	-0.9	-2.7	-5.6	-7.2	-7.2	-5.5	-3.0	-1.9	-1.4	-1.0	-1.0	0.0	-3.0
南壁側部地盤 GL-LINE No2	0.9	0.4	-3.6	-5.1	-5.1	-3.4	-1.6	-0.3	0.2	0.8	1.1	0.0	1.5
4	0.4	-0.4	-5.5	-7.6	-7.6	-5.3	-2.5	-1.1	-0.4	-0.1	0.1	0.0	0.3
6	0.0	-1.2	-6.1	-8.4	-8.4	-6.2	-3.0	-1.5	-0.9	-0.5	-0.3	0.0	0.0
8	-0.1	-0.9	-3.4	-5.5	-5.5	-4.7	-2.4	-1.3	-0.8	-0.6	-0.4	0.0	-0.1
9	-0.2	-0.6	-2.3	-4.4	-4.4	-4.2	-2.5	-1.5	-1.1	-0.9	-0.7	0.0	-0.3
L字型パイプ フィン No1	2.3	-3.7	-5.9	-6.0	-6.0	-2.0	6.0	9.4	14.4	20.2	17.1	0.0	10.3
GL-LINE 3	0.4	-0.6	-4.6	-6.0	-6.0	-4.1	-1.8	-0.5	0.0	0.4	0.6	0.0	1.2
5	-0.1	-2.1	-6.8	-8.8	-8.8	-6.1	-2.8	-1.3	-0.5	-0.4	-0.1	0.0	0.1
7	-0.2	-2.0	-5.3	-7.3	-7.3	-5.4	-2.5	-1.4	-0.9	-0.6	-0.4	0.0	-0.1
傾斜部 10	-0.3	-2.1	-5.8	-8.1	-8.1	-5.9	-3.5	-1.7	-1.0	-0.7	-0.6	0.0	-0.2
11	-0.6	-4.0	-7.9	-9.7	-9.7	-6.7	-3.4	-1.9	-1.1	-0.8	-0.6	0.0	-0.3
12	-0.2	-3.2	-6.2	-8.1	-8.1	-5.8	-2.6	-1.2	-0.5	-0.2	-0.1	0.0	0.0
先端部 16	-0.1	-3.1	-6.9	-8.8	-8.8	-6.0	-3.0	-1.5	-0.8	-0.4	-0.2	0.0	-3.1
底部地盤 庫底 30cm 14	0.2	0.0	-1.8	-4.2	-4.2	-3.8	-2.4	-1.1	-0.5	-0.3	-0.2	0.0	0.8
70cm 15	-0.1	-2.4	-6.1	-8.1	-8.1	-5.9	-3.2	-1.7	-0.9	-0.6	-0.4	0.0	2.0
盛土表面 断熱材 外側	3.1	-1.9	-5.2	-4.0	-4.0	0.5	7.5	11.2	15.7	21.4	18.3	0.0	12.7
内側	1.6	-0.4	-3.9	-6.4	-6.4	-4.0	-0.1	2.1	5.0	9.1	10.7	0.0	7.3
切土斜面 断熱材 外側	6.5	5.8	5.0	4.3	4.3	3.8	3.3	3.2	3.7	4.4	5.2	0.0	7.1
内側	2.8	2.8	2.2	1.8	1.8	1.4	1.1	1.0	1.3	1.6	2.0	0.0	2.9
堀削底面 断熱材 外側	1.1	1.9	-2.4	-4.5	-4.5	-3.3	-1.0	0.3	1.6	1.9	2.3	0.0	0.9
内側	0.3	-0.1	-4.6	-6.9	-6.9	-5.2	-2.3	-0.9	-0.3	0.1	0.1	0.0	0.3
貯蔵庫内 中央 31	1.0	0.9	-0.5	-0.6	-0.6	-0.2	-0.2	0.6	1.3	1.9	2.0	0.0	1.8
天井 40	1.5	0.7	-0.2	3.1	3.1	2.8	4.0	5.6	8.0	11.3	9.4	0.0	4.6
東壁地上3m 43	0.9	-0.8	-0.8	-0.7	-0.7	-0.4	-0.3	0.7	1.3	2.7	2.1	0.0	2.3
西壁地上3m 42	1.1	0.2	-1.9	-1.7	-1.7	-0.8	0.4	2.8	4.4	7.6	6.0	0.0	4.7
東壁地上1m 44	0.6	0.3	-3.1	-5.5	-5.5	-4.3	-2.4	-1.6	-0.4	0.0	0.2	0.0	1.3
西壁地上1m 45	0.7	0.4	-2.2	-3.3	-3.3	-2.7	-1.7	-0.5	0.1	1.2	1.2	0.0	1.6
床面 36	0.9	0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.4	-0.3	0.6	1.3	2.2	2.1	0.0	2.0
湿度 50	75.5	80.3	74.4	62.1	62.1	67.4	56.4	56.3	55.4	48.1	50.6	0.0	67.3
													62.7

### 貯蔵庫周囲(東壁)



図－2 貯蔵庫東壁周囲の地盤温度

### 貯蔵庫周囲(南壁)



図－3 貯蔵庫南壁周囲の地盤温度

貯蔵庫断熱材内外

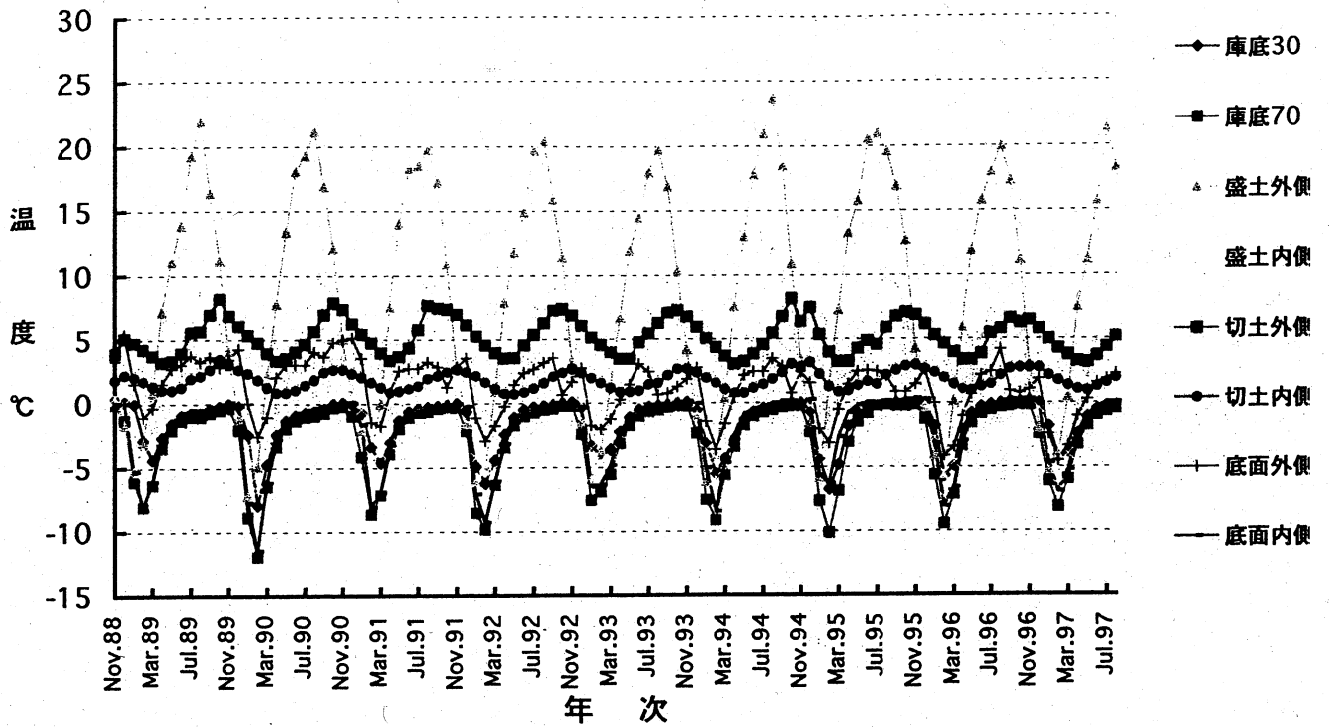


図-4 貯蔵庫地盤を囲む断熱材内外側の温度

貯蔵庫壁面

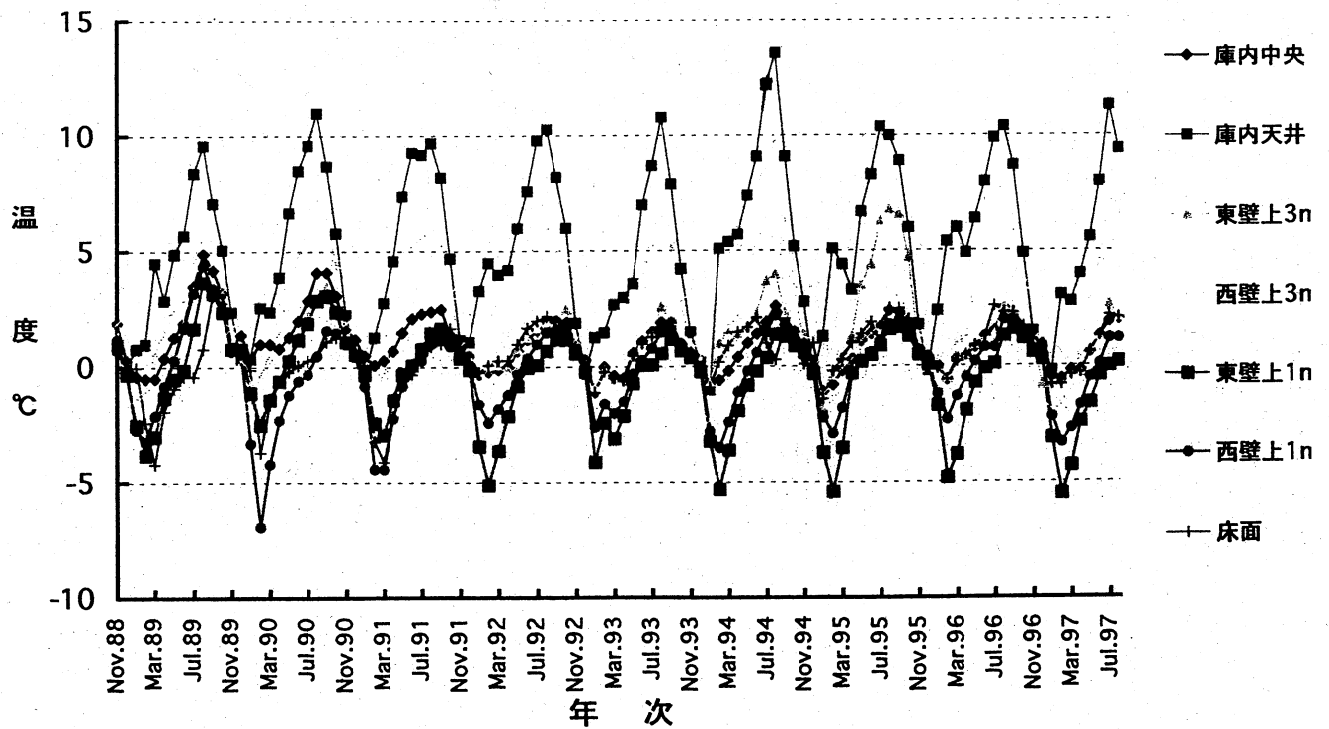


図-5 貯蔵庫内の壁面の温度

## (2)貯蔵システムの気象環境とシステムの年平均温湿度

ヒートパイプ型凍土低温貯蔵庫システムが完成してから10冬年以上を経験しているが、その間の気象変動が激しくシステムに与える影響は大きいことが想定される。表-11には各年度の平均値の一覧を示した。表-12に、10カ年の冬季の状況、その後の夏季状況、貯蔵庫の温湿度、凍土とヒートパイプの温度、システム外の地温などの年平均値を示す。88-89年の冬から始まった暖冬傾向は繰返されながら、最近5年の暖冬程度は安定してきている。その年の積算寒度が大きいほど、底部温度、凍結地盤やヒートパイプ温度が低い傾向にあった。庫内温度も同様な傾向がみられ、庫内に貯蔵される農産物の量に大きく左右されると考える。最初の3カ年が90%以上の高湿度を示すが、その後湿度低下は湿度センサーの劣化による低数値に過ぎない。他の湿度測定器で確認したところ、90%程度の値に変わりはない。

表-12 10カ年の自然環境と低温貯蔵システムの年平均温湿度

年次	平均 気温 (℃)	積算寒 度 (℃・ 日)	積算 温度 (℃・ 日)	庫内 温度 (℃)	湿度 (%)	底部 温度 (℃)	地盤 温度 (℃)	パイプ 温度 (℃)	外側 地温 (℃)
1987-88	4.7	962	2682	1.5	82	-3.9	-1.9	-3.2	6.4
1988-89	6.1	546	2872	1.6	93	-2.6	-1.4	-2.3	5.1
1989-90	6.4	857	3297	1.9	92	-3.2	-1.9	-2.9	5.3
1990-91	7.2	575	3166	1.4	85	-2.5	-1.2	-1.9	5.7
1991-92	6.1	726	2932	0.8	89	-2.9	-1.6	-2.3	5.4
1992-93	5.9	621	2749	0.8	86	-2.5	-1.4	-2.0	5.4
1993-94	7.2	645	3265	0.9	61	-2.7	-1.6	-2.2	5.1
1994-95	6.7	658	3075	0.9	61	-2.8	-1.6	-2.3	5.3
1995-96	5.7	656	2804	1.0	60	-2.5	-1.5	-2.3	5.2
1996-97	6.4	639	2995	0.6	63	-2.9	-1.6	-2.6	4.5

## (3)凍土壁地盤の温度変化

凍結土層の温度変化をみるため、貯蔵庫南壁地盤の月別温度の年次変動を図-1に示す。フィンの温度は夏季に20℃以上にも上昇するが、ヒートパイプの熱ダイオード性ドより上部の熱が下部に伝達されることはない。夏季に壁表面温度は融解によって0℃以上になるが、5℃以上になることはなかった。最初に凍土造成がなされる年の温度変化は多少異なるパターンを示すが、その後毎年ほぼ同様な地盤温度変化を示すことがわかる。一例として貯蔵庫東壁面から最も遠い150cmの地盤温度と、最も近い10cmの地盤温度の月平均値を表-2に示す。150cmの地点の温度はいずれもマイナスであることから永久凍土化していることは明らかである。他方、10cmの地点では6月以降に融解することがわかる。9月に壁面温度が最大になり、その後徐々に低下し1月には0℃以下になる。融解厚さは壁面から約50cm程度であり、この厚さは再び冬季にヒートパイプによって凍結される。

表-11 人工永久凍土低温貯蔵庫の温度(°C),湿度(%)の 平均値

測定地点	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	平均
GL-24	-1.3	-0.8	-1.5	-1.1	-1.6	-1.1	-0.9	-0.8	-0.7	-1.2	-1.1
GL-25	-2.4	-1.5	-2.2	-1.6	-2.3	-1.7	-1.6	-1.6	-1.5	-1.8	-1.8
GL-28	-2.2	-1.5	-2.1	-1.6	-2.0	-1.6	-1.7	-1.8	-1.6	-1.9	-1.8
庫底30	-2.4	-1.6	-2.1	-1.4	-1.9	-1.4	-1.5	-1.6	-1.5	-1.6	-1.7
FIN23	5.8	6.8	8.9	8.9	7.5	7.5	7.6	8.3	7.8	6.7	7.6
GL-26	-3.6	-2.3	-2.9	-2.2	-2.8	-2.1	-2.2	-2.3	-2.1	-2.5	-2.5
GL-27	-3.6	-2.2	-2.7	-2.0	-2.4	-2.0	-2.3	-2.4	-2.2	-2.5	-2.4
先端29	-4.5	-2.4	-2.8	-2.5	-3.0	-2.4	-2.6	-2.9	-2.7	-3.0	-2.9
測定地点	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	平均
GL-2	-0.8	-0.2	-0.6	-0.2	-0.4	-0.6	-0.4	-0.1	-0.4	-1.1	-0.5
GL-4	-3.0	-2.1	-2.5	-1.4	-1.9	-1.7	-1.8	-1.5	-1.8	-2.2	-2.0
GL-6	-3.9	-2.7	-3.1	-2.0	-2.5	-2.2	-2.2	-0.8	-2.4	-2.8	-2.5
GL-8	-3.8	-1.8	-2.3	-1.4	-1.8	-1.5	-1.7	-1.5	-1.7	-2.0	-2.0
GL-9	-2.7	-1.5	-1.9	-1.2	-1.6	-1.4	-1.0	-1.4	-1.6	-1.8	-1.6
FIN 1	5.8	6.8	6.8	7.3	6.1	5.9	6.7	8.6	6.2	5.2	6.5
GL-3	-2.0	-0.9	-1.1	-0.6	-1.0	-1.1	-1.1	-0.7	-0.9	-1.6	-1.1
GL-5	-3.8	-2.6	-3.2	-2.0	-2.5	-2.2	-2.3	-2.1	-2.4	-2.9	-2.6
GL-7	-4.1	-2.3	-2.9	-1.9	-2.3	-2.0	-2.3	-1.9	-2.3	-2.6	-2.5
傾斜10	-3.5	-2.6	-2.9	-2.3	-2.7	-2.5	-2.7	-2.2	-2.5	-3.0	-2.7
GL-11	-3.8	-3.1	-3.8	-3.0	-3.4	-3.1	-3.2	-1.2	-3.2	-3.7	-3.2
GL-12	-4.7	-2.7	-3.3	-2.5	-2.9	-2.5	-2.5	-1.8	-2.5	-2.8	-2.8
先端16	-4.8	-3.0	-3.6	-2.7	-3.0	-2.4	-2.9	-2.1	-2.7	-3.1	-3.0
測定地点	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	平均
庫底30	-2.0	-1.1	-1.8	-1.2	-1.7	-1.3	-1.6	-1.6	-1.3	-1.4	-1.5
庫底70	-4.8	-2.6	-3.2	-2.5	-2.9	-2.5	-2.7	-2.7	-2.5	-2.9	-2.9
盛土外側	6.9	7.7	8.5	8.8	7.7	7.6	8.8	10.4	7.9	6.7	8.1
盛土内側	0.6	2.0	2.4	2.9	2.0	2.5	2.9	3.8	2.4	1.4	2.3
切土外側	4.6	4.9	5.3	5.7	5.4	5.4	5.1	5.3	5.2	4.5	5.1
切土内側	1.8	2.0	1.9	1.8	1.7	1.7	1.8	2.0	2.0	1.8	1.9
底面外側	2.4	2.5	2.4	2.3	1.2	0.8	1.1	1.0	0.6	-0.2	1.4
底面内側	-3.5	-2.1	-2.6	-1.9	-2.4	-1.8	-1.8	-1.2	-1.7	-2.0	-2.1
測定地点	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	平均
庫内中央	1.6	1.7	1.9	1.4	0.8	0.6	0.9	0.9	0.9	0.6	1.1
庫内天井	3.5	4.2	5.2	5.0	4.8	7.1	6.1	5.6	5.7	4.6	5.2
東壁上3m	0.1	0.7	0.9	-0.1	0.9	0.6	1.6	2.7	1.0	0.5	0.9
西壁上3m	0.4	2.1	2.9	2.5	2.6	2.2	3.4	1.0	2.6	1.8	2.2
東壁上1m	0.4	0.0	0.7	0.0	-1.0	-0.8	-0.9	-0.5	-0.7	-1.6	-0.4
西壁上1m	0.4	0.6	-1.2	-0.6	0.0	-0.2	-0.2	0.1	0.2	-0.7	-0.2
床面	0.4	-0.2	-0.1	-0.4	1.0	0.5	0.9	1.0	1.0	0.6	0.5
測定地点	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	平均
湿度	89.2	93.1	91.5	85.3	69.6	66.2	61.0	61.2	60.2	62.7	74.0

表-13 10カ年の低温貯蔵システム内の凍土地盤温度の経年変化

年次	庫内側壁から150cmの地盤温度 (℃)							庫内側壁から10cmの地盤温度 (℃)						
	12月	1月	2月	3月	5月	8月	10月	12月	1月	2月	3月	5月	8月	10月
1987-88	0.0	-2.1	-5.9	-5.2	-1.9	-1.0	-0.5	-2.3	-5.7	-6.5	-3.5	-0.1	2.4	2.8
1988-89	-0.2	-1.9	-4.1	-3.5	-1.4	-0.9	-0.5	-0.8	-5.0	-6.0	-3.3	-0.3	3.7	2.5
1989-90	-0.4	-2.9	-6.3	-4.1	-1.6	-1.0	-0.2	0.3	-4.2	-6.2	-3.0	-0.5	2.0	2.2
1990-91	-0.1	-0.8	-3.4	-3.9	-1.3	-0.5	-0.2	0.6	-0.1	-3.9	-3.3	-0.1	0.9	1.1
1991-92	-0.3	-2.8	-5.3	-4.2	-1.4	-0.6	-0.2	0.2	-3.1	-4.2	-2.3	-0.1	1.2	1.5
1992-93	-0.4	-2.7	-3.7	-3.6	-1.3	-0.6	-0.2	0.2	-4.5	-3.3	-2.8	-0.3	0.8	1.1
1993-94	-0.5	-2.7	-4.9	-3.6	-1.5	-0.7	-0.3	0.0	-4.7	-4.8	-2.4	0.0	1.9	1.4
1994-95	-0.5	-2.6	-5.4	-4.5	-1.5	-0.6	-0.3	0.1	-4.1	-5.7	-3.2	0.1	1.5	1.5
1995-96	-0.3	-1.7	-4.7	-4.7	-1.5	-0.6	-0.3	0.4	-2.5	-5.3	-3.0	0.0	1.7	1.5
1996-97	-0.6	-2.3	-4.4	-4.2	-1.5	-0.7	-0.3	0.4	-3.6	-5.1	-3.4	-0.3	1.1	0.9

#### (4)庫内の温度環境の年次変化

農産物貯蔵，特に根菜類の長期貯蔵には高湿度と低温（0℃から4℃）の環境が最も適している場合が多い。したがって，貯蔵空間の不均一な温度状態が好ましくないのでサーキュレータで冷気の拡散を行っている。図-6に，貯蔵庫内の年平均温度の経年変化を示す。最も温度が高いのは屋根が地上に露出している庫内天井であり，積算温度と積算寒度の差に影響を受ける。床面は冷却防止のため92年以降，冬季に散水するためその効果が得られ0℃以下にならなかった。東西の壁付近の地上1mは，庫内の温度低下防止にカーテンにより仕切られているが，0℃以下の低温になっている。西側壁が東側壁より温度が1℃ほど高い傾向にあるが，原因は明白でない。温度センサーの位置の違いによるものと判断される

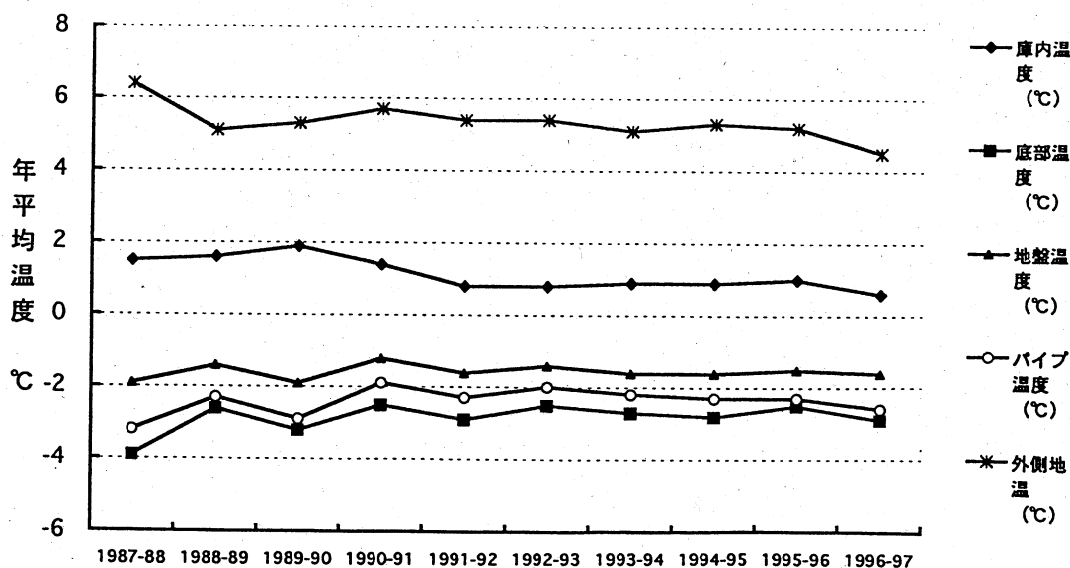


図-6 庫内および底部温度、地盤・HP温度等の年平均値

## 5. 結 論

冬季の寒冷気候を利用し、ヒートパイプを媒体として凍土を造成し、地盤内部に低温貯蔵庫を敷設したモデルプラントは、10年の歳月を経過した。システムは完全に永久凍土化し、一部地盤表面は夏季には融解するが冬季に再びヒートパイプで凍結されることが明らかである。このようなプロセスが毎年繰返され、人工永久凍土を構築して庫内が安定したランニングコストを要しない低温貯蔵システムであることが実証された。

## 6. おわりに

農産物の低温貯蔵に十分実用化できる技術であり、今日の農業の過剰生産と低価格化の解決に結び付けることができ、市場安定化と安全食品の確保に大きく貢献できると思われる。現在は、建設コストの低減として土の代わりに吸水性ポリマーの凍結実験を行っており、その成果を近いうちに公表する予定である。近い将来の世界的異常気象や巨大災害に備えた食糧備蓄基地計画の推進に大いに役立つと考える。そして、この凍土低温貯蔵システムは21世紀の世界人口膨張に対する食糧不足に対応する方策のひとつとして、食糧貯蔵問題を考えるとき、十分海外にも実用供給できる貯蔵システム技術である。

### 引用文献

- 1) 土谷富士夫：寒冷エネルギーを利用した農産物貯蔵，太陽エネルギー学会誌，20巻1号，pp.45-51(1992)
- 2) 土谷富士夫・了戒公利：ヒートパイプを利用した人工永久凍土による低温貯蔵庫，農業土木学会誌，58巻9号，pp.881-886(1990)
- 3) 土谷富士夫・了戒公利：冷熱エネルギーを利用した凍土低温貯蔵庫システム，農業土木学会誌，64巻3号，pp.231-235 (1996)
- 4) Tsuchiya F., Ryokai K., and Mochizuki M.: A cold storage of agricultural products by artificial permafrost using heat pipes. Proc of 6<sup>th</sup> International Symposium on Ground freezing, Vol.2, pp.537-542(1992)
- 5) 土谷富士夫：特別講演－土の凍上災害と寒さ利用，技術報告（地盤工学会北海道支部），pp.75-82(1998)

## 第2章 ヒートパイプ及び蓄熱体の違いによる潜熱蓄熱量の比較検討

清水建設技術研究所 了戒 公利

### 目次

#### 1.目的

#### 2.ヒートパイプによる潜熱蓄熱体の構築

##### 2.1 ヒートパイプによる熱輸送量

##### 2.2 潜熱を考慮した非定常熱伝導解析法

#### 3.ヒートパイプによる潜熱蓄熱体凍結実験

##### 3.1 ヒートパイプの仕様

##### 3.2 ヒートパイプ及び計器の設置状況

#### 4.実験結果

##### 4.1 現地の気象

###### (1) 気温

###### (2) 積算寒度

##### 4.2 潜熱蓄熱体の構築状況

###### (1) 潜熱蓄熱体の温度変化

###### (2) ヒートパイプの熱輸送能力

###### (3) 構築された潜熱蓄熱体の経時変化と解析結果との比較

#### 5.結論

## 1.目的

潜熱蓄熱量は、ヒートパイプの熱輸送能力や潜熱蓄熱体により変わる。大町市の寒さは北海道に比較して厳しくない。熱輸送能力を改善するために、直径を 60.5mm と大きくし、更に周方向の均熱性を良くするために内部にウィックを設置するなどの改良を加えた。ここでは、従来の直径 46 mm のコルゲート型ヒートパイプの熱輸送能力の比較をおこなった。

さらに、潜熱蓄熱体として、大町プラントでは吸水性ポリマーを用いたが、蓄熱された寒冷エネルギーで貯蔵庫内を冷却する場合、融解した吸水性ポリマーが熱抵抗となり、有効に貯蔵庫内を冷却しなくなる。水を凍結させると、構築した氷の周囲の水を攪拌させるだけで、貯蔵庫壁面の温度を 0℃ 近くにすることができ、潜熱蓄熱体の 0℃ の温度を有効に利用することができる。ここでは、上記のヒートパイプを用いて、所定の直径の氷を構築できるかを確認するために水を潜熱蓄熱体とした凍結実験も併せて実施した。

## 2. ヒートパイプによる潜熱蓄熱体の構築

### 2.1 ヒートパイプによる熱輸送量

ヒートパイプの熱輸送量  $q_{hp}$  は、温度差に比例することから、次式で与えられる。

$$q_{hp} = \frac{T_g - T_{hpe}}{R_1} \quad (2.1)$$

$$= \frac{T_{hpe} - T_o}{R_2 + R_3 + R_4} \quad (2.2)$$

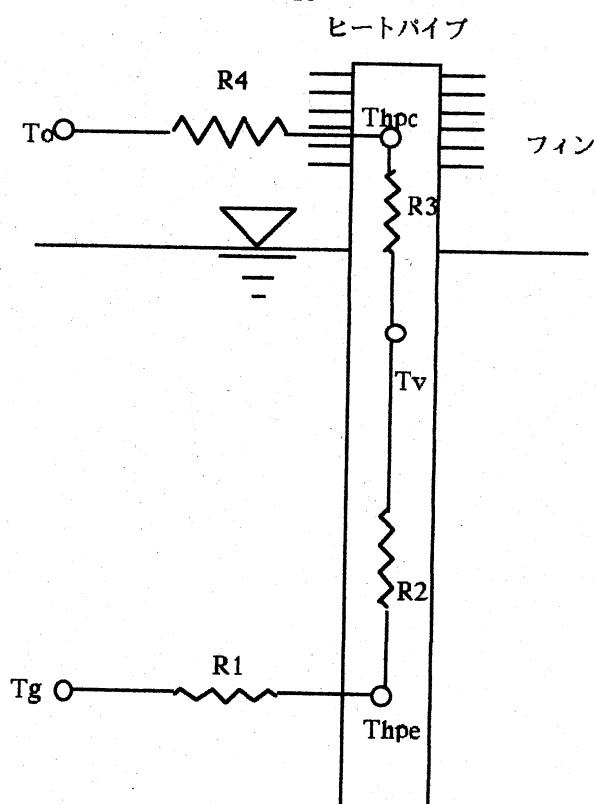


図2.1 ヒートパイプの熱抵抗

## 2.2 潜熱を考慮した非定常熱伝導解析法

凍結部及び未凍結部内の熱移動は、円筒モデルと考えられるので、それぞれ次のようになる。

$$\text{凍結部の熱移動} \quad \frac{\partial \theta_f}{\partial t} = \kappa_f \left\{ \frac{\partial^2 \theta_f}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \theta_f}{\partial r} \right\}$$

$$\text{未凍結部の熱移動} \quad \frac{\partial \theta_u}{\partial t} = \kappa_u \left\{ \frac{\partial^2 \theta_u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \theta_u}{\partial r} \right\}$$

ここに、 $\theta_f$ ：凍結部の温度

$\theta_u$ ：未凍結部の温度

$\kappa_f$ ：凍結部の温度伝導率

$\kappa_u$ ：未凍結部の温度電導率

$t$ ：温度

$r$ ：位置

また、凍結部及び未凍結部の境界において、次の関係が成り立つ。

$$\lambda_f \frac{\partial \theta_f}{\partial r} - \lambda_u \frac{\partial \theta_u}{\partial r} = L \rho V$$

ここに、 $\lambda_f$ ：凍結部の熱伝導率

$\lambda_u$ ：未凍結部の熱伝導率

$L$ ：水の凍結潜熱

$V$ ：凍結速度

上記の式を差分法により解くことにより、凍結面の進行を求めることができる。

### 3. ヒートパイプによる潜熱蓄熱体凍結実験

#### 3.1 ヒートパイプの仕様

実験には、以下の2種類のヒートパイプを用いた。

##### (1) コルゲート型ヒートパイプ

■全長 8 m

・凝縮部直径 50 mm (直管)

・蒸発部直径 46 mm (コルゲート型)

■フィン部

・形状  $\Phi 20\text{ cm} \times 20\text{ cm} \times t0.6\text{ mm}$

・アルミ製 170枚

・ピッチ1 cm

##### (2) 改良型ヒートパイプの形状

大町の凍結指数を  $150^\circ\text{Cdays}$ 、平均風速を  $1.5\text{ m/s}$  と仮定し、改良型ヒートパイプの仕様を以下のようにした。

■全長 8 m

■直径 60.5 mm (外径) 56.5 mm (内径)

■フィン部長さ 1926 mm

寸法  $\Phi 215 \times 215\text{ mm}$

厚さ 0.7 mm

枚数 215枚

■ウイック 有り

■ヒートパイプ作動液 HFC-134a

### 3.2 ヒートパイプ及び計器の設置状況

図3.1に現場実験概要図を示す。幅約0.7m、深さ約4mの直方体の溝を3孔掘削する。その内周に断熱材を設け、地中及び地表からの熱流の進入を軽減する。2孔に、約200～250倍に吸水膨張させた吸水性ポリマーと水を充填した。1孔には直径60cmのエンビ管内に水を充填した。

熱電対の設置位置はポリマーゲル及び水の場合とも温度測定センサー（熱電対）を以下のように設置した。

#### (1) 気温、地温

ヒートパイプフィンの裏面の直射日光が当たらない部分で気温を測定した。さらに、ヒートパイプ近傍の地温も1mピッチで深度6mまで測定した。

#### (2) 蓄熱体（吸水性ポリマー及び水）内

図3.1に示すようにヒートパイプ中央部と先端部に設置する。凍結領域を推定するために、ヒートパイプ表面とその表面から10, 20, 30cmの位置に基本的に設置した。測点を表3.1に示す。

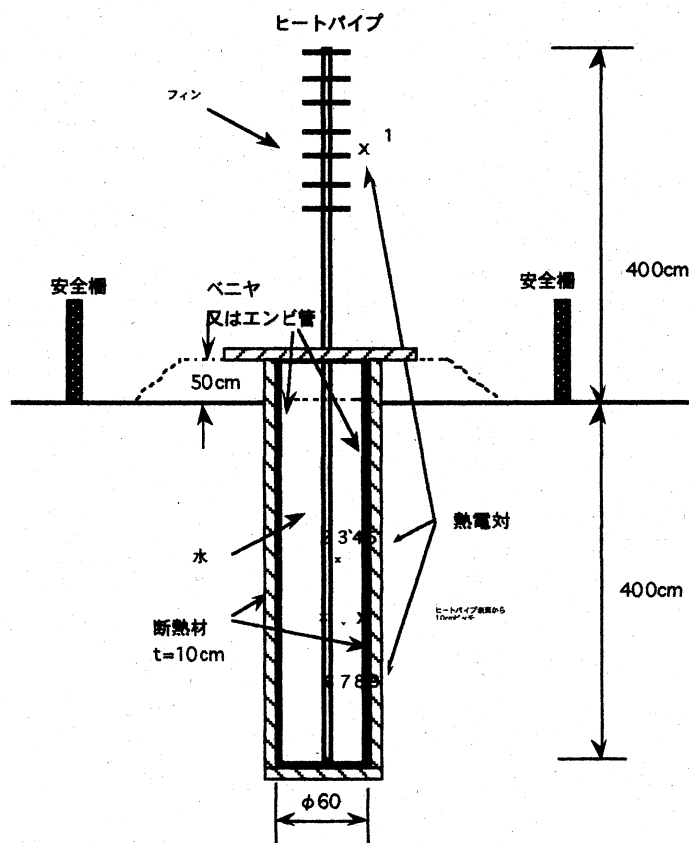


図3.1 (ヒートパイプによる潜熱蓄熱体（ポリマー）凍結実験（帯広）

表3.1 熱伝対設置位置

CH No.	計測部	蓄熱体	測点
CH1	地温		深度 1 m
CH2			深度 2 m
CH3			深度 3 m
CH4			深度 4 m
CH5			深度 5 m
CH6			深度 6 m
CH7	φ 46mm	ゲル	フィン温度
CH8			HP0cm
CH9			HP10cm
CH10			HP20cm
CH11			HP30cm
CH12			HP40cm
CH13			HP先端
CH14	φ 60mm	ゲル	フィン温度
CH15			底から250cm H P 0cm
CH16			底から250cm H P 10cm
CH17			底から250cm H P 20cm
CH18			底から250cm H P 30cm
CH19			底から50cm H P 0cm
CH20			底から50cm H P 10cm
CH21			底から50cm H P 30cm
CH22	φ 60mm	水	フィン温度
CH23			底から250cm H P 0cm
CH24			底から250cm H P 10cm
CH25			底から250cm H P 20cm
CH26			底から250cm H P 30cm
CH27			底から50cm H P 0cm
CH28			底から50cm H P 10cm
CH29			底から50cm H P 20cm
CH30			底から50cm H P 30cm

## 4. 実験結果

### 4.1 現地の気象

#### (1) 気温

図4.1 (a)-(c)に外気温度の経時変化を示す。11月中旬からマイナス温度を示し始めた。最低温度は $-24^{\circ}\text{C}$ であった。

#### (2) 積算寒度

図4.2にそれぞれのフィン部の温度から求めた積算温度の経時変化を示す。3地点の積算温度はほとんど同じで、測定期間（平成10年10月4日から平成11年2月2日）の凍結指数は

500 $^{\circ}\text{C}$ 日

以上であった。

### 4.2 潜熱蓄熱体の構築状況

#### (1) 潜熱蓄熱体の温度変化

図4.3に地盤内温度の経時変化を示す。深度1mの地温は $16^{\circ}\text{C}$ から $5^{\circ}\text{C}$ まで急速に温度が低下したが、深度6mでは $9^{\circ}\text{C}$ 前後でほとんど変動が無かった。

図4.4に、直径46mmのヒートパイプの場合（潜熱蓄熱体：ゲル）の蓄熱体内の温度の経時変化を示す。ヒートパイプ表面温度は中央部より先端部の温度低下が大きく現れた。2月2日の時点ではヒートパイプ表面から10cmの領域まで凍結したに過ぎなかった。

図4.5(a),(b)に直径60mmのヒートパイプで潜熱蓄熱体としてゲルを用いた場合の温度の経時変化を示す。ヒートパイプ内にウィックを設けたため、深度方向の温度の均熱性が保たれ、深度方向の温度分布に差は現れなかった。若干先端より、底から250cmの方が凍結領域は大きく現れ、2月2日の時点で、底から50cmでHP表面から20cm以上、底から250cmでHP表面から30cm以上凍結した。

図4.6(a),(b)に直径60mmのヒートパイプで潜熱蓄熱体として水を用いた場合の温度の経時変化を示す。潜熱蓄熱体として水を用いているため、水の対流現象で各測点とも同じ温度を示しながら、低下した。底から50cmと底から250cmの温度はほとんど同じで11月15日前後にはすべての地点で温度は $0^{\circ}\text{C}$ となり、1月末には $0^{\circ}\text{C}$ 以下となり、すべて凍結したことが確認できる。

ヒートパイプの熱輸送量は温度差に比例する。ゲルの場合、ヒートパイプ表面から凍結するため、外気とヒートパイプ表面の温度差が小さくなる。一方、水の場合対流現象によりすべての水の温度が $0^{\circ}\text{C}$ になってから、凍結が開始する。その間ヒートパイプの表面温

度は0℃に保たれているので、ゲルの場合より温度差が大きい。その結果、その間多くの冷熱が蓄熱体に流入することになる。

## (2) ヒートパイプの熱輸送能力

図4.7に直径46mmのヒートパイプの場合(潜熱蓄熱体:ゲル)の外気温度とヒートパイプ表面温度との関係を示す。ヒートパイプの熱抵抗が大きいいため、外気温度が-25℃でも表面温度は-3℃にしかならなかった。

図4.8、9(a),(b)に直径60mmのヒートパイプで潜熱蓄熱体としてゲル及び水を用いた場合の外気温度とヒートパイプ表面温度との関係を示す。直径46mmのヒートパイプに比較して、冷却能力が大幅に向上している。

## (3) 構築された潜熱蓄熱体の経時変化と解析結果との比較

図4.10に2.2で示した潜熱を考慮した非定常熱伝導解析によるヒートパイプ表面温度と外気温度との関係を示す。図4.11に潜熱蓄熱体の構築量(半径)の経時変化を示す。

解析に当たっては、図4.1(a)-(c)に示した外気温度の経時変化をSIN近似し、以下の関係で外気温度が変化するとして解析を実施した。

$$\text{外気温度} \quad \theta = \theta_m \sin(\pi t/t_{\max})$$

$$\text{凍結指数} \quad FI = 2 \theta_m t_{\max} / \pi$$

ここに、 $\theta_m = -9^\circ\text{C}$

$$t_{\max} = 90 \text{ 日}$$

なお、凍結指数FIは520℃日でとなる。

図4.10より、ヒートパイプの熱抵抗Rが、0.01hc/kcalでは、外気温度とヒートパイプ表面温度がほとんど同じとなり、実用上抵抗が0といえる。図4.7のヒートパイプ直径が46mmの場合と比較すると、熱抵抗Rが0.1hc/kcalの場合と比較的近似している。図4.4より潜熱蓄熱体の構築量(半径)は10数cmであるので、熱抵抗は0.1hc/kcalより大きいものと思われる。

ヒートパイプの直径が60mmの場合、熱抵抗は0.06~0.08hc/kcalと思われる。図4.5、6より、潜熱蓄熱体の構築量(半径)は30cmであるので、図4.11より熱抵抗は0.06~0.08hc/kcalと思われる。

## 5. 結論

帯広地区での直径46mmのコルゲート型ヒートパイプと直径60mmのヒートパイプを場合の熱輸送能力の比較をおこなった。

さらに、潜熱蓄熱体として、大町プラントでは吸水性ポリマーを用いたが、蓄熱された寒冷エネルギーで貯蔵庫内を冷却する場合、融解した吸水性ポリマーが熱抵抗となり、有効に貯蔵庫内を冷却しなくなる。水を凍結させてると、構築した氷の周囲の水を攪拌させるだけで、貯蔵庫壁面の温度を0℃近くにする事ができ、潜熱蓄熱体の0℃の温度を有効に利用することができる。ここでは、上記のヒートパイプを用いて、所定の直径の水を構築できるかを確認するために水を潜熱蓄熱体とした凍結実験も併せて実施した。その結果以下のことが明らかとなった。

- 1) 直径46mmのヒートパイプで構築できた蓄熱体の直径は20cm前後である。
- 2) 直径60mmのヒートパイプで潜熱蓄熱体としてゲルを用いた場合に構築された蓄熱体の直径は60cm以上である。構築完了日は1月末である。
- 3) 直径60mmのヒートパイプで潜熱蓄熱体として水を用いた場合に構築された蓄熱体の直径は60cm以上である。構築完了日は1月始めであり、ゲルと比較して1月程度早く構築できた。
- 4) 直径46mmのコルゲート型ヒートパイプの熱抵抗は0.1hc/kcalより大きい。
- 5) 直径60mmのウイック付のヒートパイプの熱抵抗は0.06～0.08hc/kcalである。

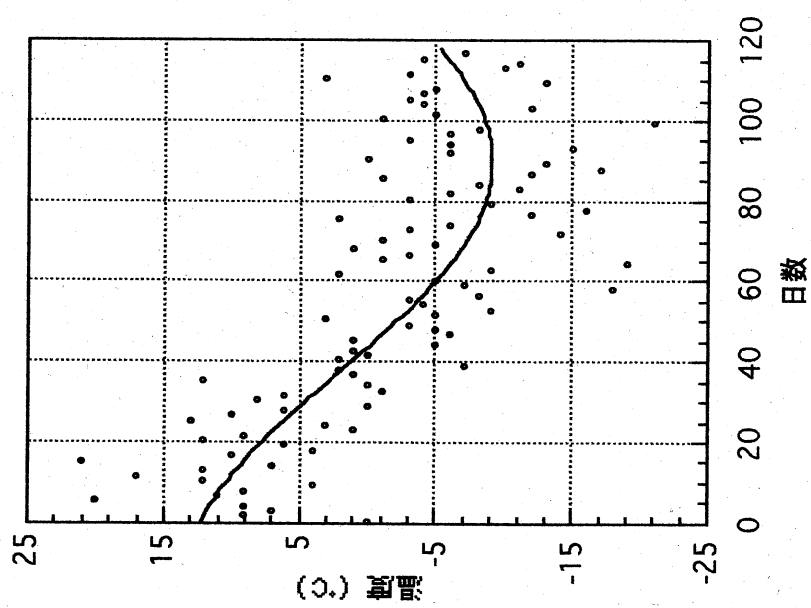


図4.1(a) HP46mmフィン部 気温の経時変化  
(平成10年10月4日から平成11年2月2日まで)

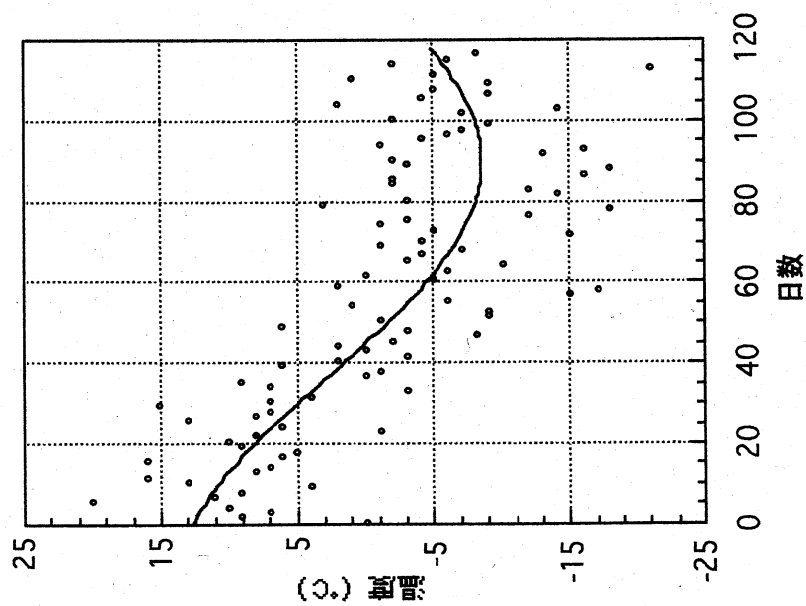


図4.1(b) HP 60mm (ゲル) フィン部 気温の経時変化  
(平成10年10月4日から平成11年2月2日まで)

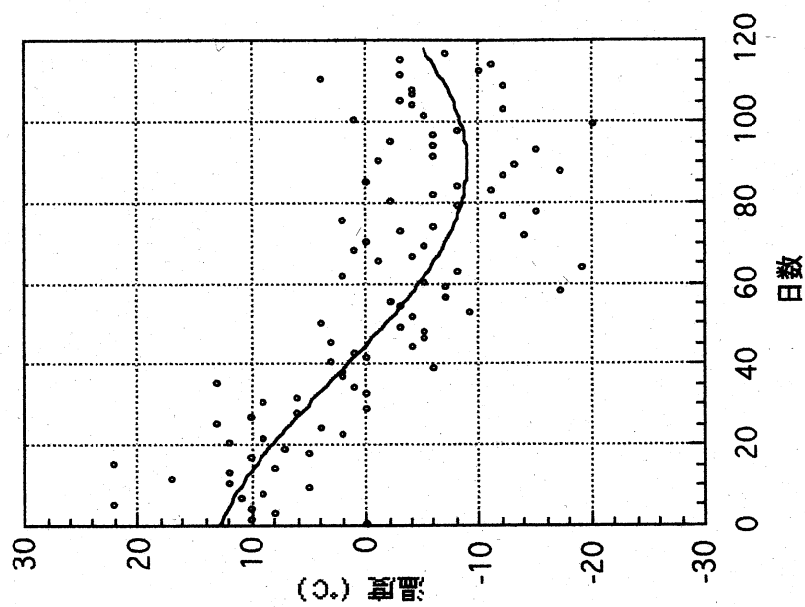


図4.1(c) HP 60mm (水) フィン部 気温の経時変化  
(平成10年10月4日から平成11年2月2日まで)

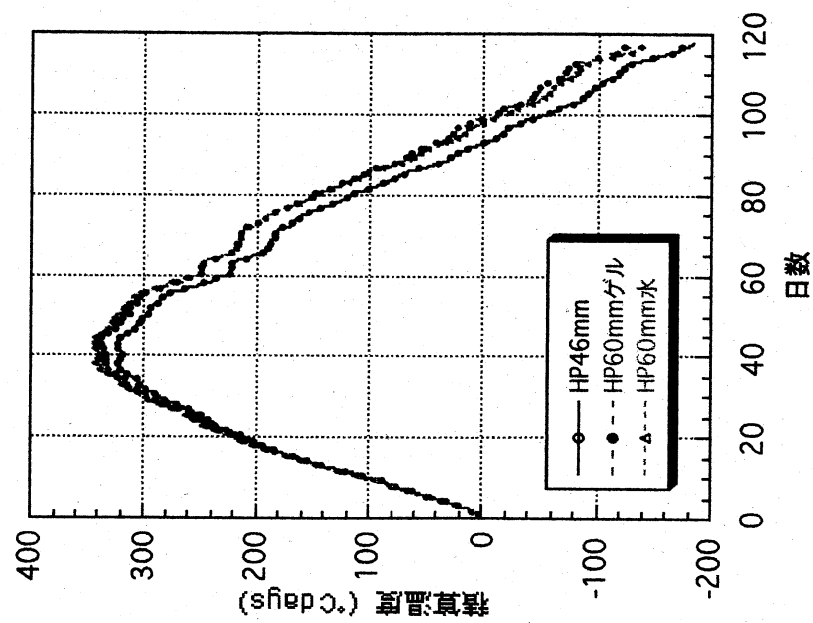


図4.2 積算温度の経時変化  
(平成10年10月4日から平成11年2月2日まで)

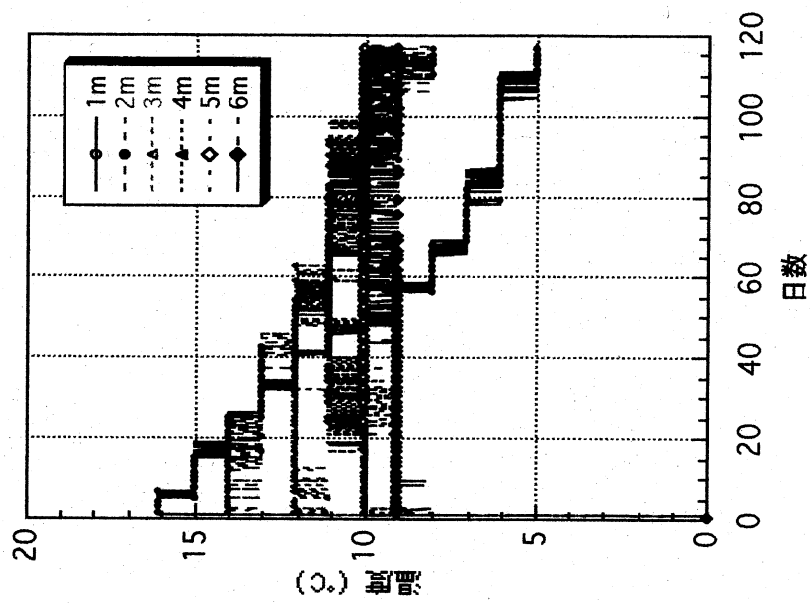


図4.3 地盤内温度の経時変化  
(平成10年10月4日から平成11年2月2日まで)

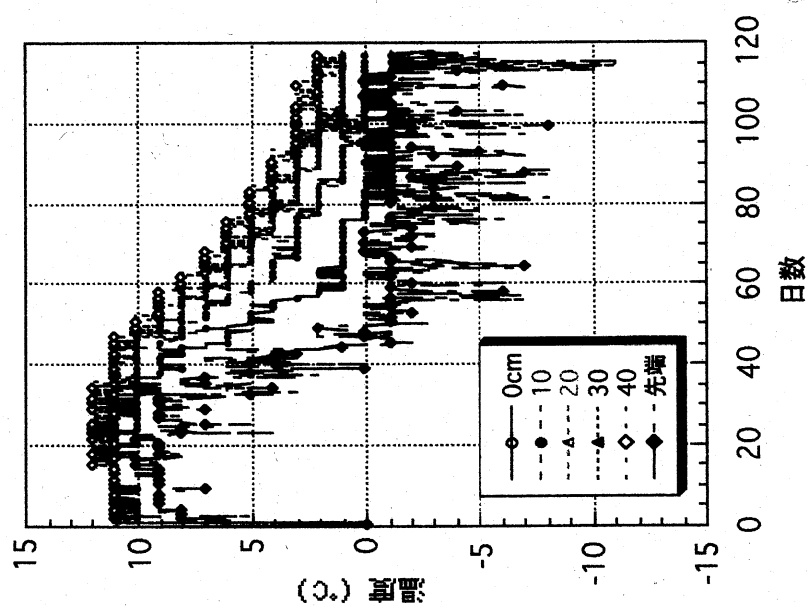


図4.4 HP46mmゲル温度の経時変化  
(平成10年10月4日から平成11年2月2日まで)

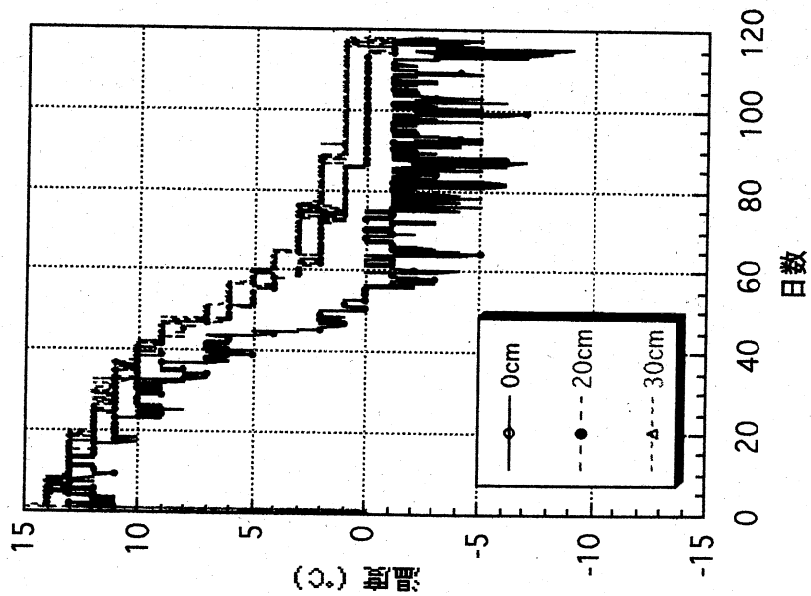


図4.5(a) HP60mmゲル温度の経時変化 (底から50cm)  
(平成10年10月4日から平成11年2月2日まで)

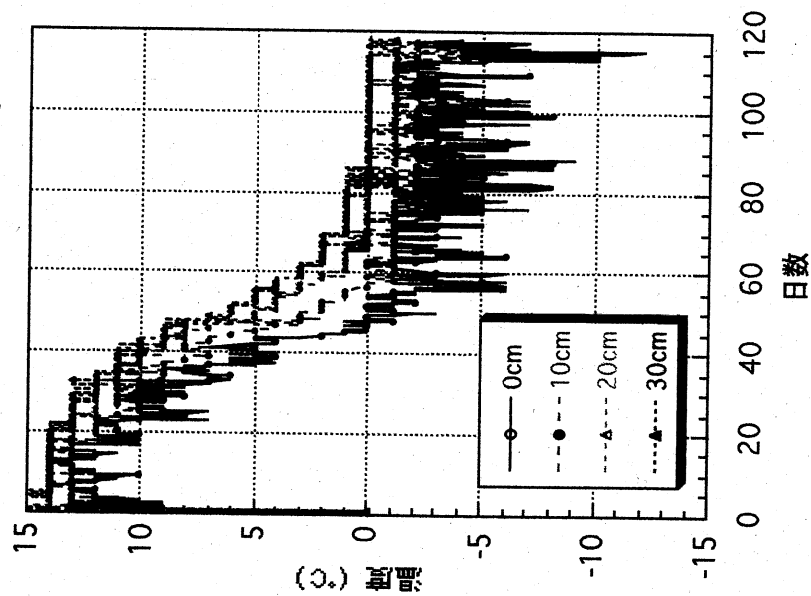


図4.5(b) HP60mmゲル温度の経時変化 (底から250cm)  
(平成10年10月4日から平成11年2月2日まで)

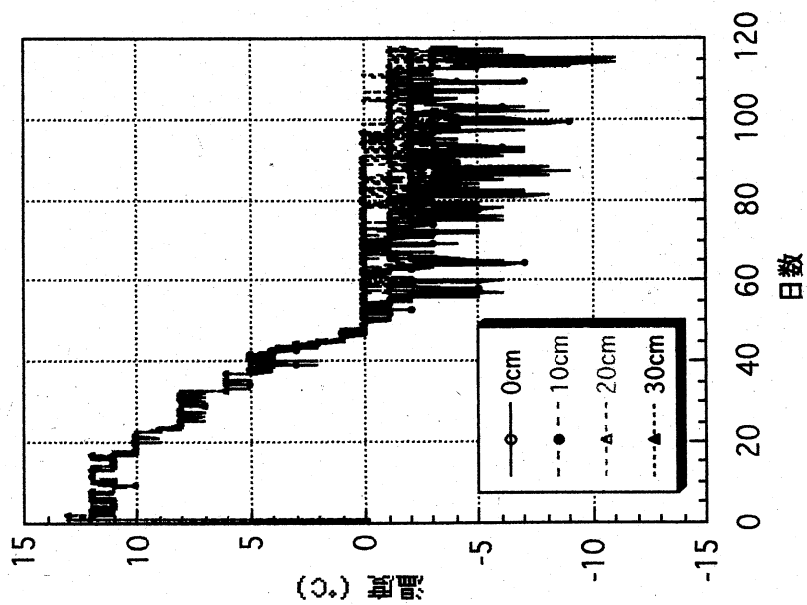


図4.6(a) HP60mm水温度の経時変化 (底から250cm)  
(平成10年10月4日から平成11年2月2日まで)

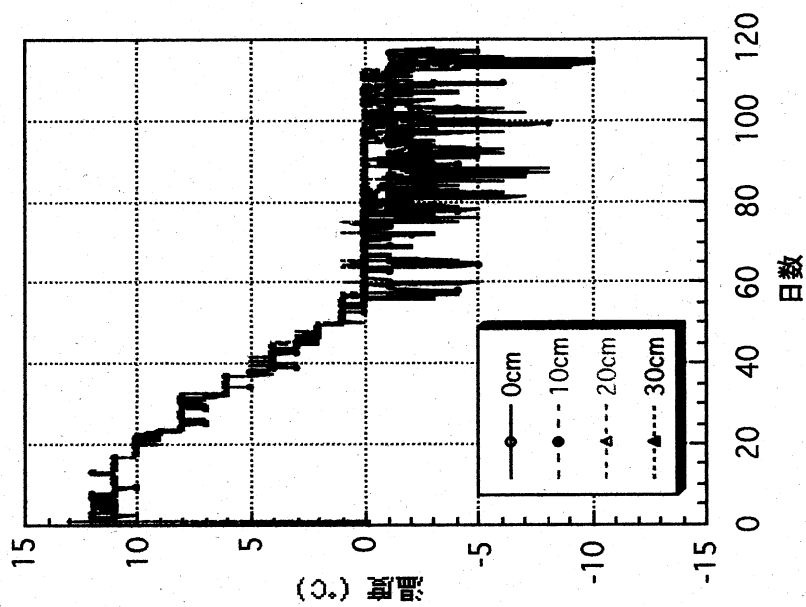


図4.6(b) HP60mm水温度の経時変化 (底から50cm)  
(平成10年10月4日から平成11年2月2日まで)

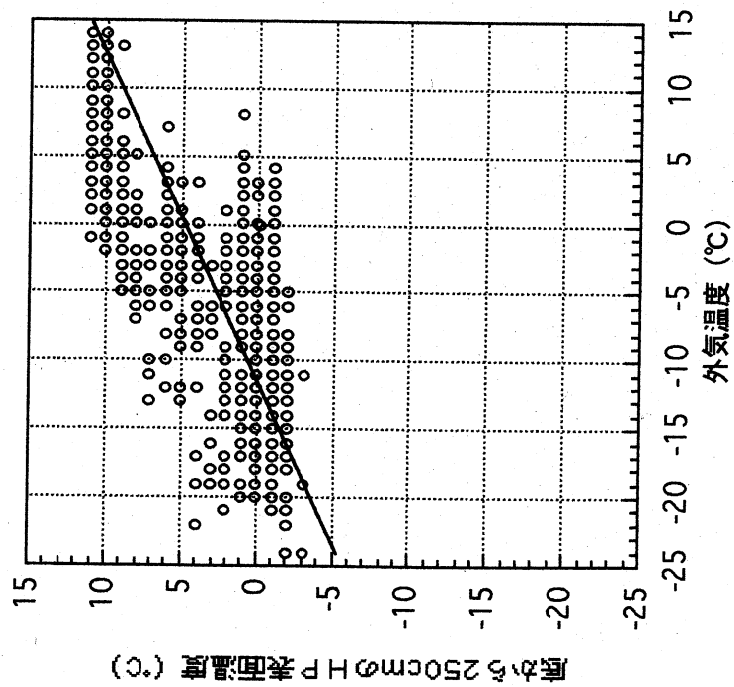


図4.7 表面温度と外気温度の関係 (HP46mmゲル)  
(平成10年10月4日から平成11年2月2日まで)

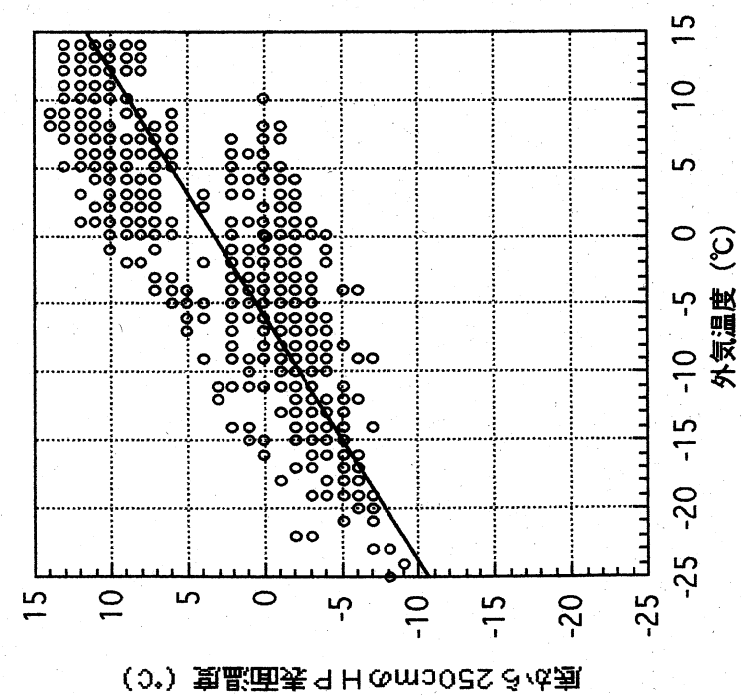


図4.8(a) H P 表面温度と外気温度の関係 (ゲル：底から50cm)  
(平成10年10月4日から平成11年2月2日まで)

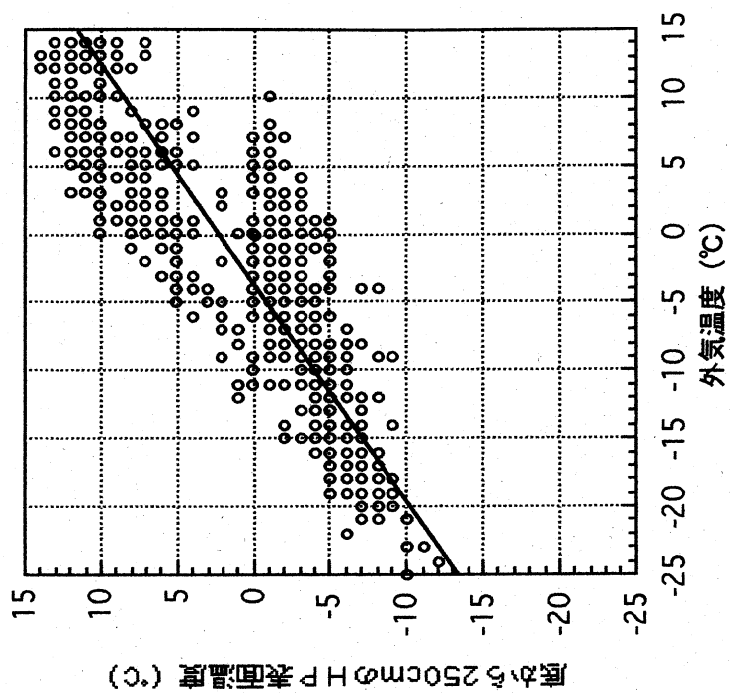
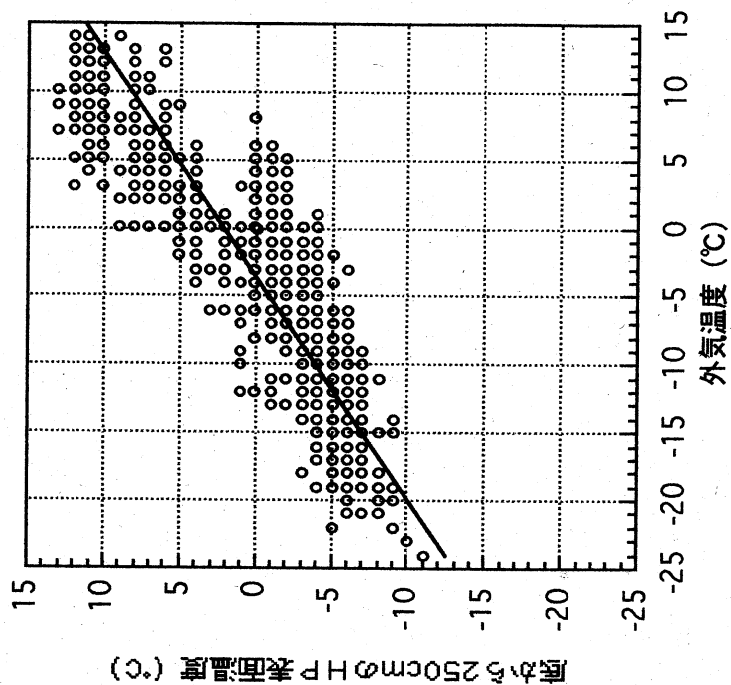
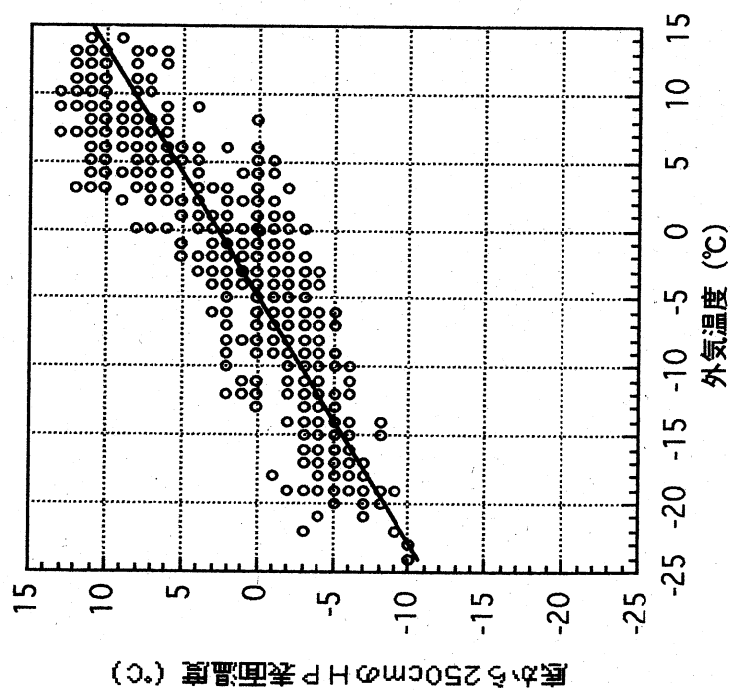


図4.8(b) H P 表面温度と外気温度の関係 (ゲル：底から250cm)  
(平成10年10月4日から平成11年2月2日まで)



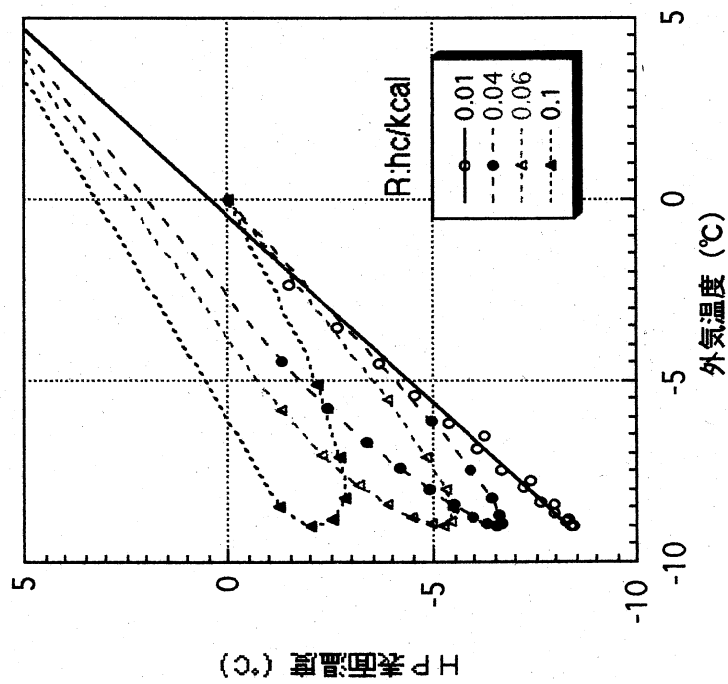


図4.10 HP表面温度と外気温度の関係 (解析値)

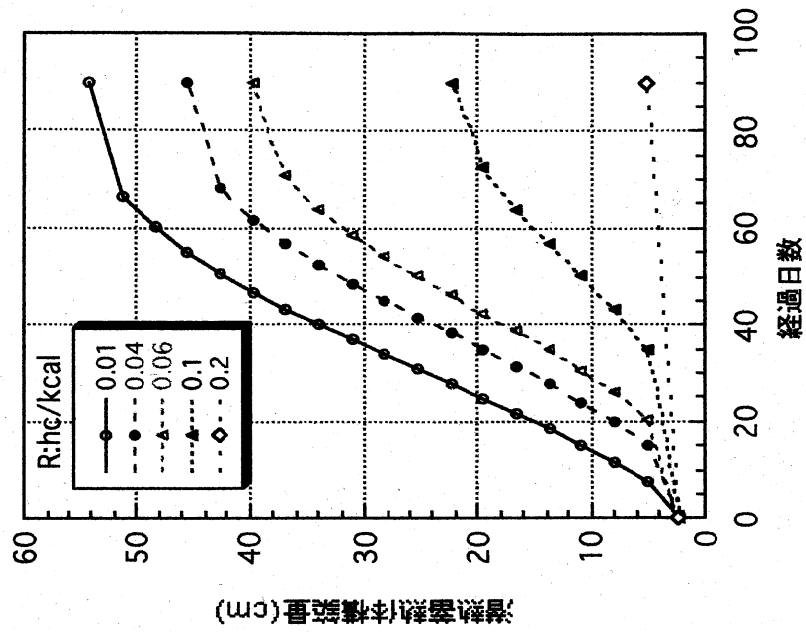


図4.11 潜熱蓄熱体に及ぼす熱抵抗の影響 (解析値)

### 第3章 潜熱蓄熱体として水を貯蔵空間中央に設置した低温貯蔵庫の 熱環境予測〈冬水システム・ルプシカ〉

清水建設技術研究所 了戒 公利

#### 目 次

1. 目的
2. 潜熱蓄熱体中央設置型貯蔵システムにおける温度環境予測解析
  2. 1 ヒートパイプ式低温貯蔵システム
    - (1) ヒートパイプ
    - (2) 潜熱蓄熱体中央設置型低温貯蔵施設
  2. 2 貯蔵庫内温度及び蓄熱体の融解予測解析
    - (1) 解析モデル
    - (2) 蓄熱槽表面冷却による場合の貯蔵庫内温度  $T_o$
    - (3) 蓄熱槽内からの強制冷却熱量  $q_c$  と必要蓄熱量  $Q$
3. 貯蔵庫内温度環境に及ぼす影響
  - 3.1 解析条件
  - 3.2 解析結果
4. まとめ

# 自然冷熱を利用した低温貯蔵庫<冬氷システム>

■ランニングコスト「ゼロ」を目指した施設を、事業計画からご提案いたします。

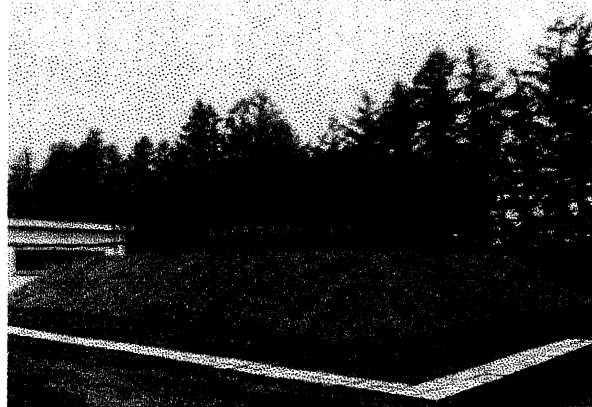
■北海道、東北、信越地方等の積雪寒冷地では、雪、寒さを、凍上害のように「害」として捉えています。

■寒さを、「益」として捉え、積極的に冬季の寒冷エネルギーを利用する技術をご提案いたします。

■寒冷エネルギーの利用には電気を一切使用しない「ヒートパイプ」を用います。

■必要に応じて、寒冷エネルギーとして外気を直接導入いたします。

■シミズは、環境保全型・資源循環型農業施設及びその施設を用いた事業をご提案いたします。



帯広畜産大学モデルプラント

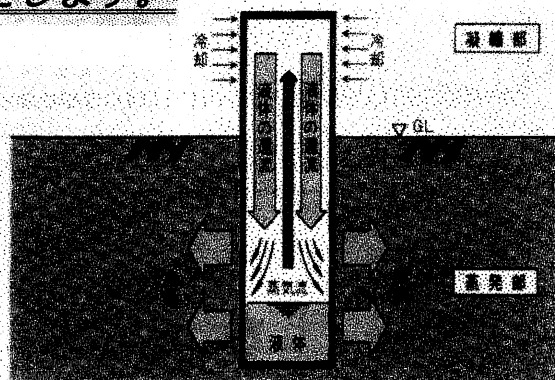
■冬氷システムは、農産物を高品質に保持いたします。

■貯蔵庫内を一定の低温度（0～10℃）、高湿度（85%前後）に保持できます。

■自然冷熱を利用して構築した冷熱源を用いるため、ランニングコストを1/10～1/8に低減できます。

■ヒートパイプは以下の特徴をもっています。

- 動力源を用いずに冷熱を輸送できます。
- 冷熱を銅の数百倍の速さで移動させます。
- 冬の寒さだけを冷熱蓄熱槽に移動させます。



ヒートパイプ 作動原理図

■冬氷システムは、ほとんどの積雪寒冷地で建設可能です。

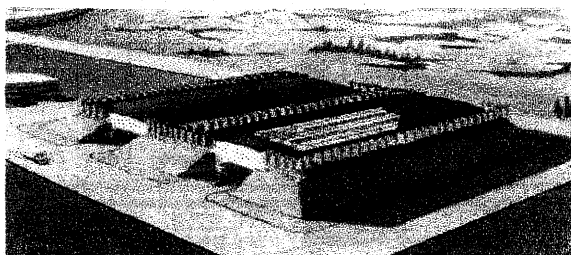
■寒さ

- 積算寒度200℃days以上（適地）
- 積算寒度100～200℃days（気象調査が必要）

■風速 1.0m/s以上

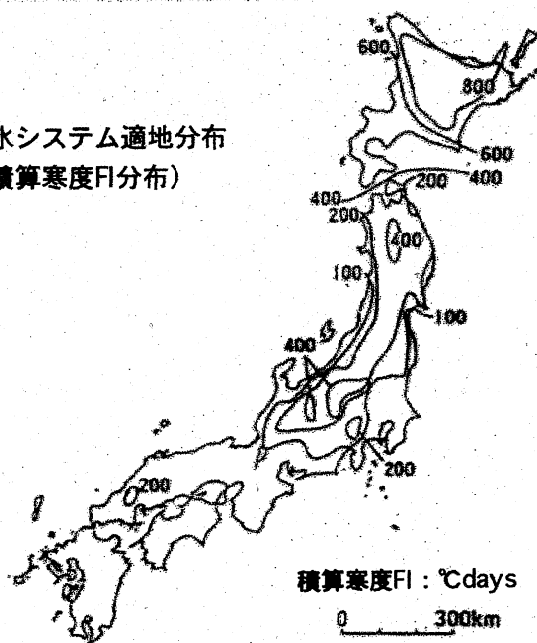
■農業生産地に近い地域が有利です。

■標高により九州まで建設可能です。



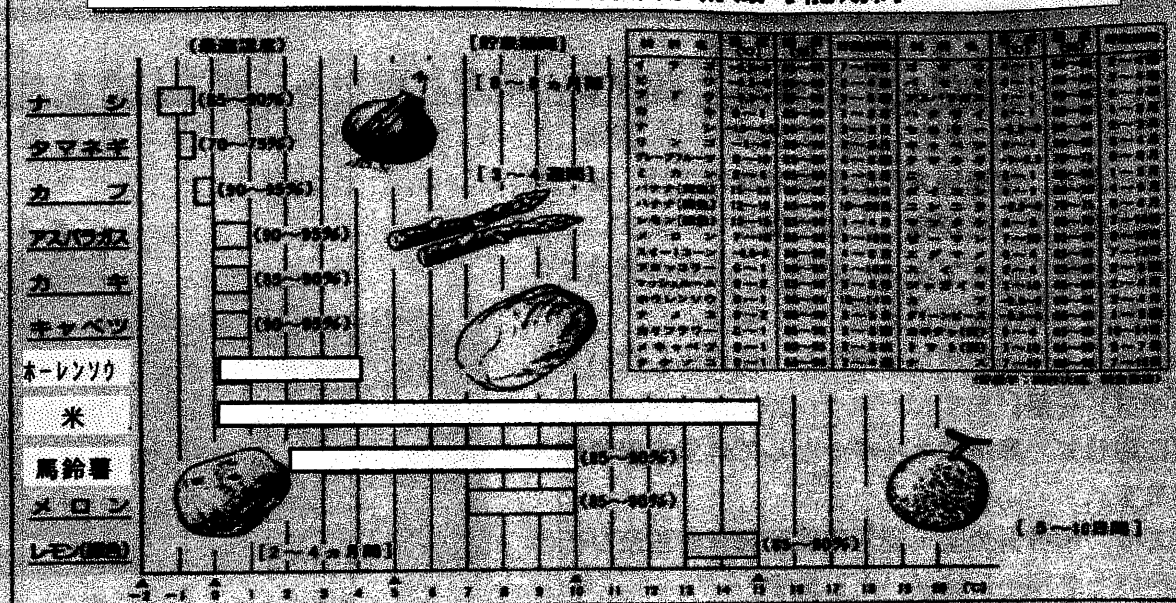
冬氷システムイメージ図

冬氷システム適地分布  
(積算寒度FI分布)

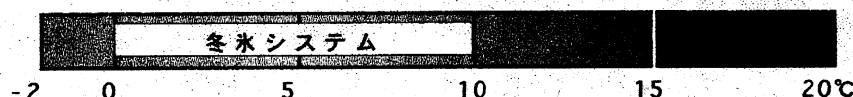


■冬氷システムは、米、馬鈴薯等に最適な温度・湿度環境を保持します。

### 青果物の最適貯蔵条件及び貯蔵可能期間



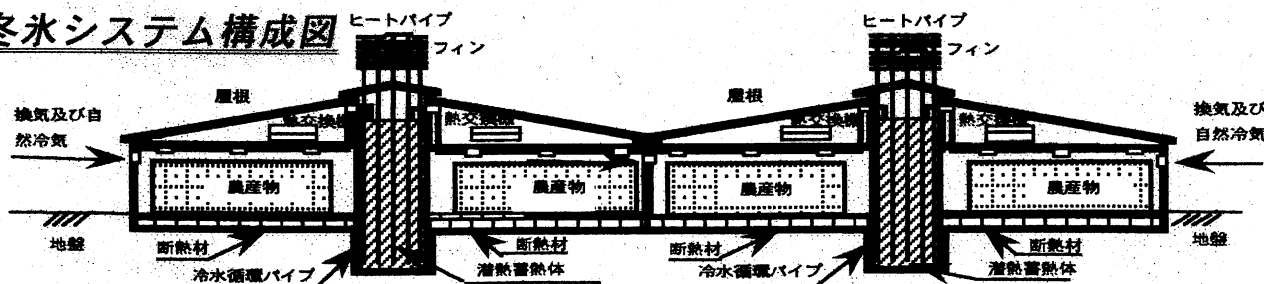
### 冬氷システム貯蔵温度帯



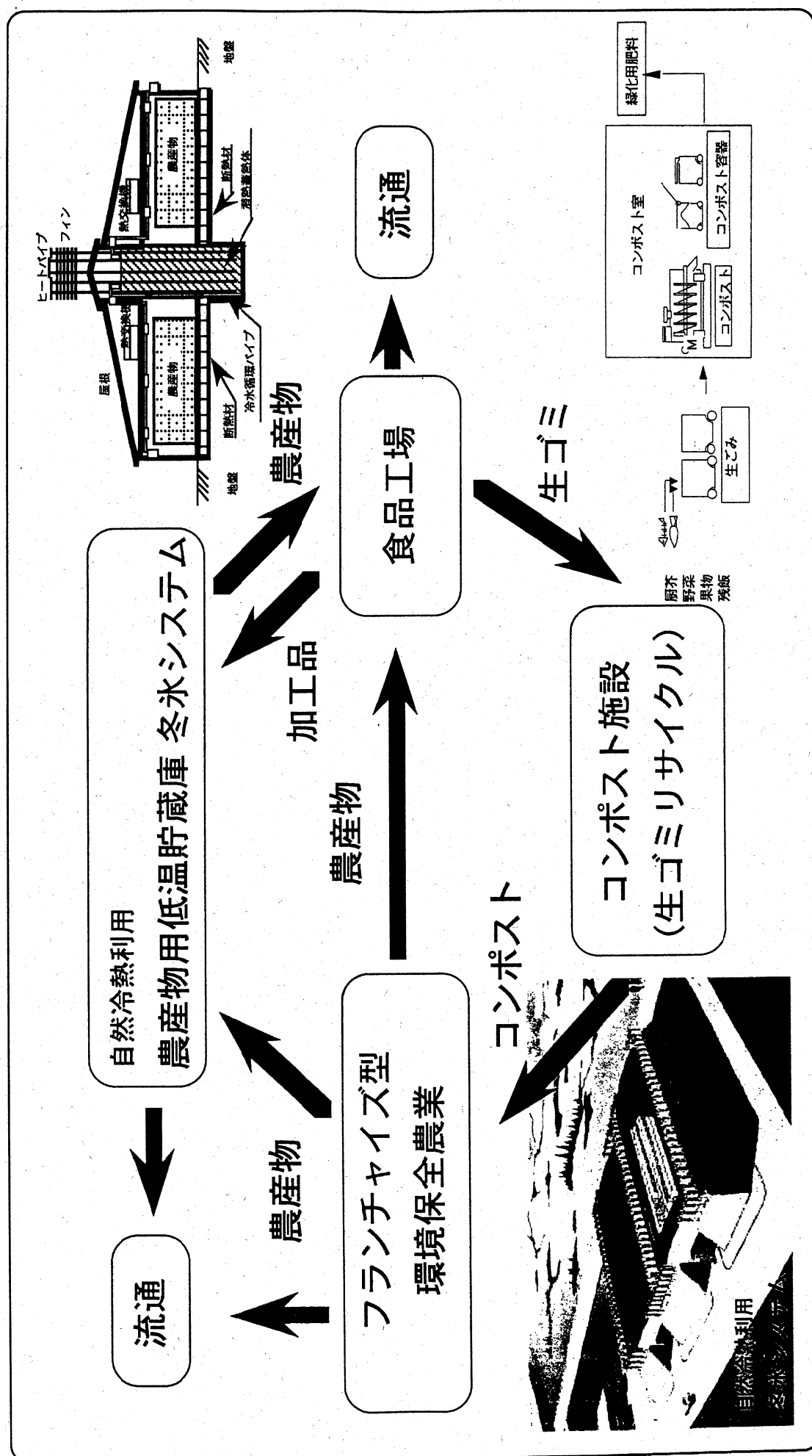
■冬氷システムは、「5年前後」で冷凍機式より経済的となります。

項目	貯蔵方式	冬氷システム	凍土システム	雪室 (氷室)	冷凍機式
構造略図		ヒートパイプ 	ヒートパイプ 		
保冷温度 (室内温度)		0~10℃ (85~95%)	0~10℃ (85~95%)	0~10℃ (85~95%)	任意 (任意)
構築期間		凍結指数200℃日 (直径80cmの蓄熱体) 以上	凍結指数200℃日 (直径80cmの蓄熱体) 以上	12月中旬以降の相当量の降雪後	任意
貯蔵可能品目		米、長イモ、ジャガイモ等の野菜類、根菜類、果実類	米、長イモ、ジャガイモ等の野菜類、根菜類、果実類 (米、長芋、ジャガイモで実積有り)	米、長イモ、ジャガイモ等の野菜類、根菜類、果実類 (米、長芋、ジャガイモで実積有り)	米、長イモ、ジャガイモ等の野菜類、根菜類、果実類
冷却方法		・ヒートパイプを利用して冬季の寒冷エネルギーで水を構築	・ヒートパイプを利用して冬季の寒冷エネルギーで凍土を構築	・雪あるいは氷を氷室に貯蔵	・冷凍機
建設費 (FI=400℃日) (ランニングコスト)		1.2 1/10~1/8	1.8 1/2	1.1~1.3 1/8	1 1
備考		・設置可能な地域が限定される ・積算寒度が2000℃日以上の地域 (北海道、東北、信越等)	・設置可能な地域が限定される ・積算寒度が2000℃日以上の地域 (北海道、東北、信州等) ・融解部が熱抵抗となり、有効冷熱が限定	・冬氷システムに比較して約2倍の蓄熱槽が必要 ・積雪量、外気温に左右される ・毎年雪の投入が必要 ・時期が12月中旬以降となる。	・ランニングコストがかかる。 ・設備の更新が約10年毎に必要な

### ■冬氷システム構成図



# 環境に優しいリサイクル型アグリビジネス



## 1.目的

潜熱蓄熱体としてゲルあるいは凍土を貯蔵空間周囲に設置した場合、融解した部分が熱抵抗となり、貯蔵空間を有効に冷却しなくなる。新しく、潜熱蓄熱体として、ゲルあるいは凍土の代わりに水を用いた。潜熱蓄熱体を貯蔵空間周囲に設置すると、潜熱蓄熱槽の建設コストが高くなる。そこで、潜熱蓄熱槽を集約させ、貯蔵空間中央に設置する事にした。

ここでは、潜熱蓄熱体を貯蔵空間中央に設置した場合、庫内温度環境と必要熱量等について検討した。

## 2. 冬氷貯蔵システムにおける温度環境予測解析

### 2. 1 ヒートパイプ式冬氷低温貯蔵システム

#### (1) ヒートパイプ

ヒートパイプ（図2. 1）は、十分脱気した容器中に封入した作動流体の相変化にともなって、熱移動が生じる伝熱容器である。つまり、容器の上部が寒気で冷却されると、容器内の蒸気が凝縮し液体となり、その管壁を伝わって液体が下方に移動する。その結果、冷熱が下部に運ばれる。そこで、加熱され液体の表面から蒸発が始まる。発生した蒸気は上部と下部との圧力差により上部へ移動する。このプロセスの繰り返しの繰り返しにより熱移動が自動的に行われ、地盤が凍土となる。

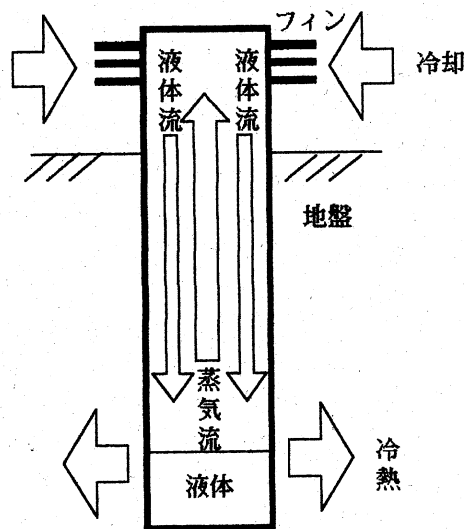


図2.1 ヒートパイプ

## (2) 冬氷低温貯蔵施設

冬氷低温貯蔵施設は、ヒートパイプを用いて冬期に氷を構築し、その氷で囲まれた領域を貯蔵空間とした構造物である（図2.2）。

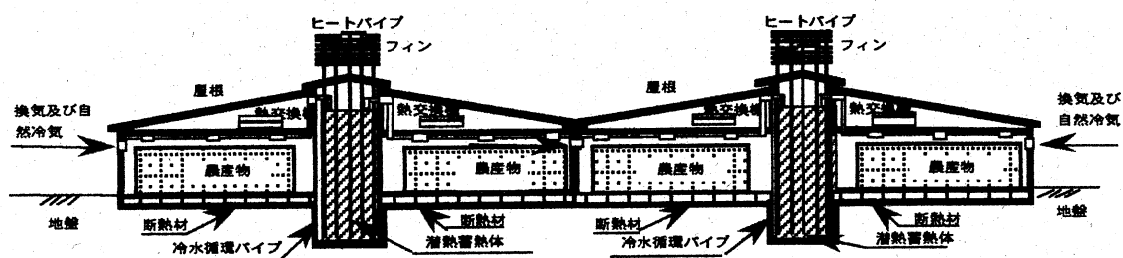


図2.2 潜熱蓄熱体中央部設置型 冬氷システム

## 2. 2 冬氷融解予測解析

### (1) 解析モデル

図 2. 3 に解析モデルを示す。

構築された氷は、貯蔵庫内発熱と貯蔵庫周囲からの入熱及び庫内冷却のための冷熱供給により融解していく。

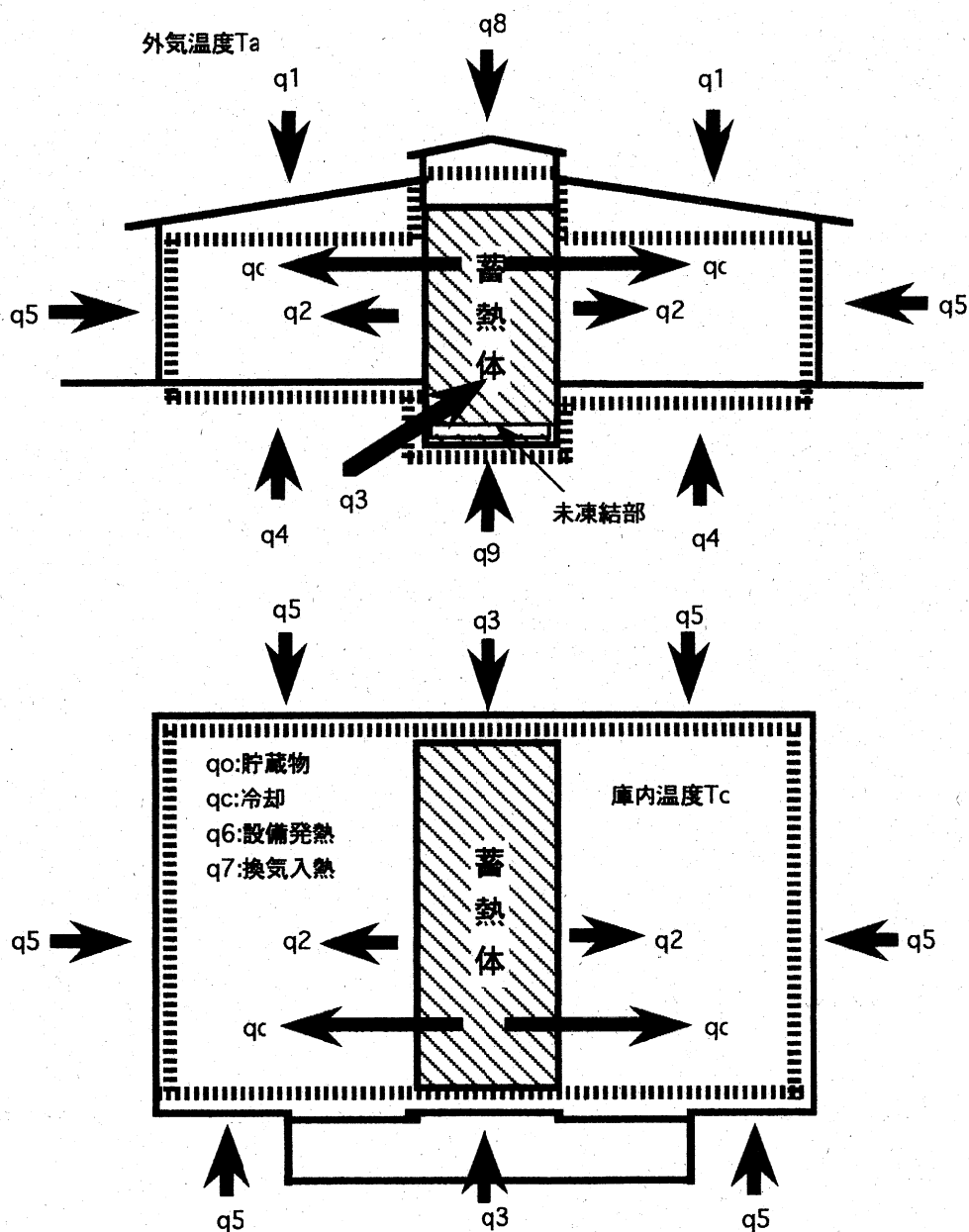


図 2. 3 潜熱蓄熱体中央設置型低温貯蔵施設 融解解析モデル図

(2) 蓄熱槽表面冷却による場合の貯蔵庫内温度  $T_o$   
 貯蔵庫内での熱流を以下のように定義する。

- $q_o$  : 貯蔵庫内の発熱量
- $q_1$  : 屋根から入る熱量
- $q_2$  : 貯蔵庫内蓄熱体壁面から入る熱量
- $q_4$  : 地盤からの貯蔵庫内に入る熱量
- $q_5$  : 外壁からの入熱
- $q_6$  : 貯蔵庫内の設備発熱
- $q_7$  : 換気、人による入熱

これらの間には以下の関係が成立する。

$$q_1 + q_4 + q_5 + q_6 + q_7 + q_o = q_2 \quad (2.1)$$

#### ■相当温度差法

太陽及び周囲環境からの放射による熱取得は、相当温度差法によると次式の関係がある。

$$\alpha_1(T_{sk} - T_a) = \epsilon i_p \quad (2.2)$$

ここに、 $T_{sk}$  は設計上の温度、 $T_a$  は外気温度である。上式から  $T_{sk}$  は

$$T_{sk} = T_a + \epsilon i_p / \alpha_1 \quad (2.3)$$

となる。よって、熱量  $q$  は、次式で与えられる。

$$\begin{aligned} q &= \kappa A(T_{sk} - T_o) \\ &= \kappa A(T_a + \epsilon i_p / \alpha_1 - T_o) \\ &= \kappa A(T_a - T_o) + \kappa A \epsilon i_p / \alpha_1 \\ &= q_{atm} + q_{sol} \end{aligned} \quad (2.4)$$

ここに、

$$q_{atm} = \kappa A(T_a - T_o)$$

$$q_{sol} = \kappa A \epsilon i_p / \alpha_1$$

#### ■屋根からの庫内への入熱 $q_1$

$q_1$  は、大気による伝達成分  $q_{1atm}$  と太陽光による放射成分  $q_{1sol}$  とに分けられる。

$$q_1 = q_{1atm} + q_{1sol} \quad (2.5)$$

ここに、

$$q_{1atm} = \kappa_1 A_1 (T_a - T_o) \quad (2.6)$$

$\kappa_1$  : 熱貫流率(kcal/m<sup>2</sup>hc)

$A_1$  : 屋根面積(m<sup>2</sup>)

Ta: 大気温度 (°C)

To: 貯蔵庫内温度 (°C)

$$q_{isol} = \kappa_1 A_1 \epsilon i_p / \alpha_2 \quad (2.7)$$

$\epsilon$ : 外屋根の放射率

$i_p$ : 日射量(kcal/m<sup>2</sup>h)

$\alpha_2$ : 屋根面の熱伝達率(kcal/m<sup>2</sup>hc)

なお, n 層で構成されている屋根の熱貫流率  $\kappa_1$  は次式で与えられる。

$$\frac{1}{\kappa_1} = \frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2} \quad (2.8)$$

ここに,  $\alpha_1$ : 内壁面の熱伝達率(kcal/m<sup>2</sup>hc)

$\alpha_2$ : 外壁面の熱伝達率(kcal/m<sup>2</sup>hc)

$\delta_i$ : 構成要素の厚さ (m)

$\lambda_i$ : 構成要素 i の熱伝導率(kcal/mhc)

■潜熱蓄熱体内壁面から庫内への入熱  $q_2$

$$q_2 = \kappa_2 A_2 (T_o - T_f) \quad (2.9)$$

ここに,  $A_2$  は蓄熱体内壁面の面積(m<sup>2</sup>)

なお,  $\kappa_2$  は次式で与えられる。

$$\frac{1}{\kappa_2} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{W_{LW}}{\lambda_L} \quad (2.10)$$

ここに,  $T_f$ : 潜熱蓄熱体の温度 (°C)

$W_{LW}$ : 潜熱蓄熱体内壁厚 (m)

$\lambda_L$ : 潜熱蓄熱体内壁面の熱伝導率(kcal/mhc)

■地盤から庫内への入熱  $q_4$

$$q_4 = \kappa_4 A_4 (T_{\infty} - T_o) \quad (2.11)$$

ここに, n 層で構成されている屋根の熱貫流率  $\kappa_4$  は次式で与えられる。

$$\frac{1}{\kappa_4} = \frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} \quad (2.12)$$

ここに,  $\alpha_1$ : 内壁面の熱伝達率(kcal/m<sup>2</sup>hc)

$\delta_i$ : 構成要素の厚さ (m)

$\lambda_i$ : 構成要素 i の熱伝導率(kcal/mhc)

■壁部から庫内への入熱  $q_5$

$q_5$  は、大気による伝達成分  $q_{5atm}$  と太陽光による放射成分  $q_{5sol}$  とに分けられる。

$$q_5 = q_{5atm} + q_{5sol} \quad (2.13)$$

ここに、

$$q_{5atm} = \kappa_5 A_5 (T_a - T_o) \quad (2.14)$$

$\kappa_5$  : 熱貫流率(kcal/m<sup>2</sup>hc)

$A_5$  : 壁部面積(m<sup>2</sup>)

$T_a$  : 大気温度 (°C)

$T_o$  : 貯蔵庫内温度 (°C)

$$q_{5sol} = \kappa_5 A_5 \epsilon i_p / \alpha_2 \quad (2.15)$$

$\epsilon$  : 外屋根の放射率

$i_p$  : 日射量(kcal/m<sup>2</sup>h)

$\alpha_2$  : 屋根面の熱伝達率(kcal/m<sup>2</sup>hc)

なお、 $n$  層で構成されている壁部の熱貫流率  $\kappa_5$  は次式で与えられる。

$$\frac{1}{\kappa_5} = \frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2} \quad (2.16)$$

ここに、 $\alpha_1$  : 内壁面の熱伝達率(kcal/m<sup>2</sup>hc)

$\delta_i$  : 構成要素の厚さ (m)

$\lambda_i$  : 構成要素  $i$  の熱伝導率(kcal/mhc)

■貯蔵庫内の温度  $T_o$

式(2.5),(2.9),(2.11),(2.13)を(2.1)に代入することにより、貯蔵庫内の温度  $T_o$  は次式で与えられる。

$$T_o = \frac{(\kappa_1 A_1 + \kappa_5 A_5) T_a + \kappa_2 A_2 T_f + \kappa_4 A_4 T_\infty + q_{1sol} + q_{5sol} + q_o + q_6 + q_7}{\kappa_1 A_1 + \kappa_2 A_2 + \kappa_4 A_4 + \kappa_5 A_5} \quad (2.17)$$

なお、 $q_o$  : 貯蔵物の発熱量

$q_6$  : 設備の発熱量

$q_7$  : 換気・人等の入熱量

(3) 蓄熱槽内からの強制冷却熱量  $q_c$  と必要蓄熱量

■蓄熱槽内からの強制冷却熱量  $q_c$

貯蔵庫内温度  $T_o$  が設定温度  $T_r$  以上になったときの蓄熱槽からの冷却熱量  $q_c$  は次式で与えられる。

$$q_c = q_o + q_1 + q_4 + q_5 + q_6 + q_7 - q_2 \quad (2.18)$$

■必要蓄熱量  $Q$

冬季に貯蔵すべき必要熱量  $Q$  は次式で与えられる。

$$Q = q_c + q_2 + q_3 + q_8 + q_9 \quad (2.19)$$

なお、 $q_3, q_8, q_9$  は以下のように求めることができる。

■貯蔵庫側部蓄熱体面から蓄熱槽への入熱  $q_3$

$q_3$  は、大気による伝達成分  $q_{3atm}$  と太陽光による放射成分  $q_{3sol}$  とに分けられる。

$$q_3 = q_{3atm} + q_{3sol} \quad (2.20)$$

ここに、

$$q_{3atm} = \kappa_3 A_3 (T_a - T_f) \quad (2.21)$$

$\kappa_3$  : 熱貫流率 (kcal/m<sup>2</sup>hc)

$A_3$  : 屋根面積 (m<sup>2</sup>)

$T_a$  : 大気温度 (°C)

$T_o$  : 貯蔵庫内温度 (°C)

$$q_{3sol} = \kappa_3 A_3 \epsilon_i / a_2 \quad (2.22)$$

$\epsilon$  : 外屋根の放射率

$i_p$  : 日射量 (kcal/m<sup>2</sup>h)

$a_2$  : 壁外面の熱伝達率 (kcal/m<sup>2</sup>hc)

なお、 $n$  層で構成されている屋根の熱貫流率  $\kappa_3$  は次式で与えられる。

$$\frac{1}{\kappa_3} = \frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2} \quad (2.23)$$

ここに、 $\alpha_1$  : 内壁面の熱伝達率 (kcal/m<sup>2</sup>hc)

$\delta_i$  : 構成要素の厚さ (m)

$\lambda_i$  : 構成要素  $i$  の熱伝導率 (kcal/mhc)

■屋根からの蓄熱槽への入熱  $q_8$

$q_8$  は、大気による伝達成分  $q_{8atm}$  と太陽光による放射成分  $q_{8sol}$  とに分けられる。

$$q_8 = q_{8atm} + q_{8sol} \quad (2.24)$$

ここに、

$$q_{8atm} = \kappa_8 A_8 (T_a - T_f) \quad (2.25)$$

$\kappa_8$  : 熱貫流率 (kcal/m<sup>2</sup>hc)

$A_8$  : 屋根面積 (m<sup>2</sup>)

$T_a$  : 大気温度 (°C)

$T_f$  : 蓄熱槽温度 (°C)

$$q_{8sol} = \kappa_8 A_8 \varepsilon i_p / \alpha_2 \quad (2.26)$$

$\varepsilon$  : 外屋根の放射率

$i_p$  : 日射量 (kcal/m<sup>2</sup>h)

$\alpha_2$  : 屋根面の熱伝達率 (kcal/m<sup>2</sup>hc)

なお、 $n$  層で構成されている屋根の熱貫流率  $\kappa_8$  は次式で与えられる。

$$\frac{1}{\kappa_1} = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2} \quad (2.27)$$

ここに、 $\alpha_2$  : 外壁面の熱伝達率 (kcal/m<sup>2</sup>hc)

$\delta_i$  : 構成要素の厚さ (m)

$\lambda_i$  : 構成要素  $i$  の熱伝導率 (kcal/mhc)

■地盤から蓄熱槽への入熱  $q_9$

$$q_9 = \kappa_9 A_9 (T_{\infty} - T_f) \quad (2.28)$$

ここに、 $n$  層で構成されている屋根の熱貫流率  $\kappa_4$  は次式で与えられる。

$$\frac{1}{\kappa_9} = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2} \quad (2.29)$$

ここに、 $\alpha_2$  : 外壁面の熱伝達率 (kcal/m<sup>2</sup>hc)

$\delta_i$  : 構成要素の厚さ (m)

$\lambda_i$  : 構成要素  $i$  の熱伝導率 (kcal/mhc)

### 3. 貯蔵庫内温度環境に及ぼす影響

#### 3.1 解析条件

表 3.1 に貯蔵空間の形状と貯蔵物容量を示す。解析は貯蔵庫が左右対称であるので、1/2 棟分で解析する。貯蔵施設の床面積約 1 0 0 0 m<sup>2</sup> とした。潜熱蓄熱体として貯蔵空間の中央に高さ 1 0 m で設置するとした。

表 3.2 に各部材の熱定数を示す。屋根部からの進入熱がもっとも大きいので、厚さを 1 5 cm とした。

表 3.3 に解析対象地域として選択した、大町市と帯広市の気象条件を示す。

表 3.4 に進入熱量と設備などの発熱条件を示す。貯蔵物の発熱量として 2 条件とした。これは発熱量の多いジャガイモと発熱量の少ない米を対象としている。なお、潜熱蓄熱体の融解時期は 3 月から 1 1 月までとした。

表 3.1 貯蔵空間の形状及び貯蔵物容量 (1/2 棟)

貯蔵施設	幅	W	21 m
	奥行	L	26.0 m
	軒高さ	H	8 m
貯蔵空間	幅	SW	20 m
	奥行	SL	25 m
	高さ	SH	7 m
蓄熱体部	幅	LW	— m
	奥行	LL	25 m
	高さ	LH	11 m
+	地下部	LG	3 m
	未凍結部	LUH	0.5 m
	腰壁高	LWH	1 m
	屋根高	LRH	11 m

表 3.2 各部材の熱定数表

断熱材	屋根部	WRI	0.15 m
	壁部	WWI	0.10 m
	底部	WBI	0.10 m
	蓄熱上	WLTi	0.20 m
	蓄熱下	WLBI	0.15 m
	蓄熱横	WLWI	0.2 m
底部コンクリート		WBC	0.30 m
蓄熱体壁厚		WLH	0.005 m
熱伝導率	断熱材	$\lambda_i$	0.030 kcal/mhc
	コンク	$\lambda_c$	1.2 kcal/mhc
	地盤	$\lambda_g$	1 kcal/mhc
	水	$\lambda_w$	0.5 kcal/mhc
	蓄熱槽	$\lambda_L$	5 kcal/mhc
比熱	水	cw	1 kcal/kgc
	貯蔵物	cs	0.87 kcal/kgc
密度	水	$\rho_w$	1000 kg/m <sup>3</sup>
	貯蔵物	$\rho_s$	400 kg/m <sup>3</sup>
潜熱		Lw	79500 kcal/m <sup>3</sup>

表 3.3 気象条件

月	大町		帯広	
	外気温度	日射量	外気温度	日射量
	Ta ℃	ip kcal/m <sup>2</sup> /h	Ta ℃	ip kcal/m <sup>2</sup> /h
3	3.0	765.4	3.4	696.6
4	10.4	739.6	7.9	688.0
5	15.6	731.0	11.4	679.4
6	19.3	713.8	15.3	791.2
7	23.1	696.6	17.8	705.2
8	24.1	688.0	15.2	705.2
9	19.3	713.8	9.8	713.8
10	12.3	731.0	3.7	653.6
11	6.8	713.8	-2.0	636.4

表 3.4 進入熱量と温度条件

農産物発熱量	q'0	0.0005 kcal/h/kg
		0.010 kcal/h/kg
機器発熱量	q'6	5000 kcal/h
換気入熱	q'7	2000 kcal/回
貯蔵庫内設定温度	Tc	5 ℃
地盤温度	Tg	8 ℃
蓄熱体温度	Tf	1 ℃
恒温深度	Zc	5 m
解析開始月		3 月
解析終了月		11 月

### 3.2 解析結果

#### (1) 大町市に低温貯蔵施設を設置した場合

図3.1に貯蔵物を一定の割合で出庫した場合の融解解析例を示す。

図3.1 冬氷システム 低温貯蔵庫融解解析 (潜熱蓄熱体中央設置型)

										(1/2棟で設計)									
貯蔵庫幅	W	20.5 m	断熱材 屋根部	WRI	0.15 m	農産物発熱量	q'0	0.010 kcal/h/kg											
奥行	L	26.0 m	壁部	WWI	0.10 m	機器発熱量	q'6	5000 kcal/h											
軒高さ	H	8.0 m	底部	WBI	0.10 m	換気入熱	q'7	2000 kcal/回											
貯蔵庫幅	SW	20.0 m	蓄熱上	WLTi	0.20 m	貯蔵庫内設定温度	Tc	5℃											
奥行	SL	25.0 m	蓄熱下	WLBI	0.15 m	地盤温度	Tg	8℃											
高さ	SH	7.0 m	蓄熱機	WLWI	0.2 m	蓄熱体温度	Tf	1℃											
蓄熱体幅	LW	3.0 m	底部コンクリート	WBC	0.30 m	恒温深度	Zc	5 m											
奥行	LL	25.0 m	蓄熱体断熱厚	WLH	0.005 m														
高さ	LH	11.0 m																	
地下部	LG	3.0 m	熱伝導率 断熱材	$\lambda_i$	0.030 kcal/mhc														
+ 未凍結音	LUH	0.5 m	コンク	$\lambda_c$	1.2 kcal/mhc	熱伝導率 室内	$\alpha_i$	8 kcal/m2hc											
壁高	LWH	0.5 m	地盤	$\lambda_g$	1 kcal/mhc	室外	$\alpha_o$	20 kcal/m2hc											
屋根高	LRH	11.0 m	水	$\lambda_w$	0.5 kcal/mhc	蓄熱面	$\alpha_{c0}$	10 kcal/m2hc											
			蓄熱機	$\lambda_L$	5 kcal/mhc														
			比熱 水	cw	1 kcal/kgc														
貯蔵係数		0.4	貯蔵物	cs	0.87 kcal/kgc	放射率 屋根	$\varepsilon_r$	0.5											
解析開始月		3月	密度 水	$\rho_w$	1000 kg/m3	壁	$\varepsilon_w$	0.3											
解析終了月		11月	貯蔵物	$\rho_s$	400 kg/m3	蓄熱率	RL	0.9											
総床面積		611 m2	潜熱	Lw	79500 kcal/m3														
貯蔵面積		500 m2	蓄熱体体積	VI	825 m3														
蓄熱体面積		75 m2	貯蔵物容量		560 ton														
			総蓄熱量		59 Gcal														
			必要蓄熱量		52 Gcal														

#### < 解析結果 >

HPピッチ 0.8																						
月	外気温度 Ta ℃	日射量 Ip kcal/m2h	庫内温度 To ℃	冷却 qc Mcal/d	屋根 q1 Mcal/d	蓄熱壁 冷却q2 Mcal/d	蓄熱外面 q3 Mcal/d	床 q4 Mcal/d	壁 q5 Mcal/d	設備発熱 q6 Mcal/d	換気 q7 Mcal/d	貯蔵物 q0 Mcal/d	蓄熱体上 q8 Mcal/d	蓄熱体下 q9 Mcal/d	蓄熱体 合計Qc Mcal/d	設備 時間 /日	換気 回数 /日	貯蔵 日数	日熱 伝達 率	熱 利用 効率	冷熱 率%	
3	3.4	697	5.00	69.1	17.6	123.8	1.3	4.4	13.3	19.2	4.0	134.4	6.1	2.8	203	3.8	2.0	1.0	12	0.8	11	
4	7.9	688	5.00	68.8	30.2	123.8	2.1	4.4	31.1	15.4	4.0	107.5	8.9	2.8	206	3.1	2.0	0.8	13	0.8	21	
5	11.4	679	5.00	66.3	40.3	123.8	2.8	4.4	45.3	11.5	8.0	80.6	11.1	2.8	207	2.3	4.0	0.6	14	0.8	32	
6	15.3	791	5.00	75.0	56.0	123.8	3.7	4.4	65.0	7.7	12.0	53.8	14.6	2.8	220	1.5	6.0	0.4	15	0.8	43	
7	17.8	705	5.00	69.3	57.1	123.8	3.9	4.4	69.6	5.8	16.0	40.3	14.8	2.8	215	1.2	8.0	0.3	14	0.8	54	
8	15.2	705	5.00	30.5	48.8	123.8	3.4	4.4	58.4	3.8	12.0	26.9	13.0	2.8	174	0.8	6.0	0.2	13	0.8	64	
9	9.8	714	5.00	5.4	33.9	93.0	2.4	4.4	37.2	1.4	8.0	13.4	9.7	2.8	113	0.3	4.0	0.1	12	0.6	69	
10	3.7	654	5.00	65.2	15.3	123.8	1.2	4.4	11.7	19.2	4.0	134.4	5.6	2.8	199	3.8	2.0	1.0	11	0.8	80	
11	-2	636	5.00	26.2	-0.9	123.8	0.2	4.4	-11.1	19.2	4.0	134.4	2.0	2.8	155	3.8	2.0	1.0	10	0.8	88	
総蓄熱量 (Gcal)				14.6	9.1	33.1	0.6	1.2	9.8	3.2	2.2	22.2	2.6	0.8	52	蓄熱面						
比率 (%)				28.2	17.6	64.0	1.2	2.3	19.0	6.1	4.3	42.9	5.1	1.5	100	熱伝達率 = αc0*熱伝達効率						
総蓄熱量				59 Gcal																		
必要蓄熱量				52 Gcal																		

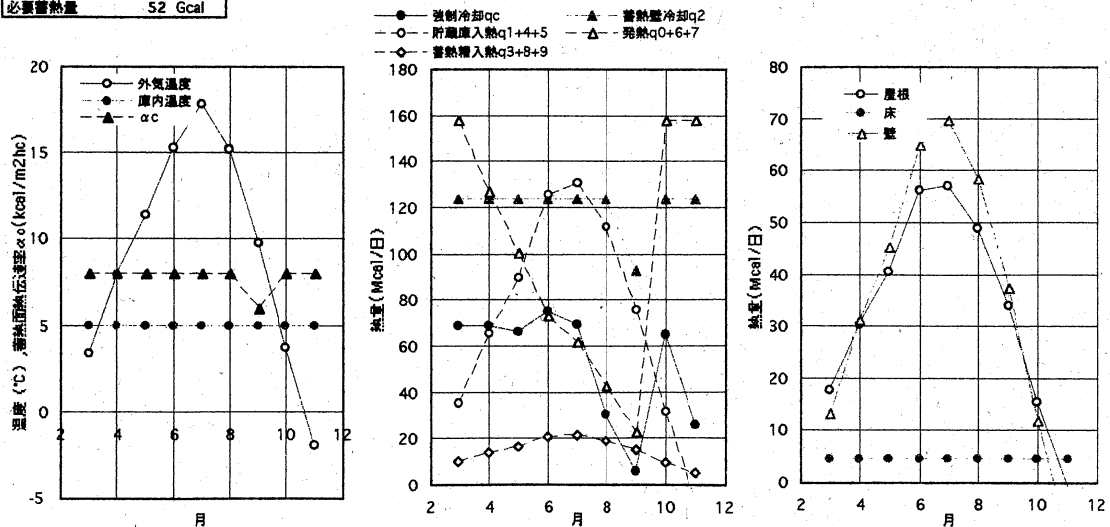


図 3.2 (a),(b)に大町市において貯蔵物を定期的に出庫した場合の温度、潜熱蓄熱体融解量、各熱量の経時変化を示す。(a)は貯蔵物の発熱量が 0.01kcal/h/kg (b)は発熱量が 0.0005kcal/h/kg の場合である。図 3.3 は貯蔵物を長期に 100%貯蔵した場合である。

表 3.5 に示すように、米などの発熱量が少ない場合、潜熱蓄熱体の必要熱量に占める値（蓄熱体寄与率）は 70%以上となるが、ジャガイモ等の発熱量が大きい場合は 40～50%である。

図 3.4 は冷凍機を用いない場合である。発熱量が多い貯蔵物を定期的に出庫した場合夏期に 18℃まで温度が上昇する。一方、発熱量が少ない貯蔵物の場合、温度は 13℃程度の上昇で収まる。潜熱蓄熱体の厚さは、前者の場合で 1.4m、後者の場合で 1.3m 必要となる。

図 3.5 (a),(b)に帯広市において貯蔵物を定期的に出庫した場合の温度、潜熱蓄熱体融解量、各熱量の経時変化を示す。(a)は貯蔵物の発熱量が 0.01kcal/h/kg (b)は発熱量が 0.0005kcal/h/kg の場合である。図 3.6 は貯蔵物を長期に 100%貯蔵した場合である。

表 3.5 に示すように、米などの発熱量が少ない場合、潜熱蓄熱体の必要熱量に占める値（蓄熱体寄与率）は大町市と同様に 70%以上となるが、ジャガイモ等の発熱量が大きい場合は 40～50%である。必要蓄熱量は大町市に比較して、10～15%少なくてよい。

図 3.7 は冷凍機を用いない場合である。発熱量が多い貯蔵物を定期的に出庫した場合夏期に 17℃まで温度が上昇する。一方、発熱量が少ない貯蔵物の場合、温度は 11℃程度の上昇で収まる。潜熱蓄熱体の厚さは、前者の場合で 1.3m、後者の場合で 1.1m 必要となる。

表3.5 潜熱蓄熱体寄与率

都市名	貯蔵方式	冷凍機	貯蔵物発熱 kcal/h/kg	蓄熱体寄与率 %	蓄熱体 Gcal	全体蓄熱量 Gcal	蓄熱体厚 m
大町	漸減	有	0.01	52	74	141	1.2
	漸減	有	0.0005	72	74	102	1.2
	長期	有	0.01	41	74	178	1.2
	長期	有	0.0005	71	74	103	1.2
	漸減	無	0.01	100	89	89	1.4
	長期	無	0.0005	100	83	83	1.4
帯広	漸減	有	0.01	50	65	129	1.2
	漸減	有	0.0005	77	64	83	1.2
	長期	有	0.01	40	65	161	1.2
	長期	有	0.0005	75	64	85	1.2
	漸減	無	0.01	100	81	81	1.4
	長期	無	0.0005	100	71	71	1.2

#### 4. まとめ

潜熱蓄熱体を農産物貯蔵空間の周囲に設置した場合の貯蔵庫内の温度及び蓄熱体の融解量を予測解析を提案した。その解析手法を用いて、貯蔵庫を長野県大町市と他軌道帯広市に設置し、貯蔵物として、馬鈴薯等の発熱量が多い場合と米などの発熱量が少ない場合について検討した。さらに、貯蔵物を通年貯蔵した場合と10月に入庫させ、9月に出庫する場合についても解析した。その結果、以下のことが明らかとなった。

なお、貯蔵庫の面積は約1000m<sup>2</sup>、潜熱蓄熱体の高さは7mとした。

##### ■大町市の場合

1) 米などの発熱量が少ない場合、潜熱蓄熱体の必要熱量に占める値（蓄熱体寄与率）は70%以上となるが、ジャガイモ等の発熱量が大きい場合は40～50%である。

2) 必要とする潜熱蓄熱量は74Gcalで貯蔵物の発熱量や貯蔵物の貯蔵量に依存しない。これは、融解部が熱抵抗となり、1.2m以上の潜熱蓄熱体を構築しても有効に利用できないことを示唆している。

3) 冷凍機を用いずに、発熱量が多い貯蔵物を定期的に出庫した場合夏期に18℃まで温度が上昇する。一方、発熱量が少ない貯蔵物の場合、温度は13℃程度の上昇で収まる。潜熱蓄熱体の厚さは、前者の場合で1.4m、後者の場合で1.3m必要となる。

##### ■帯広市の場合

1) 米などの発熱量が少ない場合、潜熱蓄熱体の必要熱量に占める値（蓄熱体寄与率）は大町市と同様に70%以上となるが、ジャガイモ等の発熱量が大きい場合は40～50%である。必要蓄熱量は大町市に比較して、10～15%少なくてよい。

2) 必要とする潜熱蓄熱量は65Gcalで貯蔵物の発熱量や貯蔵物の貯蔵量に依存しない。大町市に比較してこれは、14%程度潜熱蓄熱体が少なくてよい。

大町市の場合と同様に、融解部が熱抵抗となり、1.0m以上の潜熱蓄熱体を構築しても有効に利用できないことを示唆している。

3) 冷凍機を用いずに、発熱量が多い貯蔵物を定期的に出庫した場合夏期に17℃まで温度が上昇する。一方、発熱量が少ない貯蔵物の場合、温度は11℃程度の上昇で収まる。潜熱蓄熱体の厚さは、前者の場合で1.3m、後者の場合で1.1m必要となる。

## 第4章 ヒートパイプ低温貯蔵庫を利用した野菜の貯蔵

帯広畜産大学 石橋 憲一

### 目 次

1. 研究目的
2. 実験材料と方法
  - 1) 試 料
  - 2) 貯蔵方法
3. 結果と考察
  - 1) 貯蔵庫内温、湿度および品温
  - 2) 目減り
  - 3) 含水率
  - 4) バレイショのデンプンおよびビタミンC
  - 5) 糖含量
  - 6) 馬鈴薯のインベルターゼ活性と還元糖の関係
  - 7) ナガイモの粘弾性
4. 結 論

## 第5章 ヒートパイプ低温貯蔵庫によるリンゴの長期貯蔵

帯広畜産大学 石橋 憲一

### 目 次

1. 研究目的
2. 実験方法
3. 実験結果および考察
4. 引用文献

## 第4章 ヒートパイプ低温貯蔵庫を利用した野菜の貯蔵

帯広畜産大学 石橋 憲一

### 1. 研究目的

馬鈴薯およびナガイモは十勝の代表的な作物であり、その生産量は全国の40%、10%をそれぞれ占めている<sup>1)</sup>。馬鈴薯はその用途によって、生食用、デンプン原料用、加工用に分類されるが、加工用馬鈴薯は翌年の3月あるいは4月位まで貯蔵されている。また、ナガイモは馬鈴薯よりも長期にわたって冷蔵されており、貯蔵コストの増減が販売価格を左右することになる。

近年、北海道の冬季の寒冷気候を利用した農産物貯蔵庫の開発が進められている<sup>2,3,4)</sup>。これらの中で、省エネルギーでランニングコストが殆どかからないヒートパイプを利用した人工永久凍土低温貯蔵庫を用いて、馬鈴薯およびナガイモの貯蔵性について検討した。

### 2. 実験材料と方法

#### 1) 試料

帯広市川西地区で収穫された加工用馬鈴薯（トヨシロ、農林1号）とナガイモ（川西混合種）を試料として用いた。

#### 2) 貯蔵方法

収穫後の馬鈴薯をコンテナ（35×50×30cm）に約25kgずつ入れ、品種ごとに各3個のコンテナを用意した。この馬鈴薯を約15℃、90%以上の湿度で2週間風乾処理（キュアリング）後、約1℃、湿度90%前後の人工永久凍土低温貯蔵庫で4カ月前後貯蔵した。また、低温貯蔵によって増加した還元糖を減少させるために、貯蔵後112日目から約16℃、湿度90%程度で2週間通風貯蔵するリコンディショニング処理を施した。

ナガイモの場合、農協が使用しているコンテナ（30×60×30cm）内に厚さ0.1mmの高密度ポリエチレンフィルムを敷き、底部に厚さ2.0mmの高圧発泡ポリエチレン製マットを敷いた上に、0.1mmの高密度ポリエチレンフィルムにナガイモを約25kg詰め、フィルムを折り込んだものを3箱用いて、約1℃、湿度90%前後の人工永久凍土低温貯蔵庫で約3カ月間低温貯蔵した。

#### 3) 品質測定項目および方法

経時的に貯蔵中の試料を採取し、次の項目について測定した。

a) 目減り：それぞれの試料を入れたコンテナの中から1個を目減り測定用とし、貯蔵中の重量を測定して初期重量に対する重量損失率を求め、目減り(%)とした。

b) 含水率(% , w. b.) : AOAC 総固形分定量法に従った<sup>5)</sup>。

c) 糖含量 (%) : 高速液体クロマトグラフ (HPLC) を用いて、試料より抽出した糖 (シュクロース、グルコース、フラクトース) を分析した<sup>6)</sup>。

d) デンプン : 馬鈴薯の空中重と水中重より比重を求め、次の (1) 式からライマン価を、(2) 式よりデンプン含量を算出した<sup>7)</sup>。

$$\text{ライマン価} = 214.5 (\text{比重} - 1.05) + 7.5 \quad (1)$$

$$\text{デンプン含量 (\%)} = \text{ライマン価} \times 0.99 \quad (2)$$

e) インベルターゼ活性 : シュクロースの加水分解反応で生成したグルコース量をソモギー・ネルソン法で定量し、活性を求めた<sup>8)</sup>。

f) ビタミン C (mg%) : インドフェノール・ブタノール滴定法を用いた<sup>9)</sup>。

g) 粘性および弾性係数 : ねじり振動式粘弾性測定装置を使用して、ナガイモすりおろし液の粘性、弾性係数を測定した<sup>10)</sup>。

### 3. 結果と考察

#### 1) 貯蔵庫内温、湿度および品温

10月～1月にかけての貯蔵庫内中央部の温、湿度は 1.4～-0.3℃、80.9～88.3%であった。また、この間の各試料の品温は 1.7℃から-0.2℃へと徐々に低下している。

#### 2) 目減り

馬鈴薯2品種 (トヨシロと農林1号) とナガイモの目減りを図1に示す。馬鈴薯では、品種の違いによる有意差は認められなかった。しかし、トヨシロの貯蔵後期 (リコンディショニング) に目減りが増大しているのは、高温・高湿により腐敗薯が多く発生したことが原因であると思われる。また、図1の馬鈴薯の貯蔵期間の0日～14日はキュアリング期間を、114日以降はリコンディショニング期間をそれぞれ示す。

キュアリングやリコンディショニング処理を行っていないナガイモの目減りは馬鈴薯2品種の中間にあり、高密度ポリエチレンフィルムでナガイモを包んで貯蔵したことが目減りの抑制に効果を表していることが考えられる。

一般に、青果物では目減りが5%を越えると萎びや萎れなどにより商品価値を失うとされているが<sup>11)</sup>、約4ヶ月間貯蔵した馬鈴薯とナガイモではトヨシロを除いて目減りは5%以内であり貯蔵条件としては適当であった。また、トヨシロの場合でも、リコンディショニングによる腐敗薯の発生によるものであり、入庫の際の病害薯の選別などを徹底することで腐敗などによる目減りの抑制を図るこ

とができると思われる。

### 3) 含水率

図2に示すように、貯蔵中の馬鈴薯の含水率はトヨシロでは約77%、農林1号は74%前後で推移したが、ナガイモの含水率は馬鈴薯よりも高く82~84%の範囲を変動した。したがって、馬鈴薯では貯蔵庫内の高湿度が維持されていることが、ナガイモの場合にはフィルム折り込みの効果がうかがえる。また、馬鈴薯では貯蔵後期に含水率の増加する傾向がみられるが、これはリコンディショニング処理によって呼吸が活発となり、デンプンあるいは糖が炭酸ガスと水に分解されたことに起因すると考えられる。

### 4) 馬鈴薯のデンプンおよびビタミンC

表1に示すように、貯蔵中の馬鈴薯のデンプンはトヨシロでは15%前後、農林1号は18%前後と後者が3%程高い。また、両品種ともに貯蔵後期のリコンディショニングによって、デンプン含量は2%程度減少した。しかし、貯蔵中のデンプンの推移に品種間の有意な差はみられなかった。

馬鈴薯は野菜の中でもビタミンCの比較的高いものであるが、低温貯蔵においても徐々にその含量は低下し、貯蔵後期には半減した。

### 5) 糖含量

馬鈴薯をチップやフレンチフライ等に加工する際に問題となる還元糖（グルコース+フラクトース）の変化を、ナガイモも加えて図3に示す。馬鈴薯の両品種とも、還元糖は低温貯蔵によって急増し、貯蔵後期には4000mgを越えるが、リコンディショニング処理を施すことによって、トヨシロで2000mg、農林1号では2500mgまで減少した。しかし、加工用馬鈴薯は還元糖量を約300mg程度にまで低下させることが必要であり、今回施した2週間のリコンディショニング処理では不十分であるので、より高温で処理期間も延長することが必要と考えられる。品種間の還元糖の推移に有意差は認められなかった。

ナガイモも馬鈴薯と同様に低温貯蔵によって還元糖は増加するが、貯蔵の60日以降、漸減傾向を示した。低温貯蔵によって還元糖が増加することは、馬鈴薯やナガイモの甘みが増すことを意味するものである。したがって、長期低温貯蔵のナガイモは収穫直後のものに比べて、かなり甘く感じられることが推察される。

### 6) 馬鈴薯のインベルターゼ活性と還元糖との関係

トヨシロと農林1号のインベルターゼ活性の変化を図4に示すが、低温貯蔵によってインベルターゼ活性は増大し、リコンディショニング処理で低下する。インベルターゼはサッカラゼとも称され、シュクロースをグルコースとフラクトースに加水分解する酵素である。したがって、低温貯蔵によって馬鈴薯のデンプ

ンがシュクロースに分解され、そのシュクロースをインベルターゼが加水分解して、還元糖量（グルコースとフラクトース）を増加していることが示唆される。図5はインベルターゼ活性と還元糖との関係を示しているが、両者間に高度の正の相関が認められた。したがって、馬鈴薯を低温で長期にわたって貯蔵すると、インベルターゼ活性が高くなりデンプンの分解生成物であるシュクロースを還元糖に分解していることが理解されよう。

#### 6) ナガイモの粘弾性

ナガイモすりおろし液の粘性、弾性係数を図6、7にそれぞれ示す。ナガイモを低温貯蔵するとすりおろし液の粘性係数、弾性係数はともに減少する。粘性係数はすりおろし液中の固形分含量に影響されるので、低温貯蔵によって固形分とくにデンプン含量が減少することを示唆する<sup>12)</sup>。弾性係数の減少は粘質物（マンナン）の分解が生じ、分子間の結合力の低下を示素ものと考えられる。

#### 4. 結論

本実験の結果、ヒートパイプを利用した人工永久凍土低温貯蔵庫を野菜の長期貯蔵に適用できることが明らかとなった。しかし、加工用馬鈴薯の場合、還元糖量を300mgまで減少させなければならないので、リコンディショニングの条件（温度、期間）の検討が必要と考えられる。

#### 5. 引用文献

- (1) 北海道農林水産統計年報（総合編）平成4年～5年(1993)：農林水産省北海道統計情報事務所，p. 33
- (2) 堂腰 純(1985)：自然氷を利用した野菜の長期貯蔵，寒地技術シンポジウム講演論文集，p. 372-377
- (3) 堂腰 純(1986)：自然氷の潜熱エネルギー利用に関する研究，寒地技術シンポジウム講演論文集，p. 413-416
- (4) 土谷富士夫・福田正巳・了戎公利・望月政孝(1988)：自然冷熱を利用したヒートパイプによる低温貯蔵庫（その3），寒地技術シンポジウム講演論文集，p. 525-529
- (5) AOAC(1970)：Official method of analysis of the Association of the Official Analytical Chemists，p. 559
- (6) K. Hironaka, K. Ishibashi and N. S. Sabiniano(1993)：Flow properties of Chinese yam pulp and its serum, Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi, 40(7)532-534
- (7) 田口啓作・村山大紀(1977)：馬鈴薯，グリーンダイセン普及会，

p. 446

- (8) Nelson, N. (1944): A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of glucose. J. Biol. Chem., 153:375-380
- (9) 京都大学農学部農芸化学教室編(1957): 農芸化学実験書 (第3巻), 産業図書, p. 1295
- (10) 弘中和憲・新堂 健・石橋憲一: ナガイモの粘弾性, 日食工誌, 36(11):891-897(1989)
- (11) 樽谷隆之(1963): 果実・そ菜の貯蔵, 日食工誌, 10(5):186-202
- (12) 弘中和憲・石橋憲一(1990): ナガイモの粘弾性と官能評価, 帯大研報, 16:237-240

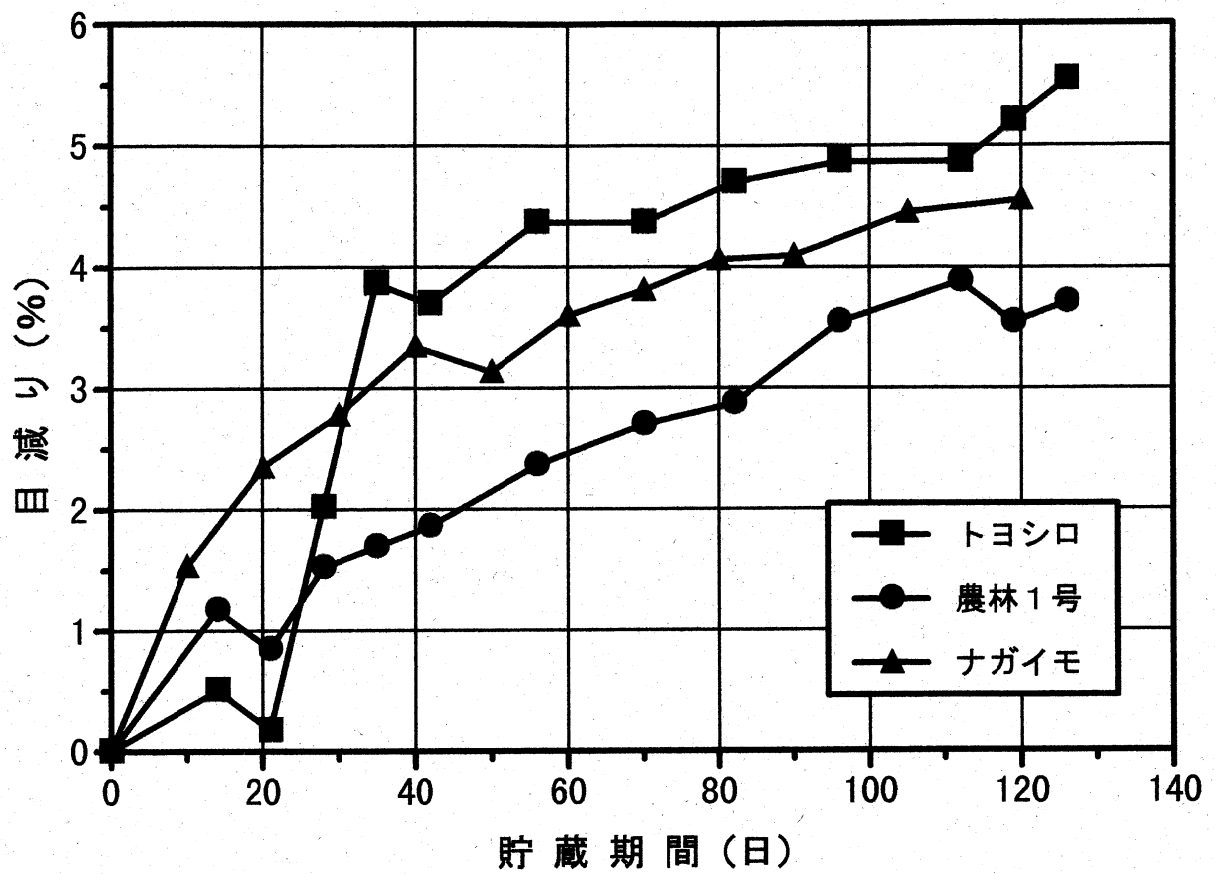


図1 馬鈴薯およびナガイモの目減り

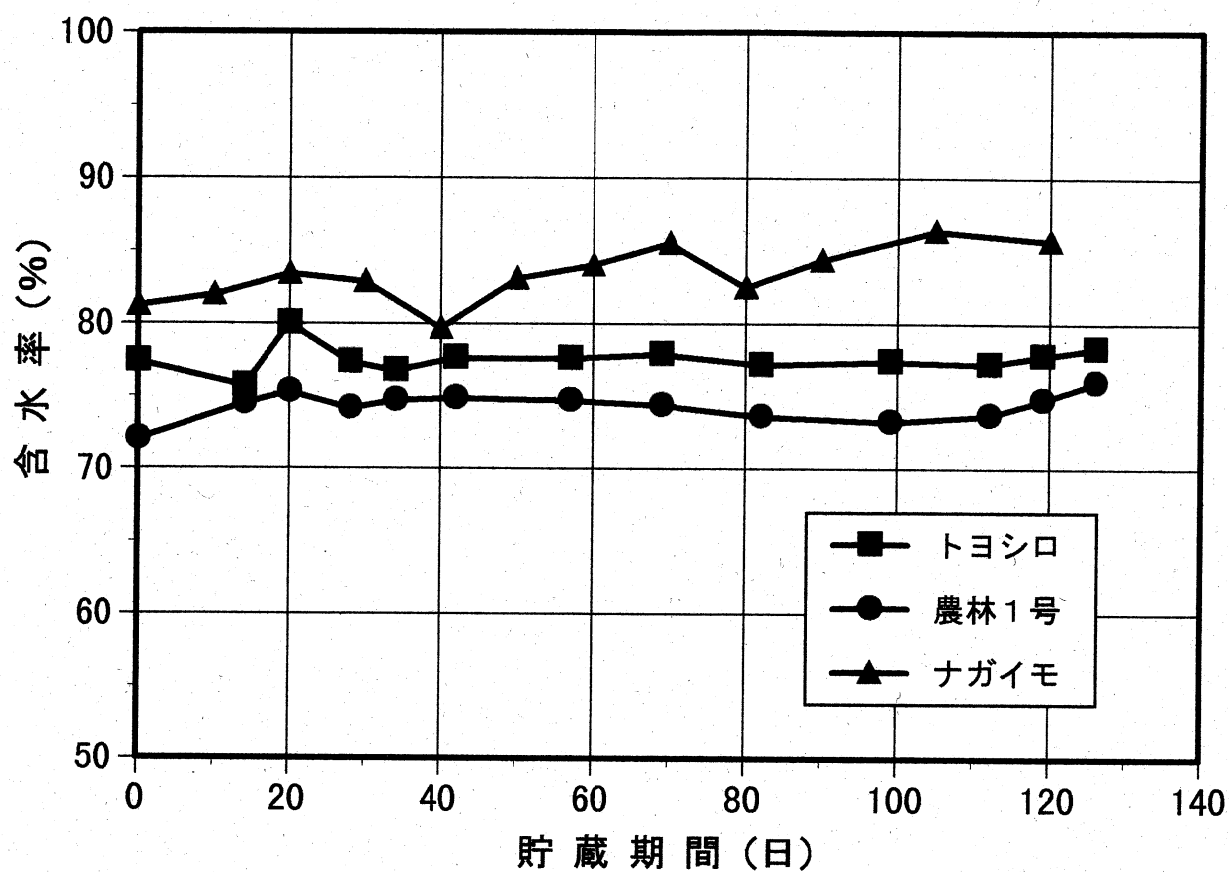


図2 含水率の変化

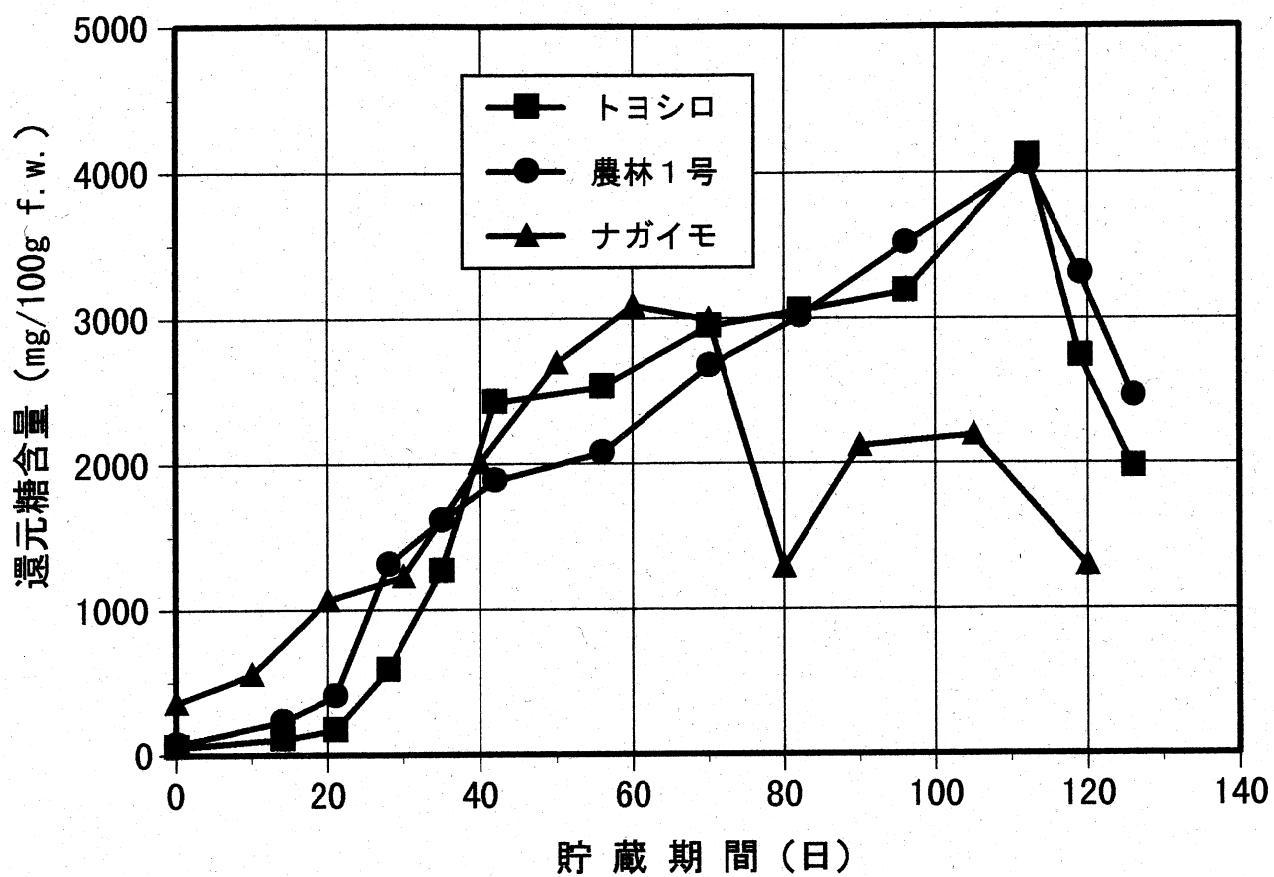


図3 貯蔵中の還元糖の推移

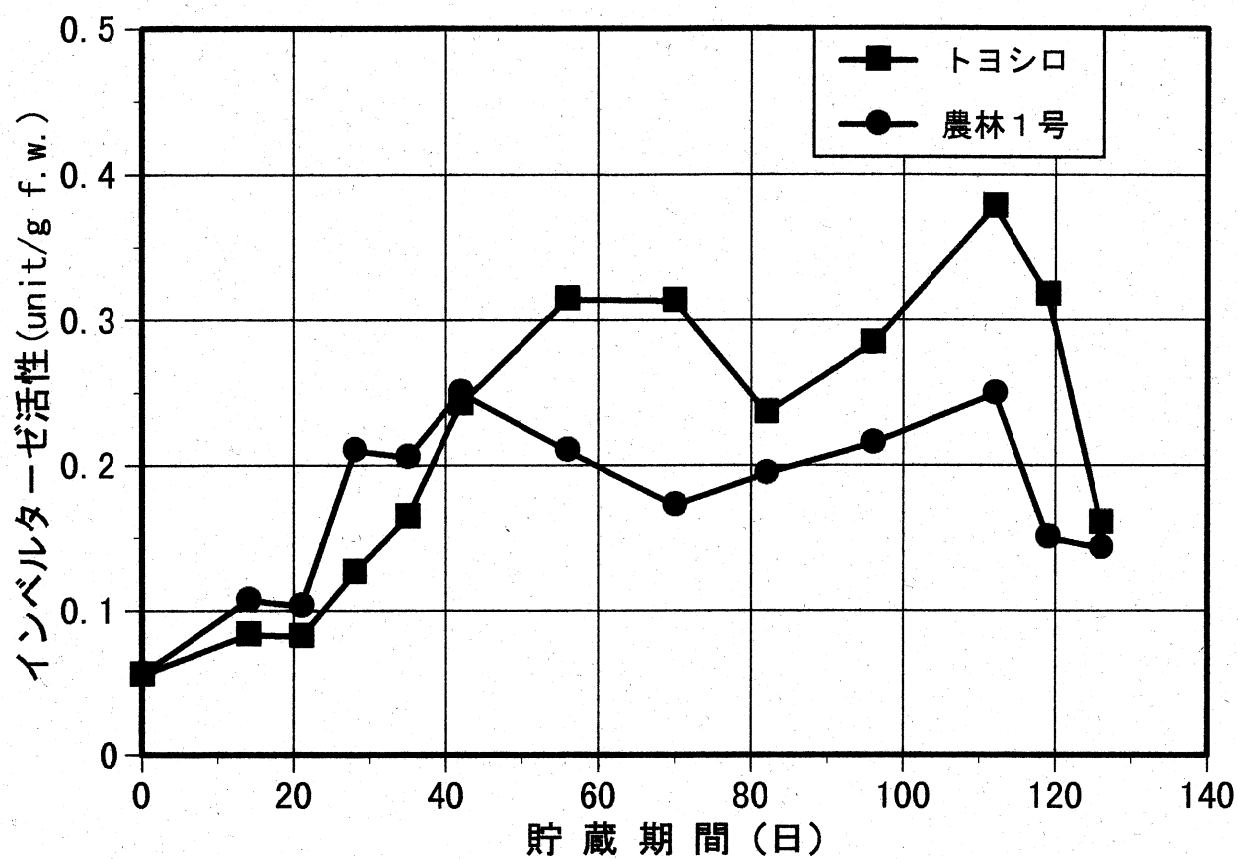


図4 インベルターゼ活性の変化

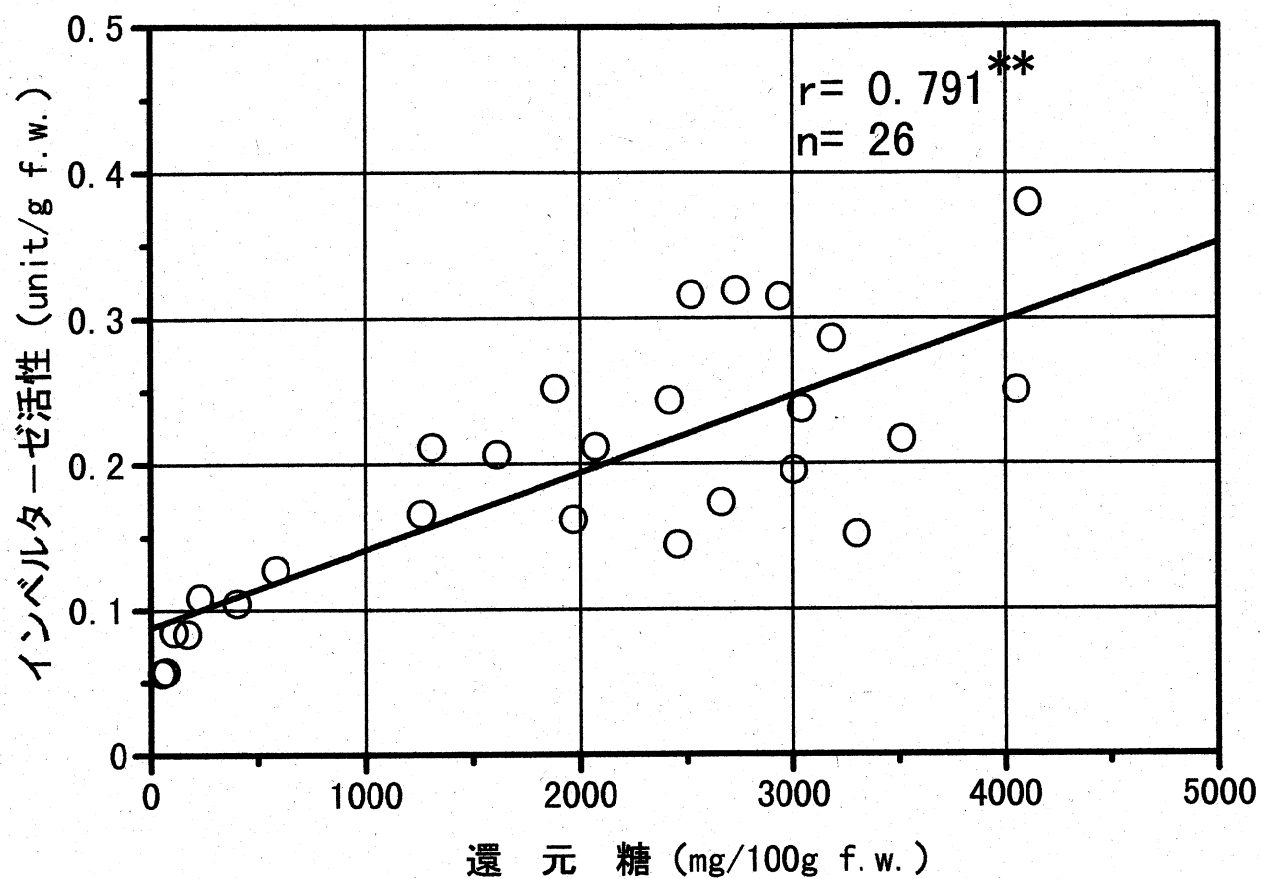


図5 インベルターゼ活性と還元糖との相関

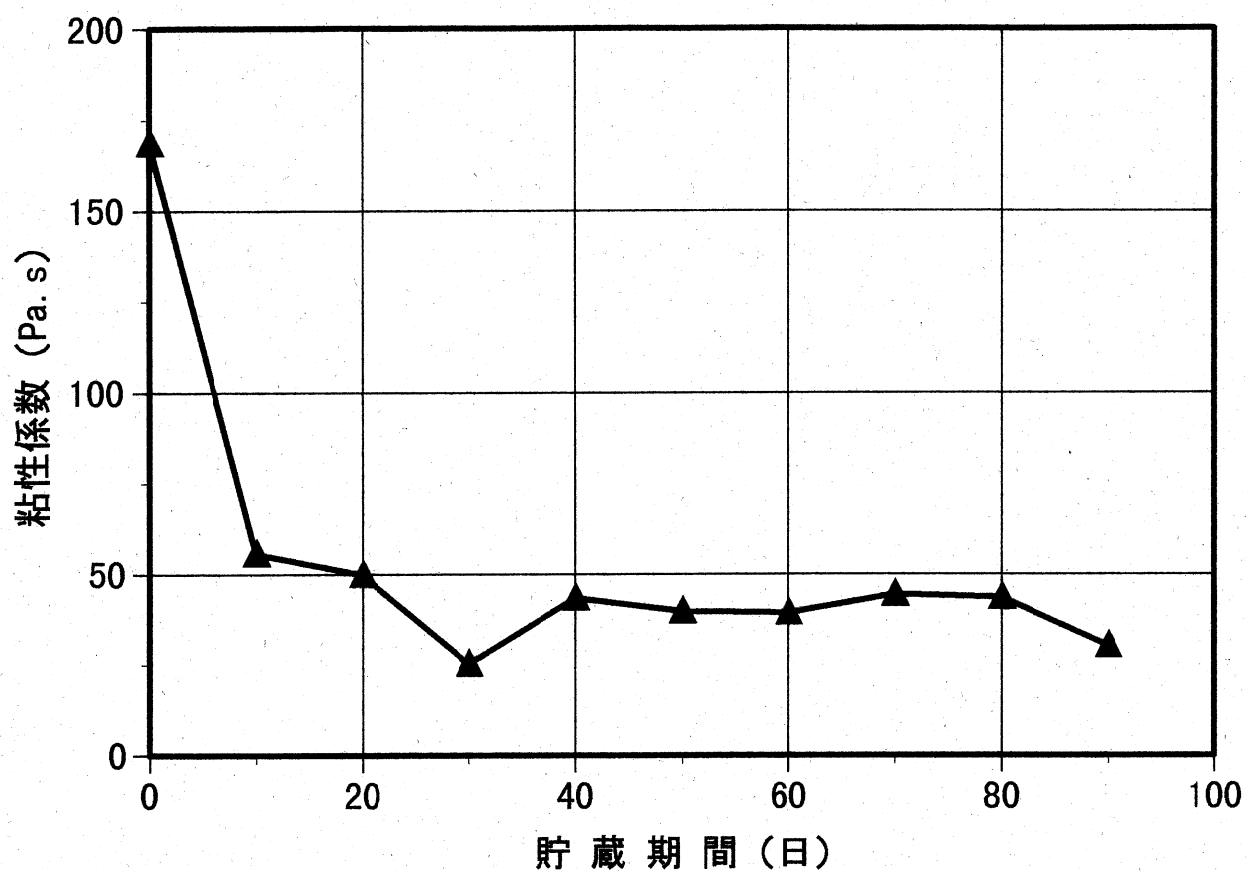


図6 ナガイモすりおろし液の粘性係数

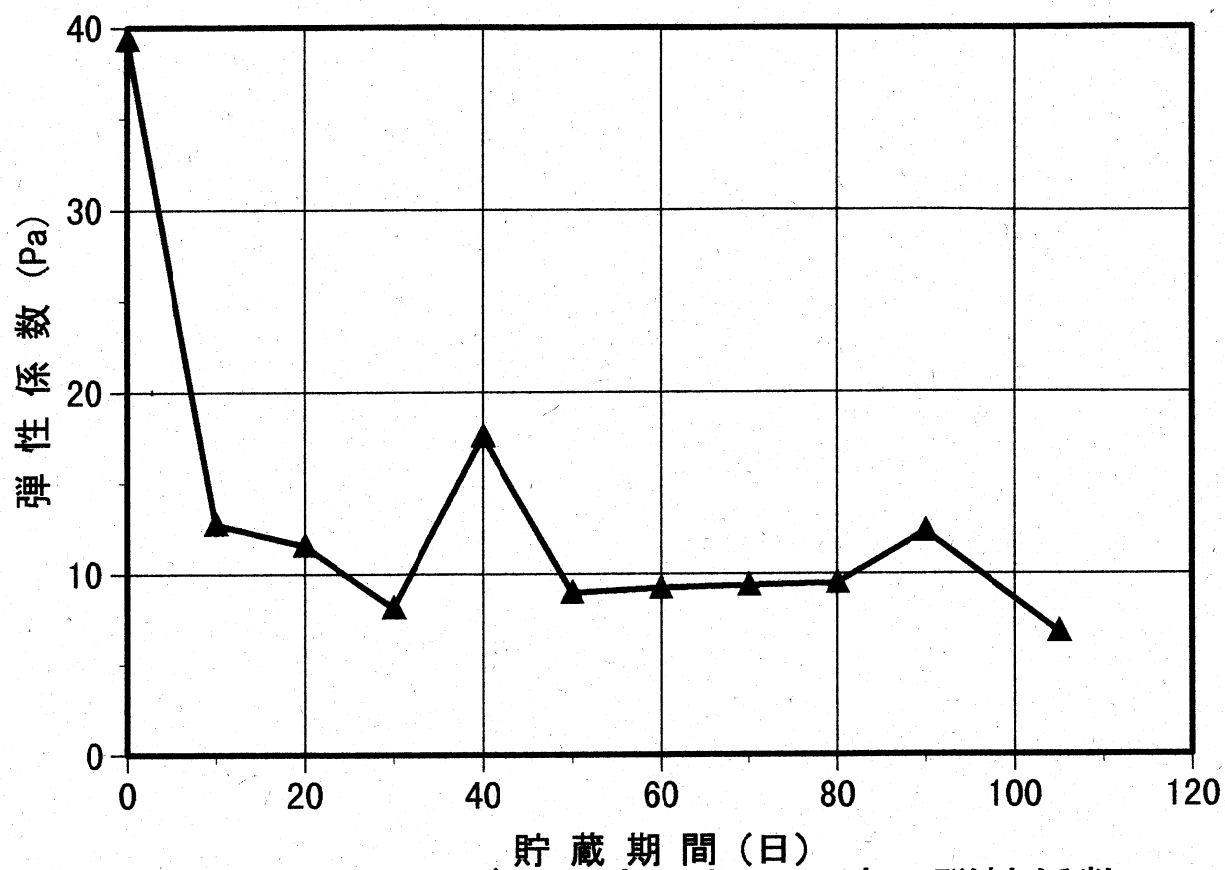


図7 ナガイモすりおろし液の弾性係数

表 1 貯蔵馬鈴薯のデンプン含量の推移

貯蔵日数 (日)	トヨシロ (%)	農林 1 号 (%)	備考
0	15.92	18.13	キュアリング開始
14	15.98	17.19	本貯蔵開始
21	13.46	17.66	
28	15.90	18.18	
35	15.88	18.33	
42	15.48	17.37	
56	15.30	18.77	
70	15.32	19.06	
82	16.34	19.06	
96	14.93	18.17	
112	16.28	18.79	リコンディショニング開始
119	14.48	17.24	
126	14.28	16.44	

## 第5章 ヒートパイプ型凍土低温貯蔵庫によるリンゴの長期貯蔵

帯広畜産大学 石橋 憲一

### 1. 研究目的

一般にリンゴは人工的に貯蔵環境のガス組成を低酸素・高炭酸ガスに維持して、周年供給を図っている。この貯蔵法をCA(Controlled Atmosphere)貯蔵と称しており、このようなガス組成で、青果物の呼吸・微生物作用を抑制し、通常の低温貯蔵の1.5~2倍にまで貯蔵期間を延長できる。しかし、CA貯蔵するためには一般の冷蔵庫より気密性の高いものが要求され、ガス交換などランニングコストも多くかかるので、容積の小さく単価の高い果実や野菜に限られている。ヒートパイプ型凍土低温貯蔵庫はランニングコストをほとんど要しないこと、さらに半地下方式のため気密性の高い貯蔵庫を安価に建設できることなどを考慮し、本研究ではヒートパイプ型凍土低温貯蔵庫を用いて、リンゴの低温貯蔵試験を行った。

### 2. 実験方法

長野県産のリンゴを入手し、平成8年12月より平成9年4月末までの5ヶ月間、約1℃の貯蔵実験を行い、品質を検討した。経時的に、2個のリンゴを取りだし、次の項目について、測定した。

1) 水分：70℃24時間常圧乾燥後、70℃2時間減圧乾燥。水分は3個の平均値(%w.b.)で示している<sup>1)</sup>。

2) 糖分：リンゴをすりおろし、汁液の糖度を屈折計(ピカ精工製)で直読した。リンゴ1個につき3回測定し、2個のリンゴの平均値(%)で示した。

3) 滴定酸度：1個のリンゴから1/4部を切り取り、蒸留水50mlを加え、磨砕後、遠心分離する。濾液の5mlに蒸留水20mlと指示薬としてフェノールフタレインの数滴を加え、0.1N-NaOHで滴定する。リンゴ1個につき3回滴定し、2個のリンゴの平均値(リンゴ酸%)で示した<sup>2)</sup>。

4) 硬さ：レオメーター(フドー工業製)を用いて、リンゴの赤道上の3カ所の硬さ(破壊荷重)を、直径2mmのプランジャーで測定した。このときの最大荷重は2kgfである。

5) 色：色彩色差計(ミノルタ製)を用いて、リンゴの赤道部分を90°ごとに4カ所の明度(L)と色相と彩度を示す色度(a,b)を測定した。色度のaは赤方向、-aは緑方向、またbは黄方向、-bは緑方向を示す。

### 3. 結果および考察

表1より、水分および滴定酸度は貯蔵中に減少するが、糖分は変動が大きく傾向が明確でない。この糖分の変動は個体差によるものと考えられる。リンゴ果皮は貯蔵に

よって、軟化傾向を示す（表2）。表3にみられるように、リンゴの果皮色は個体差が大きく、明らかな傾向は認められない。今回は、試料個数の関係から、2個のリンゴをサンプリングすることになったが、少なくとも5個以上サンプリングすることが望ましい。また、果皮色については数個の同一のリンゴを経時的に調べるほうが傾向ははっきりすると思われる。

#### 4. 引用文献

- (1) AOAC(1970): Official method of analysis of the Association of the Official Analytical Chemists, p. 559
- (2) 眞部孝明(1992): 農産加工ガイドブック, 富民協会, p. 67-68

表1 リンゴの水分、糖分および滴定酸度の変化

測 定 日	水分(%w.b.)	糖分(%)	酸度(リンゴ酸, %)
平成9年1月 7日	85.16	18.58	0.3064
2月27日	84.22	16.80	0.2521
3月21日	85.56	24.29	0.2479
4月25日	78.44	21.87	0.2510

表2 リンゴの硬さ(kgf)の推移(No.1)

期日 97-1-7			期日 97-2-27		
max.length 23.05			max.length 23.45		
回数	長さ(cm)	貫入力(kgf)	回数	長さ(cm)	貫入力(kgf)
1	6.9	0.5987	1	9.15	0.7804
2	6.95	0.6030	2	7.6	0.6482
3	6.5	0.5640	3	8.4	0.7164
4	6.5	0.5640	4	8.35	0.7122
5	7.4	0.6421	5	8.05	0.6866
6	6.2	0.5380	6	8.05	0.6866
7	8.9	0.7722	7	7.85	0.6695
8	8.05	0.6985	8	8.2	0.6994
9	9.4	0.8156	9	7.25	0.6183
10	8.6	0.7462	10	7.65	0.6525
11	9.3	0.8069	11	8.25	0.7036
12	7.95	0.6898	12	7.95	0.6780
全平均			全平均	0.6876	
全標準偏差			全標準偏差	0.0392	
平均 1 - 6			平均 1 - 6	0.7050	
標準偏差			標準偏差	0.0404	
平均 7 - 12			平均 7 - 12	0.6702	
標準偏差			標準偏差	0.0290	

表2 リンゴの硬さ(kgf)の推移(No.2)

期日 97-3-21			期日 97-4-25		
max.length 23.05			max.length 23.15		
回数	長さ(cm)	貫入力(kgf)	回数	長さ(cm)	貫入力(kgf)
1	6.7	0.5813	1	6.25	0.5400
2	7.55	0.6551	2	7.3	0.6307
3	6.85	0.5944	3	6.8	0.5875
4	8.4	0.7289	4	7.2	0.6220
5	6.55	0.5683	5	6.75	0.5832
6	6.3	0.5466	6	6.25	0.5400
7	6.3	0.5466	7	7.1	0.6134
8	7.8	0.6768	8	5.6	0.4838
9	6.3	0.5466	9	6.1	0.5270
10	6.5	0.5640	10	5.7	0.4924
11	7.25	0.6291	11	7.1	0.6134
12	6.1	0.5293	12	5.9	0.5097
全平均			全平均	0.5619	
全標準偏差			全標準偏差	0.0505	
平均 1 - 6			平均 1 - 6	0.5839	
標準偏差			標準偏差	0.0354	
平均 7 - 12			平均 7 - 12	0.5400	
標準偏差			標準偏差	0.0537	

表3 リンゴの色の変化( No.1)

期日 97-1-7					期日 97-2-17				
回数	L	a	b	a/b	回数	L	a	b	a/b
1	50.43	29.33	24.11	1.2165	1	54.26	26.47	24.64	1.0743
2	46.34	32.71	18.52	1.7662	2	38.76	36.51	18.01	2.0272
3	49.80	31.29	21.61	1.4479	3	41.86	31.16	16.24	1.9187
4	58.21	16.50	26.66	0.6189	4	54.75	17.35	25.95	0.6686
5	48.09	24.50	20.14	1.2165	5	42.80	33.11	19.58	1.6910
6	48.42	21.74	21.38	1.0168	6	53.94	24.79	27.80	0.8917
7	55.93	17.75	24.82	0.7151	7	43.07	27.59	18.32	1.5060
8	58.73	10.59	27.54	0.3845	8	43.79	34.31	22.27	1.5406
全平均	51.99	23.05	23.10	1.0478	全平均	46.66	28.91	21.60	1.4148
全標準偏差	4.57	7.34	2.99	0.4285	全標準偏差	6.10	5.79	3.93	0.46
平均(1-4)	51.20	27.46	22.73	1.2624	平均(1-4)	47.41	27.87	21.21	1.4222
標準偏差	4.34	6.44	3.01	0.4197	標準偏差	7.18	7.04	4.16	0.5704
平均(5-8)	52.79	18.65	23.47	0.8333	平均(5-8)	45.90	29.95	21.99	1.4073
標準偏差	4.65	5.23	2.91	0.3146	標準偏差	4.66	3.91	3.64	0.3057

表3 リンゴの色の変化(No.2)

期日	97-3-21				期日	97-4-25			
回数	L	a	b	a/b	回数	L	a	b	a/b
1	43.02	35.67	17.88	1.9950	1	34.06	34.51	16.59	2.0802
2	56.68	23.45	26.43	0.8872	2	56.12	22.58	25.95	0.8701
3	59.52	22.40	30.16	0.7427	3	63.62	10.26	32.32	0.3175
4	49.45	28.89	22.85	1.2643	4	59.19	22.79	26.70	0.8536
5	40.62	34.97	14.01	2.4961	5	51.96	24.52	22.96	1.0679
6	54.81	27.76	23.71	1.1708	6	51.96	29.46	22.15	1.3300
7	49.55	30.49	21.00	1.4519	7	56.67	23.26	27.57	0.8437
8	49.65	32.69	22.89	1.4281	8	58.16	23.23	27.11	0.8569
全平均	50.41	29.54	22.37	1.4295	全平均	53.97	23.83	25.17	1.0275
全標準偏差	6.07	4.34	4.63	0.5383	全標準偏差	8.32	6.46	4.35	0.4774
平均(1-4)	52.17	27.61	24.33	1.2223	平均(1-4)	53.25	22.54	25.39	1.0303
標準偏差	6.43	5.27	4.53	0.4850	標準偏差	11.39	8.58	5.65	0.6456
平均(5-8)	48.66	31.48	20.40	1.6367	平均(5-8)	54.69	25.12	24.95	1.0246
標準偏差	5.10	2.67	3.82	0.5082	標準偏差	2.78	2.56	2.42	0.1975

## 第6章 凍土斜面の緑化と周辺植生および景観計画

帯広畜産大学 丸山純 孝

### 目 次

1. 調査区と調査方法
2. 調査結果
3. 考 察
  - 1) 日本の温帯地域の二次遷移初期群落
  - 2) 温帯地域での耕作放棄地初期変遷の機構のまとめ
  - 3) 景観計画
4. 表 2～3 出現植生と生活型
5. 図 1～7 全調査区の植生変化の状況
6. 雑草の生活型の解説
7. 生育型の分け方とその記号
8. 植生調査写真

## 凍土斜面の緑化と周辺植生および景観計画

本分担については後述されるごとく一般的な張芝斜面で、通常に施工されているそれと遜色のない植生状態であった。また凍結低温貯蔵庫の上部の平坦地は約10年間に植生遷移が進行し、周辺植生から侵入するカラマツを主体とした優占植生に変化することが明らかとなった。カラマツを主体にヤナギ類、シラカバなどの風散布種子が群落形成に大きく関係している。そこで散布型を含めた植物の生活型と上部の平坦地のヒートパイプ間に侵入した植物の関係を中心に若干の報告をするものである。

### 調査区と調査方法

#### 1) 位置の状況

西側約10m離れて樹齢60年以上、樹高20m程度のカラマツが防風林として列植されている。また西北10～20m以内にヤチダモ、シラカバ、バッコヤナギなどの風散布体をもつ樹種が植栽されている。

#### 2) ヒートパイプ型凍結低温貯蔵庫の斜面および上部平坦地の植生の概要(図-1)

本貯蔵庫の斜面は1988年にオーチャードグラス(カモガヤ)を主体とした張芝で被覆され、これが定着した状態を保ちやや株化している。上部のヒートパイプを設置する平坦地は裸地状態からの植生遷移にゆだねた結果、カラマツなどの優占する植生に変化した。

1997年の夏季にこれらを除去し新たな裸地状態にし、その後の遷移状況の調査地として供試した。1997年9月22日および1年後の1998年9月21日に植生を調査した。

3) 1997年6月にトールフェスク、ペレニアルライグラス、ケンタッキブルーグラスの3種を用いて新たな試験区(のり長さ2.4m、幅2.0m)を造成した。

試験区の施肥量は化成肥料10-10-10-1(苦土)100g/m<sup>2</sup>である。播種量は表-1の如くである。

表-1 新造成区の播種量

品種名	希望発生本数	平均粒数	発芽率	純度	補正係数	播種量gf	播種面積	播種量
TF	3000	400	93	98.9	1.1	8.97	1.6	14.35
KBG	3000	4300	89	99	1.1	0.87	1.6	1.39
PRG	3000	460	96	99.2	1.1	7.53	1.6	12.05

## 調査結果

### 1) 植被の投影図

1997年9月22における上部平坦地ヒートパイプ間に出現した木本植物およびオオヨモギの投影図を示せば図-2の如くである。西および南側において植被率が高く投影面積も大きい。これに対し東側は明らかに小さいことが分かる。

掘口 剛ら<sup>1)</sup>は図-3に示したように、植物日射遮蔽(投影)と蒸発散作用が直接に地盤での熱収支に影響するとしている。このことから夏では、ヒートパイプ間に侵入した植物がヒートパイプの熱輸送量<sup>2)</sup>を左右するパラメーターのうち、地盤温度、地盤とヒートパイプ間の熱抵抗に影響を及ぼすことにより、貯蔵庫内の熱環境に影響を与えることが推察された。

今後、植物が貯蔵庫内の熱環境にどのような効果を与えているかを解明することが必要と考えられる。

### 2) 出現植物の生活型組成(後述参考資料参照<sup>3)</sup>)

木本植物はカラマツ、ヤチダモ、シラカバ、オノエヤナギ、バッコヤナギ、イヌコリヤナギのヤナギ類とドロノキである。多年草では、H型(半地中植物)はシバムギ、チモシー、ケンタッキブルーグラスなどの牧草類とオオアワダチソウの他、セイヨウタンポポ、オトコヨモギ、オオバコ、スズメノヤリなどがあり、牧草地周辺の植生を反映している。Ch型(地表植物)では大型のオオヨモギの他、ダイコンソウ、キジムシロが出現した。1年草ではメマツヨイグサが多く、ヒメジョオン、コウゾリナ、ノゲシなどのキク科の植物の他タニソバ、ツユクサ、ナギナタコウジュとイネ科のキンエノコロなどの耕地型植物が出現している。

このうち最終的に優占種となることが考えられるカラマツや、他の広葉型木本もヤナギ、ドロノキなどシラカバを含めて散布体が風により拡大するものが多い。

### 3) 1997~1998年の東西南北での植生状況(図-4~7)

1997年の50%程度の植被率から1998年の50~90%近い植被率に推移した。

全般的に西側にあるカラマツ並木側からの風の影響を強くうける西側が高く、東側が低い傾向にあり、南北は低い、南北では、日射をうけやすく乾燥的な南側が低い。コケについても同様で、西北が高く、南東で低い。

多年草については、オオアワダチソウが目立ち、1年草については、メマツヨイグサが大きく伸びる傾向が分かる。また木本ではカラマツとヤチダモの侵入が顕著で、シラカバが1998年よりの伸びが目立つが、東側では明らかでない。

#### 4) 新造成区の植生状況 (後述参考資料参照<sup>3)</sup>)

1998年9月22日における植生状況を表-2、3に示した。供用した牧草3種の他に半地中植物と称される休眠芽が地表のすぐ下にあるヒメスイバ、ハチジョウナ、エゾノギシギシ、セイヨウタンポポと地下茎を有するが地表植生に入るオオヨモギや地中植物のスギナの多年生草本が早くも出現した。

1年生植物のシロザ、イフタデ、タニソバ、メマツヨイグサ、ツユクサ、ナギナタコウジュの当地では一般的な広葉耕地雑草とエノコログサ、キンエノコロのイネ科草も出現している。写真に示されるように草丈が70cmに達するトールフェスクやベルニアルライグラスの間にあるケンタッキブルーグラスは両者の間にあって光競合的に不和となり、また雑草の旺盛な成長を許す結果となった

#### 考 察

現在までのところ、日本や北米の温帯地域の耕作放棄地における二次遷移初期草本群落についての研究が進み、埋土種子型の夏型1年草群落から風散布型の冬型1年草・越年草群落、さらに多年生草原のといったパターンが明らかになってきた。本供試地についても基本的なパターンはこれに準ずるものと考えられるが、近くに風散布型の多年生草本や木本が植栽され早期に多年草や木本が侵入する条件にあったものと考えられる。以下大塚(1998)<sup>4)</sup>による日本の温帯地域の二次遷移初期群落に関するレビューを記載する。

##### 1) 日本の温帯地域の二次遷移初期群落

日本の温帯地域でも、耕作放棄地での初期二次遷移パターンとその機構についての研究が北米とほぼ同時期(1955)に沼田らによって開始された。彼らの実験によると冬の間に裸地化した立地ではその年の初春にブタクサが一斉発芽し、その後メヒシバと共に優占群落を作るが、この群落の下層にはすぐに冬型1年草のヒメジョオンの実生が侵入し、ロゼットで越冬して翌春にはいち早く茎立ちするので、2年目にはヒメジョオン群落へと遷移することを明らかにした。さらに沼田らは関東ローム層を表層に出したり土壌を焼くことにより、土壌中の埋土種子個体群を除去した後の遷移パターンについて調査した。その結果、埋土種子を除去すると1年目のブタクサの優占が起こらず、全体的に3年間の遷移パターンが一般的な二次遷移とだいぶ異なることから、初期二次遷移における埋土種子個体群の重要性を指摘した。その後沼田らは、様々な遷移段階の群落内の埋土種子について詳しい研究を行い、ブタクサ期の土壌中には特に多くの埋土種子個体群が存在するが、マツ林から照葉樹林へと遷移段階が進むにつれて減少する傾向があること、また地上植生と埋土種子個体群の組成にはずれがみられ、より若いステージの種子を多く含むことなどを明らかにした。

また林らは、日本各地での初期二次遷移の地理的な比較をひとつの目的として、冷温帯の菅平地方の耕作放棄地において沼田らと同様の研究を行った。彼らの一連の研究によると、菅平では秋から春にかけて放棄された場所には翌年にはまず夏型1年草のハルタデが優占群落を形成し、沼田らの千葉大学構内での研究と同様に、この群落の下層にはすぐに冬型1年草のヒメジョオンやヒメムカシヨモギの実生が侵入してくる。このため2年目にはやはり冬型1年草群落へと遷移し、やがてススキを優占種とするやや安定したイネ科草原へと移行していく。日本では、北海道から九州まで多くの地域で同様の研究がある。これらの研究によれば、積雪や低温のために年間の生育期間が短く1年草本の生活環を全うすることが難しい亜高山帯や高山帯の地域を除くと、夏型1年草群落→冬型1年草群落→多年草群落といった生活史レベルでの初期遷移パターンはよく似通っているという。

## 2) 温帯地域での耕作放棄地初期遷移の機構のまとめ

このような日本の耕作放棄地における初期草本段階の遷移パターンの研究と同時に林や沼田らのグループは既往の研究を基にして各遷移段階の種群の特性を整理した。林は耕作放棄後の初期草本段階の優占種群を、放棄後1年目に成立する夏型1年草の種群、放棄後2年目に成立する冬型1年草の種群、その後に優占する多年草の種群の三つに分類し、地域により優占種そのものは変化する場合もあるが、その生活史特性はほぼ同じであることを見出した。すなわちブタクサ・エノコログサなどを代表とする夏型1年草の種群は、①種子重量が重く裸地でも十分生育できる芽生えを形成でき、②低温処理が発芽を増大させるので春に一斉発芽する傾向があり、③土壤中で種子バンクを形成して種子の寿命が長い、といった特性を持つ。またヒメムカシヨモギ・ヒメジョオンを代表とする冬型1年草の特性は、①風散布の軽い種子を持ち発芽に低温処理を必要としないこと、②耐陰性が強いロゼット葉を作りそのまま越冬が可能であるということを挙げている。またススキを代表とする多年草の種群は、①風散布種子を形成し種子の休眠性はない、②個体重量に占める地下部の重量比が大きく地下部の栄養繁殖によっても増殖できることを明らかにした。これらの種特性と温帯地域の耕作放棄地での環境条件を考えると、遷移の1年目には低温処理を経て春に埋土種子から一斉発芽する夏型1年草が優占群落を作りやすいこと、また夏型1年草群落内部に小さい風散布種子と耐陰性の強いロゼットで容易に侵入し、夏型1年草が枯れた後もロゼットのまま越冬する冬型1年草が翌春に素早く成長して2年目に優占群落を作ること、さらに3年目以降は風散布種子で侵入し、栄養繁殖で徐々に勢力を広げる多年草群落に移行することなどが理解される。

## 3) 景観計画について

景観に関する計画では、多くの人にどのような風景が好まれるかが議論され、北海道

の自然的な風景としては、優れた自然性や本州とは異なる特徴を強調することから「北海道らしさ」が重要とされている。

ヒートパイプは北海道という寒冷地に特有の施設であるが、一般的な畑・牧場・湿原などの広大で平坦な風景が北海道らしく感じられる中であって、やや人工物的な存在である。これを前者的な風景の中にいかに調和させるかが課題であろう。木本を含めた植物をその施設の性能との関連で許す限り取り入れて調和を考えることが当面の課題であろう。

#### 引用文献

1. 堀口 剛・梅干野晃・白井一義 (1997) RC造建築物における屋上栽の室内熱環境の調整効果に関する研究. 日本緑化工学会誌 23 (2), 93-105
2. 土谷富士夫・了戒公利 (1998) 人工永久凍土低温貯蔵庫の開発とその経時変化に対する研究. 9-10
3. 全国農村教育協会 (1980) 日本原色雑草図鑑 8-17
4. 大塚俊之 (1998) 温帯と熱帯における二次遷移初期群落先駆種の生活史特性. 146-14

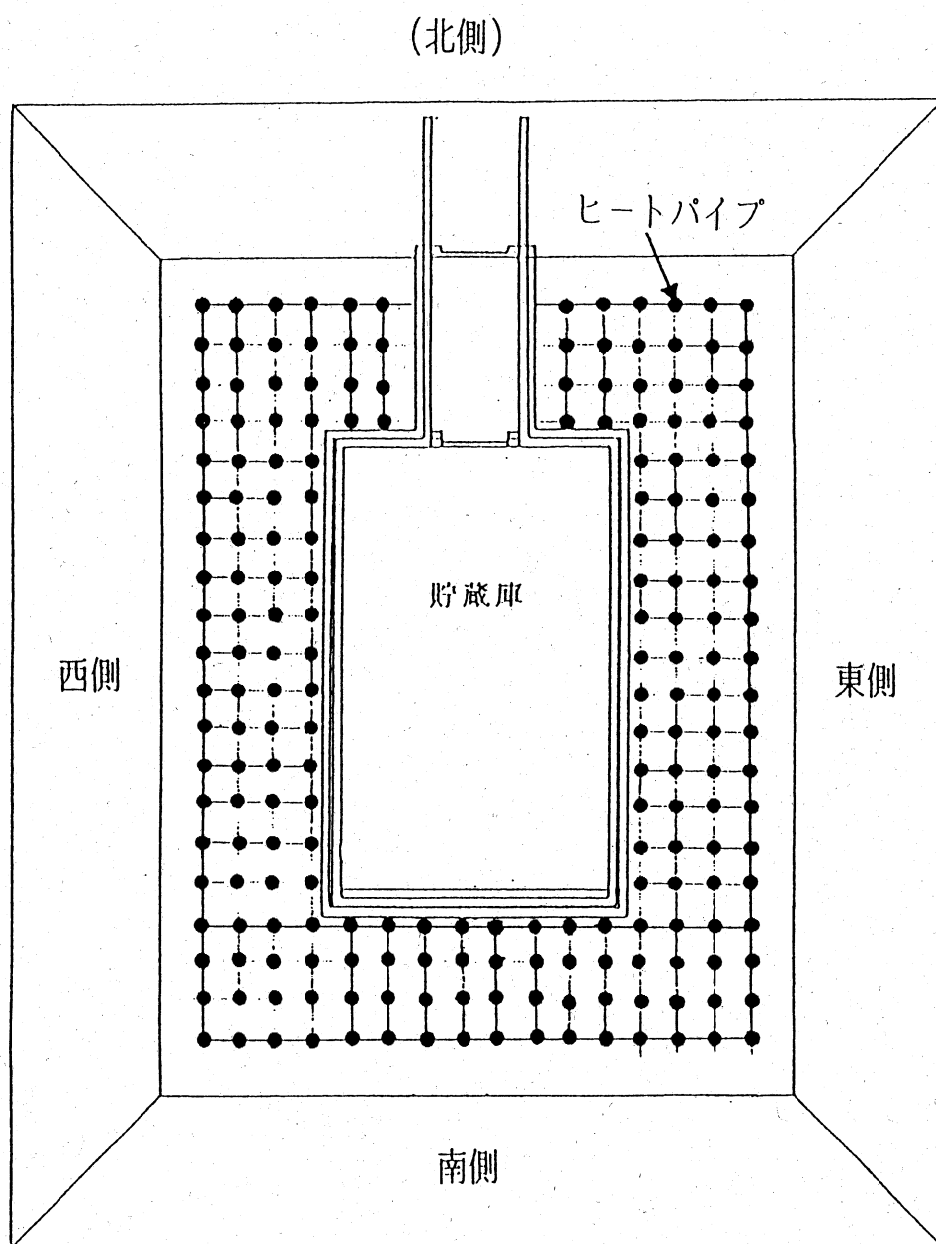


図-1 ヒートパイプ配置の平面図



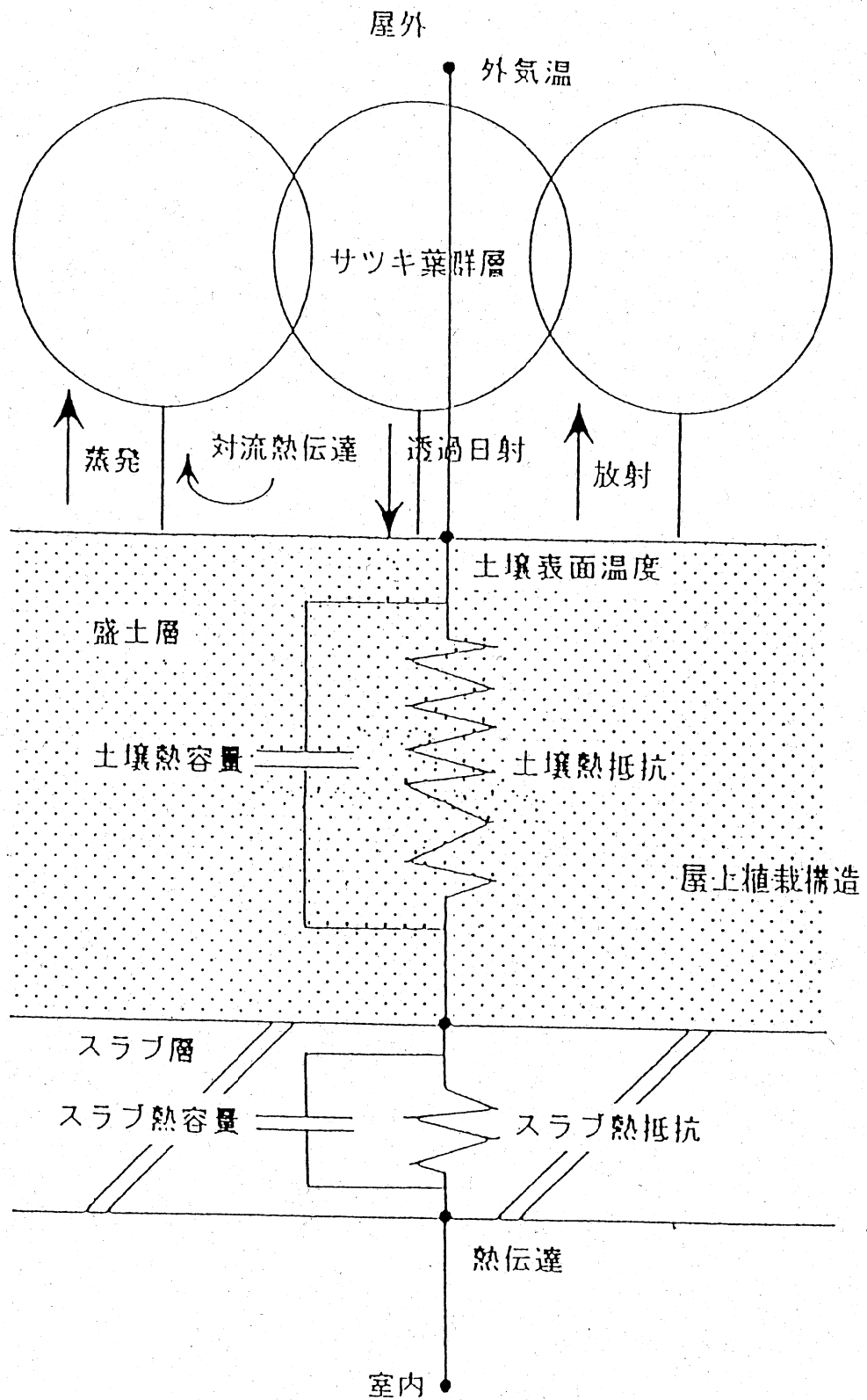


図-3 サツキ植栽伝熱モデル概念図  
(堀口 剛ら、1997)

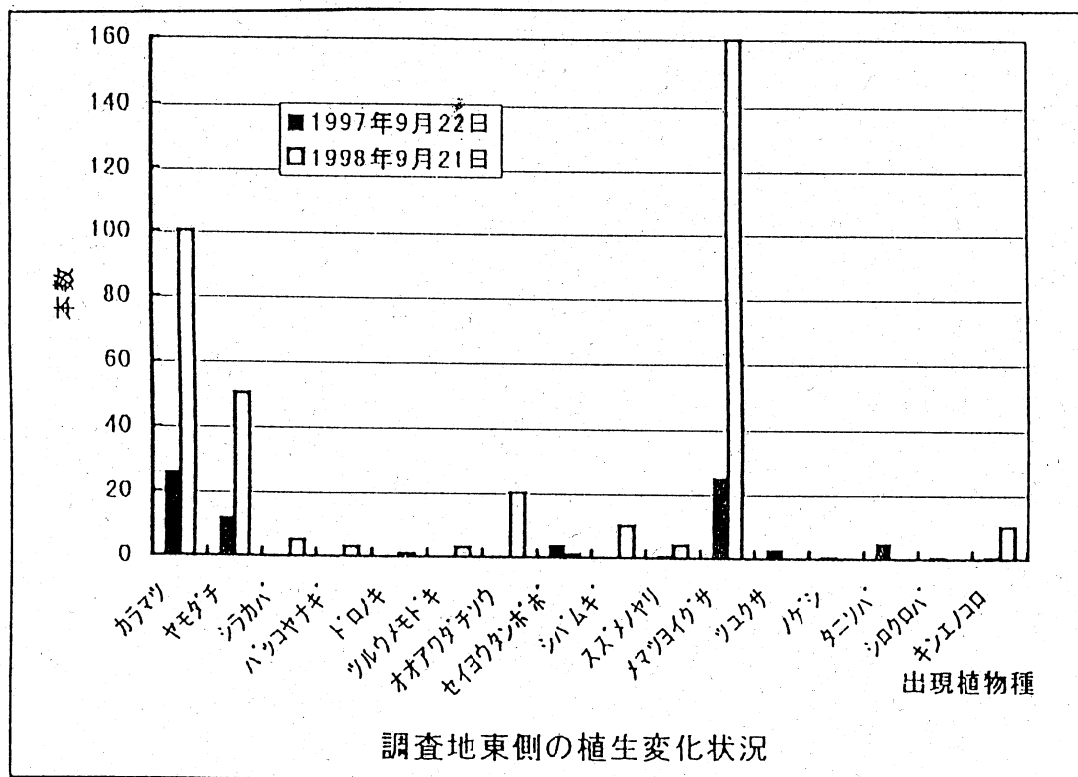
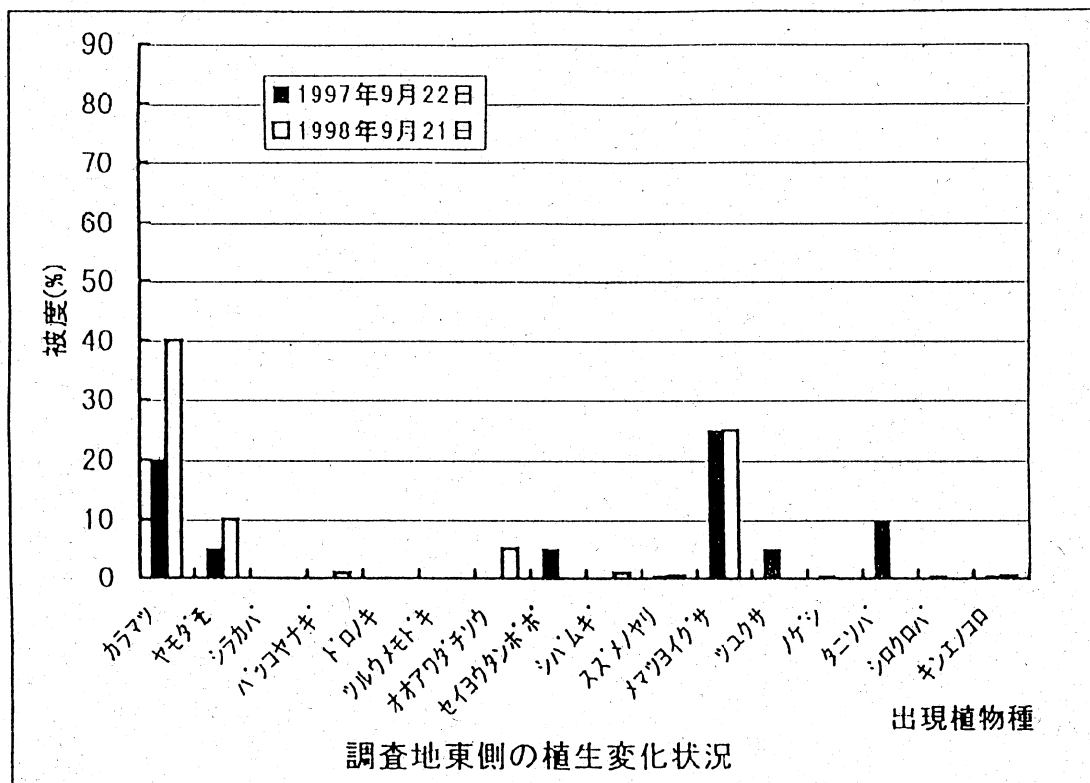
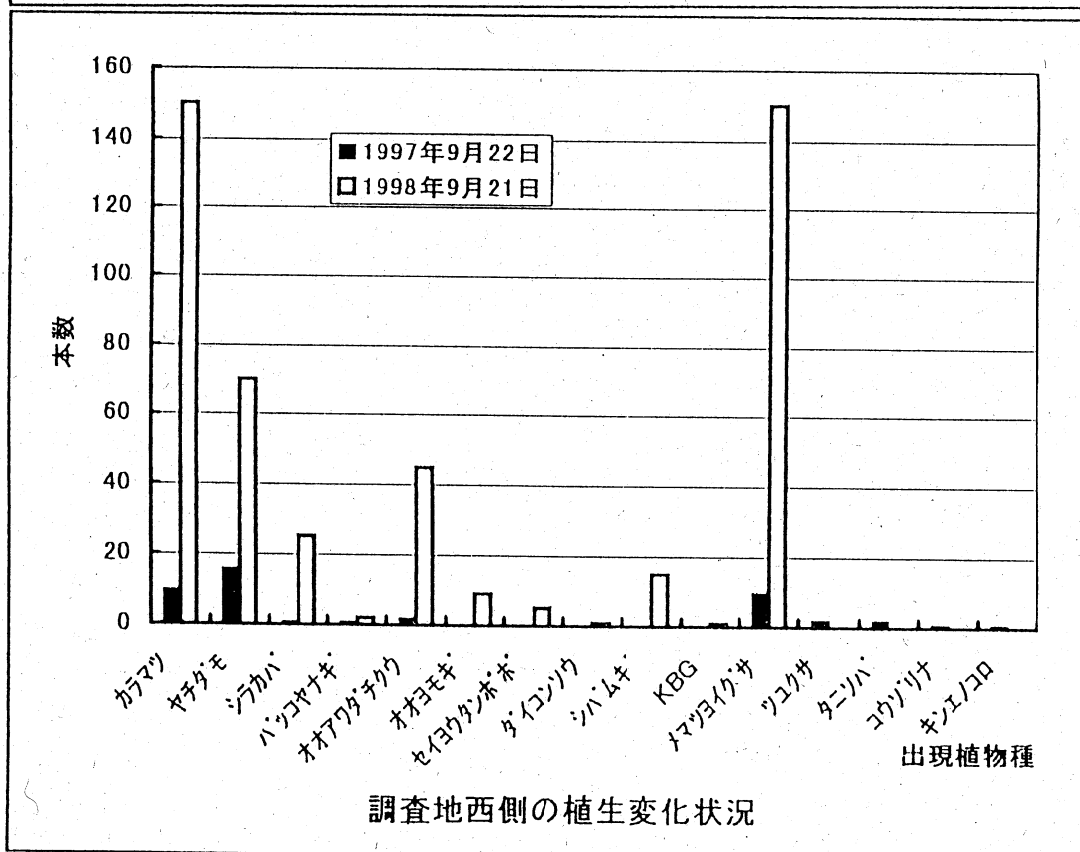
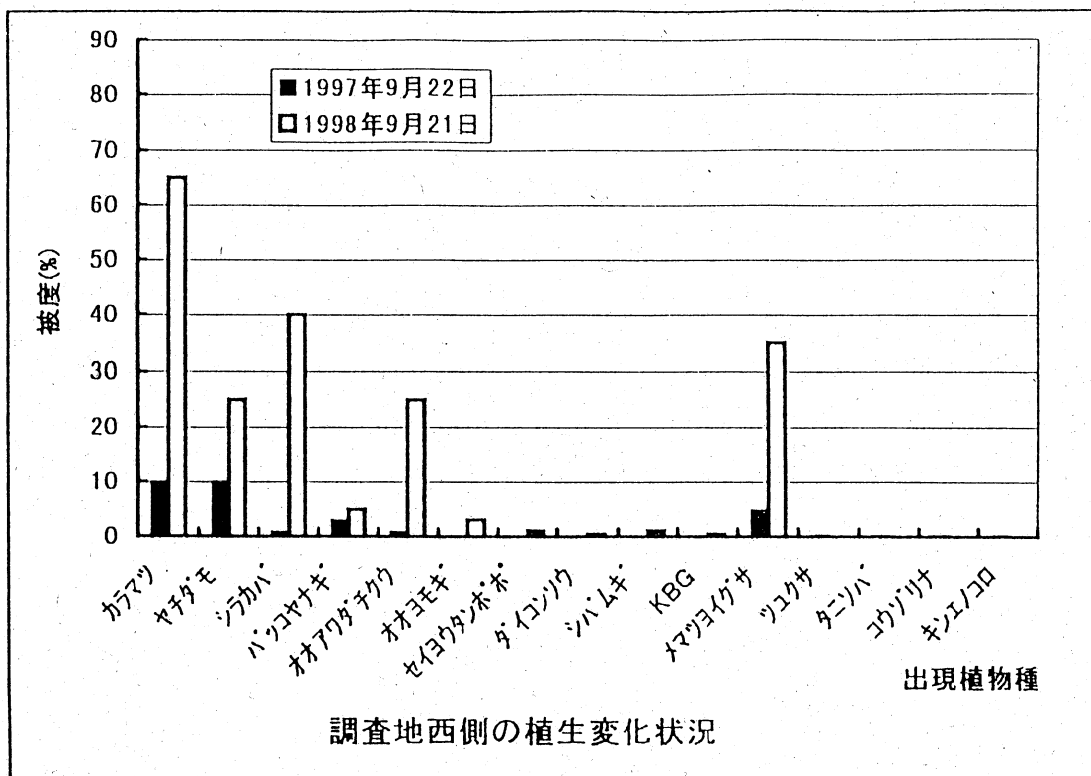


図-4 全調査区の植生変化状況（東側）



図－5 全調査区の植生変化状況（西側）

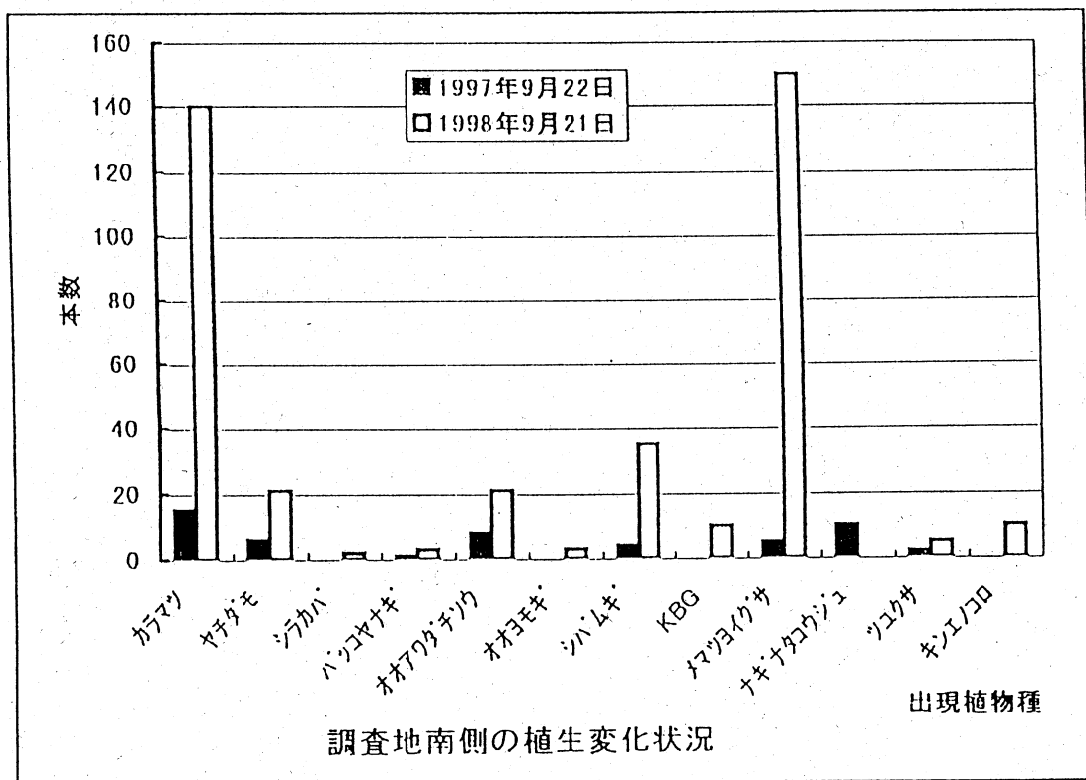
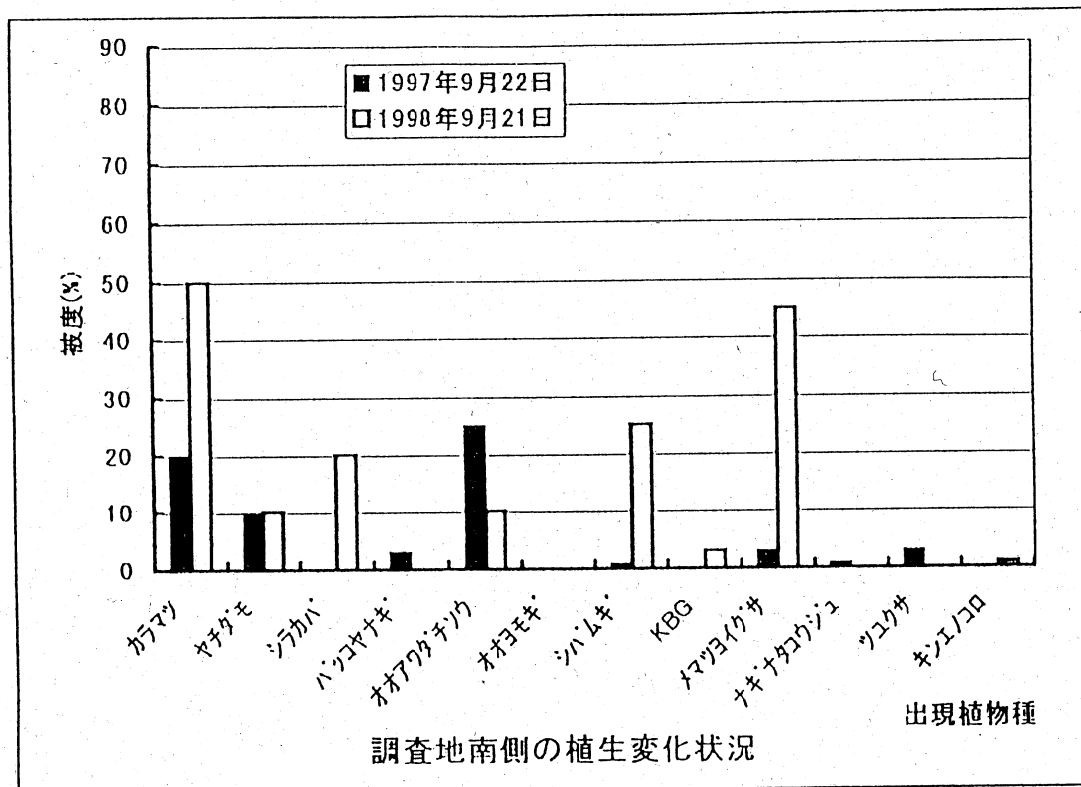


図-6 全調査区の植生変化状況（南側）

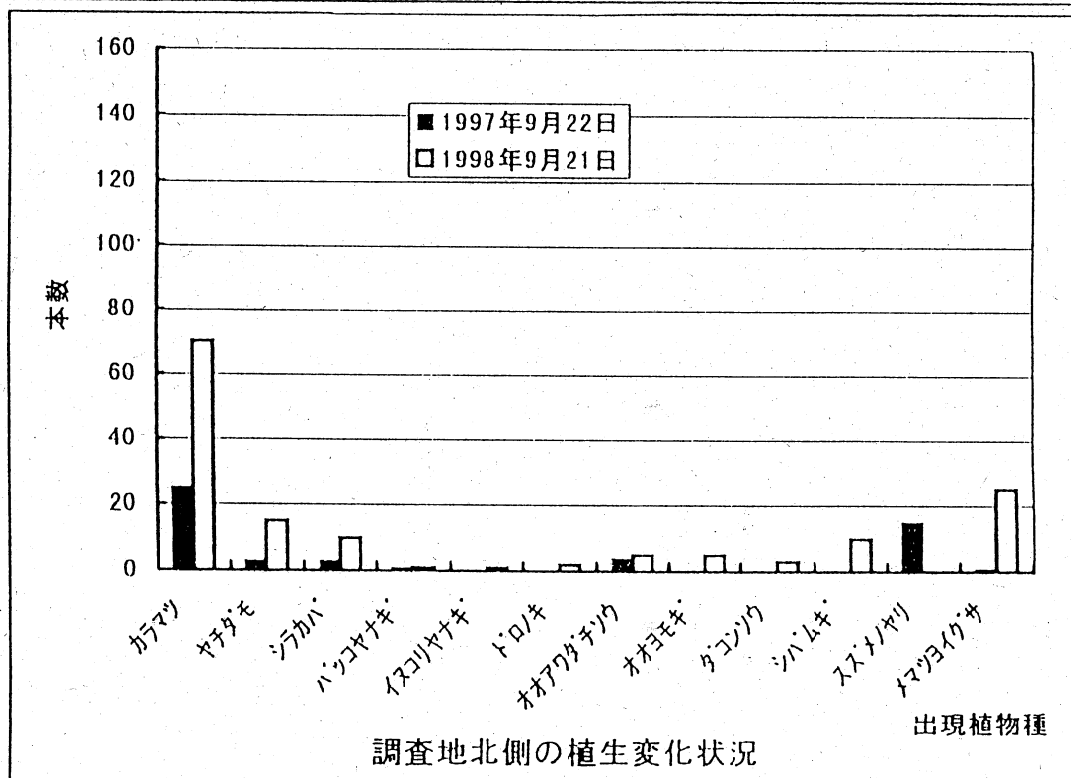
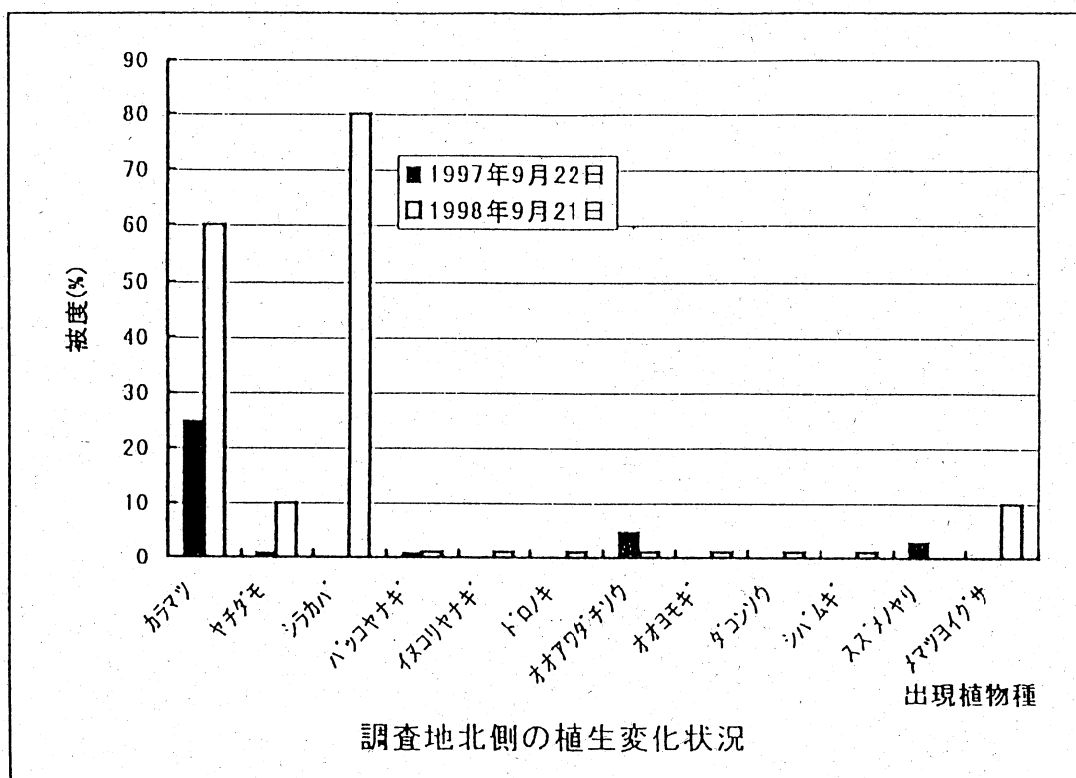


図-7 全調査区の植生変化状況（北側）

表 - 2 新造成区の出現植生と生活型

植 物 名	草 丈 (cm)	生 活 型
トールフェスク (オニウシノケク'サ)	70	H R <sub>3</sub> D <sub>4</sub> t
ケンタッキー (ナカ'ハク'サ)	40	H R <sub>3</sub> D <sub>4</sub> t
ヘ'レニアルライク'ラス (ホソムキ')	50	H R <sub>5</sub> D <sub>4</sub> t
ヒメスイハ'	10	H R <sub>2-3</sub> D <sub>4</sub> P <sup>r</sup>
ハチシ'ヨウナ	15	H R <sub>2-3</sub> D <sub>1</sub> P <sup>r</sup>
エソ'ノキ'シキ'シ	55	H R <sub>5</sub> D <sub>4</sub> P <sup>s</sup>
セイヨウタンポ'ホ'	15	H R <sub>3</sub> (v) D <sub>1</sub> r
オオヨモキ'	15	Ch R <sub>2-3</sub> D <sub>4</sub> P <sup>r</sup>
エノコロク'サ	50	Th R <sub>5</sub> D <sub>4</sub> t
キンエノコロ	30	Th R <sub>5</sub> D <sub>4</sub> t
シロサ'	50	Th R <sub>5</sub> D <sub>4</sub> e
イヌタデ'	30	Th R <sub>5</sub> D <sub>4</sub> e, b
タニソハ'	30	Th R <sub>4</sub> D <sub>4, 1</sub> b-p
メマツヨイク'サ	5	Th (w) R <sub>5</sub> D <sub>4, 1</sub>
ツユクサ	50	Th R <sub>5</sub> D <sub>4</sub> b-p
ナギ'ナタコウシ'ユ	55	Th R <sub>5</sub> D <sub>4</sub> e
スギ'ナ	15	G R <sub>2-3</sub> D <sub>1</sub> e

注：調査日：1997年9月22日

表 - 3 全調査区の出現植生と生活型

植 物 名	高さ (cm)	生 活 型
カラムツ	10	木 本
シラカハ	10	木 本
ヤチタモ	15	木 本
オノエヤナギ	35	木 本
ハッコヤナギ	30	木 本
トロノキ	25	木 本
オオアワタチソウ	30	H R <sub>2-3</sub> D <sub>1</sub> P <sup>r</sup>
セイヨウタンポポ	3	H R <sub>3</sub> (v) D <sub>1</sub> r
オトコヨモギ	50	H R <sub>3</sub> D <sub>4</sub> P <sup>r</sup>
オオハコ	10	H R <sub>3</sub> (o) D <sub>2,4</sub> r
シハムギ	3	H R <sub>3</sub> D <sub>4</sub> t
スズメノヤリ	10	H R <sub>5</sub> D <sub>4</sub> t
チモシ (オオアワカエリ)	5	H R <sub>3</sub> D <sub>4</sub> t
ケンタッキーフルーグラス (ナカハクサ)	10	H R <sub>3</sub> D <sub>4</sub> t
オオヨモギ	45	Ch R <sub>2-3</sub> D <sub>4</sub> P <sup>r</sup>
タニコソウ	5	Ch R <sub>3</sub> D <sub>2</sub> P <sup>s</sup>
キシムシロ	10	Ch R <sub>3</sub> D <sub>4</sub> b-P <sup>s</sup>
メマツヨイクサ	8	Th (w) R <sub>5</sub> D <sub>4,1</sub>
ヒメシヨオン	8	Th (w) R <sub>5</sub> D <sub>1</sub> P <sup>r</sup>
タニソハ	5	Th R <sub>4</sub> D <sub>4,1</sub> b-p
コウソリナ	45	Th (w) R <sub>5</sub> D <sub>1</sub> P <sup>s</sup>
ツユクサ	30	Th R <sub>5</sub> D <sub>4</sub> b-p
ナギナタコウシュ	10	Th R <sub>5</sub> D <sub>4</sub> e
キンエノコロ	10	Th R <sub>5</sub> D <sub>4</sub> t
ノゲシ	30	Th (w) R <sub>5</sub> D <sub>1</sub> P <sup>r</sup>

注：調査日1997年9月22日

## 雑草の生活型

植物はその生育する環境に調和して形や機能を変えていく性質がある。それも細かにみれば千差万別であるが環境との関連を考えながら生活様式を類型的にとらえたのが生活型である。今日用いられている生活型は、1907年にラウンケアによって提唱されたものがもとになっている。その後、植物の形を通して環境を把握するという立場から、さまざまな生活型の分類様式がくふうされてきた。本書の生態と分類編中の解説のおわりに表示した生活型は、つぎの順序で3通りをとりあげている。(1)休眠型 (2)繁殖型(地下器官型・散布器官型) (3)生育型 これらは従来から用いられている様式にもとづいている。観察がぐわしくなるにつれ新しい類型がほしくなる。しかしあまり細分化すると、また利用しにくくなるので、一応妥当と思われるところに落ちつかせた。ともかく、野外での観察をより正確にさせるうえに、植物を生活型的にみることは有効な方法といえる。

### 本書で用いた生活型

本書では下記のとりの配列順序で生活型を記載した。

例 (生活型)	L. f :	<u>Th</u>	<u>R<sub>s</sub></u>	<u>D<sub>s</sub></u>	<u>e</u>
		休眠型	地下器官型	散布器官型	生育型

#### 1. 休眠型 (dormancy form)

ラウンケアの生活型というのは、休眠型のことである。植物が生育に不適な時期をどんな様式で過ごすかという点に注目したもので、休眠芽(冬芽)の位置に基準をおいている。これを植物に応用すると、それぞれの生活環境を知るうえに役立つ。

#### 2. 繁殖型

地下器官型 R (radicoid form) 地下部の形はふだんあまり目にふれないが、生態上重要な意味をもっている。季節をおって掘ってみると、その様相が判明する。地上部が別々でも、地下部が連絡体を作ることもあり、密生していても地下部に連絡体が全くないこともある。植物の生活力を知り、その防除を考えるうえにも、地下部を明らかにすることはぜひ必要なことである。

散布器官型 D (disseminule form) 種子や果実の散布のしかたを類型化したものである。

#### 3. 生育型 (growth form)

地上部の形態と生育のようすをいくつかの類型にわけたものである。地下部よりも環境の影響をうけて変化しやすいので、その類型化はかなり複雑であるが、もっとも目にふれる部分であるから、植物をあつかううえには、合理的にとりあげたい生活型である。

### 生活型の分け方とその記号

#### 1. 休眠型の分けかたとその記号

1 年草・越年草……1年間のある時期に植物体が枯れて種子だけで過ごすもの。

Th ……越冬しないもの(夏型1年草)・イヌタデ・シロザ・イヌホオズキ・スベリヒユ・メナモミなど。

Th(w) ……越冬するもの(越年草・冬型1年草)・ホウコグサ・ヒメジョオン・オニタビラコ・ナズナなど。

Th(v) ……地下にある休眠芽が親植物から分離して越冬し、親植物はその年に枯死する(栄養繁殖型越年草、多年草の一つのタイプとみてもよい)・ヤブレガサ・ウマノミツバなど。

多年草……地上部が枯れても、からだの一部が残り、そこからまた成長するもの。

D<sub>3</sub> ……種子を生じないで栄養繁殖によるもの・ヒルガオ・ヒガンバナなど。

(注) D<sub>1</sub> と D<sub>4</sub> あるいは D<sub>2</sub> と D<sub>4</sub> の両方の散布型をもったものについては D<sub>1,4</sub> や D<sub>2,4</sub> という組み合わせで示した。

### 3. 生育型の分けかたとその記号

e ……直立型(地上部の主軸がはっきりした直立性のもの)・シロザ・エノキグサ・ヌスビトハギ・ドクダミ・ヒナタイノコズチなど。

b ……分枝型(茎の下部で分枝が多く、主軸がはっきりしないもの)・ホトケノザ・ニシキソウ・スベリヒユ・アブノメ・ザクロソウなど。

t ……そう生型(株をつくり、それから茎がそう生するもの)・ススキ・スズメノテッポウ・イ・イヌビエ・カヤツリグサなど。

ℓ ……つる型(茎が巻きついたり、よりかかるもの)・ヤブガラシ・カナムグラ・ツルフジバカマなど。

p ……ほふく型(ほふく茎をのばし、各所から根をだすもの)・チドメグサ・シロツメクサ・ササガヤ・チヂミザサなど。

r ……ロゼット型(放射状の根生葉だけで花茎に葉がないもの)・タンポポ・オオバコ・タビラコなど。

pr ……一時ロゼット型(はじめロゼット型で、のちにロゼット葉は枯れて直立型となるもの)・ヒメジョオン・ヒメムカシヨモギ・ノグシ・ノコンギクなど。

ps ……にせロゼット型(ロゼット葉を残したままで直立茎に葉があるもの)・ハルジオン・オニタビラコ・アラゲハンゴンソウ・ダイコンソウなど。

(注)分枝型と一時ロゼット型、分枝型とつる型、分枝型とにせロゼット型、ほふく型とにせロゼット型、ほふく型と一時ロゼット型、ほふく型と分枝型、ほふく型と直立型など、一つの植物が両方の生育型をもつものについては、下記のような組み合わせで示した。

b-pr …分枝型と一時ロゼット型の生育型をもつもの・キュウリグサ・ハナイバナなど。

b-ps …分枝型とにせロゼット型との生育型をもつもの・キジムシロ・キランソウ・ミツバツチグリ・タチツボスミレ・トキワハゼ・ツボスミレなど。

p-ps …ほふく型とにせロゼット型との生育型をもつもの・ジシバリ・ホタルカズラなど。

ps-ℓ …にせロゼット型とつる型との生育型をもつもの・タチフウロなど。

p-r …ほふく型とロゼット型との生育型をもつもの・トチカガミなど。

b-p …分枝型とほふく型との生育型をもつもの・アゼナ・アゼトウガラシ・イボクサなど。

p-b …ほふく型と分枝型との生育型をもつもの・オオイヌノフグリ・キカシグサ・コナスビ・ヒシなど。

b-ℓ …分枝型とつる型(茎が巻きついたり、他物によりかかるもの)との生育型をもつもの・イシミカワ・ママコノシリヌグイ・ヤエムグラ・アカネ・ウナギツカミなど。

ℓ-b …つる型と分枝型との生育型をもつもの・クズ・ヤブマメ・ツルマメ・カラスノエンドウ・カスマグサなど。

p-e …ほふく型と直立型との生育型をもつもの・アゼムシロ・アリノトウグサなど。

p-ℓ …つる型とほふく型との生育型をもつもの・ナワシロイチゴなど。

t-p …そう生型とほふく型との生育型をもつもの・メヒシバ・コメヒシバ・ケイヌビエ・クリノイガ・アシカキ・サヤヌカグサなど。

e, b ……直立型あるいは分枝型となるもの・ノボロギク・チチコグサモドキなど。

n, b ……水生植物であって、浮游性で分枝型となるもの・サンショウモなど。

n, r ……水生植物であって、浮游性で一種のロゼット型のもの・ウキクサ・アオウキクサなど。

## 雑草の生活型

- G……………休眠芽が地中にあるもの(地中植物)・ヤブガラシ・イタドリ・ドクダミ・アカネ・ガガイモなど。  
H……………休眠芽が地表のすぐ下にあるもの(半地中植物)・タンポポ・スミレ・ゲンノショウコ・ススキなど。  
Ch……………休眠芽が地表面上0~0.3mにあるもの(地表植物)・カタバミ・シロツメクサ・ネコハギなど。  
N……………休眠芽が地表面上0.3~2mにあるもの(低木・微小地上植物)・ドクウツギ・コゴメウツギなど。  
M……………休眠芽が地表面上2~8mにあるもの(小高木・小型地上植物)・ニワトコ・アセビなど。  
MM……………休眠芽が地表面上8~30m及びそれ以上のもの(中高木・大高木、中型・大型地上植物)・コナラ・アラカシ・アカメガシワなど。

沼沢植物(Hle)、水生植物(Hly)を本書では一括してHHとし、1年草はHH(Th)とした。

- HH(Th)…水湿植物で1年草・コナギ・チョウジタデ・タマガヤツリ・ホシクサ・アゼナ・ミズオオバコなど。  
HH……………水湿植物で多年草・セリ・オモダカ・ミズガヤツリ・ヒルムシロ・トチカガミ・ミクリなど。  
HH(rd) ……根が泥中にあるもの・ガガブタ・セシなど。  
HH(n) ……水面に浮遊している型のもの・アカウキクサ・オオアカウキクサなど。

## 2. 繁殖型

### 地下器官型の分けかたとその記号

- R<sub>1</sub>……………根茎が横走して、最も広い範囲に連絡体をつくるもの・ドクダミ・スギナなど。  
R<sub>2</sub>……………根茎が横走して、やや広い範囲に連絡体をつくるもの・カミエビ・ヤブガラシ・イタドリなど。  
R<sub>3</sub>……………根茎が短く分枝し、最も狭い範囲に連絡体をつくるもの・アカソ・オトコヨモギ・ススキなど。  
R<sub>4</sub>……………地表にはふく茎をのびあるいは倒伏し、ところどころから根をおろして連絡体をつくるもの・メヒシバ・ヘビイチゴ・カキドウシ・オオチドメ・ホタルカズラなど。  
R<sub>5</sub>……………地下や地上に連絡体をつくらず単立(主根と側根からなるふつうの根)しているもの・ナズナ・イヌビユ・ノゲシ・シロザなど。

(注) R<sub>4</sub>とR<sub>5</sub>の両方の地下器官型をもつものについては、R<sub>4-5</sub>という組み合わせで示した。また地下の連絡体の範囲に幅のあるときはR<sub>1-2</sub>・R<sub>2-3</sub>のように示した。

(注) 連絡体の有無に関係なく地下器官型が特別に変形したものについては、次の記号で示した。鱗茎R(b)、球茎R(c)、塊茎R(t)、塊根R(r)、多肉根R(s)、また、根茎が地下に斜めにのびる型R(o)、垂直にのびる型R(v)で表わした。

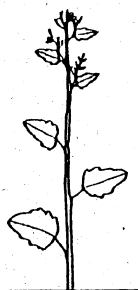
- R(b) ……鱗茎があって、不定芽でふえるもの・R<sub>5</sub>(b)=ムラサキカタバミ・ツルボ・ヒガンバナ・R<sub>3</sub>(b)=ノビル・ホソバノコウガイゼキショウなど。  
R(c) ……球茎があって、不定芽でふえるもの・R<sub>5</sub>(c)=カラスビシャク・ウラシマソウなど。  
R(t) ……塊茎があって、不定芽でふえるもの・R<sub>5</sub>(t)=オモダカ・ウリカワ・R<sub>3-5</sub>(t)=クログワイなど。  
R(s) ……多肉質の根があってふえるもの・R<sub>3</sub>(s)=ジャノヒゲ・シオデ・トコロ・ワレモコウ・ヤブカンゾウ・サルトリイバラなど。  
R(o) ……根・茎が地下に斜めにのびる型のもの・R<sub>3</sub>(o)=オオバコ・R<sub>5</sub>(o)=カラスウリなど。  
R(v) ……根・茎が地下に垂直にのびる型のもの・R<sub>3</sub>(v)=ツリガネニンジン・タチツボスミレなど。

### 散布器官型の分けかたとその記号

- D<sub>1</sub>……………果実や種子が微細で軽かったり、冠毛、羽毛状、翼などをもっていて、風や水によって運ばれるもの・ヒメジョオン・ノゲシ・ボタンヅル・トコロ・ウキヤガラ・ミズハコベ・オモダカなど。  
D<sub>2</sub>……………果実が動物にたべられて種子だけが排出されたり、カギ、針、粘液などで動物や人体に付着して運ばれるもの・ヒナタイノコズチ・タウコギ・ススビトハギ・オオバコ・ヤブジラミ・ガマズミなど。  
D<sub>3</sub>……………果皮の裂開力によって散布するもの・フジ・ゲンノショウコ・スミレ・タカトウダイなど。  
D<sub>4</sub>……………とくに散布のしくみがなく、重力にしたがって、その周辺に落下するもの・メヒシバ・イヌタデ・ハコベ・オオイヌノフグリ・ホトケノザ・ツユクサ・コナラなど。

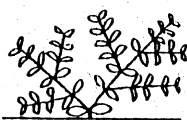
### 3. 生育型の分けかたとその記号

e…直立型（地上部の主軸がはっきりした直立性のもの）



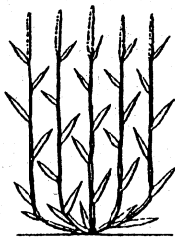
e シロザ

b…分枝型（茎の下部で分枝が多く、主軸がはっきりしないもの）



b コニシキソウ

t…そう生型（株をつくり、それから茎がそう生するもの）



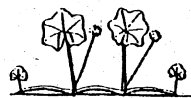
t スズメノテッポウ

l…つる型（茎が巻きついたり、よりかかるもの）



l ヒルガオ

p…ほふく型（ほふく茎をのばし、各所から根をだすもの）



p ノチドメ

r…ロゼット型（放射状の根生葉だけで花茎に葉がないもの）



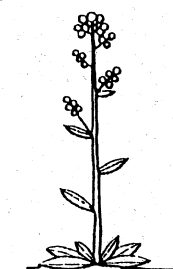
r タンポポ

pr…一時ロゼット型（はじめロゼット型で、のちにロゼット葉は枯れて直立型となるもの）



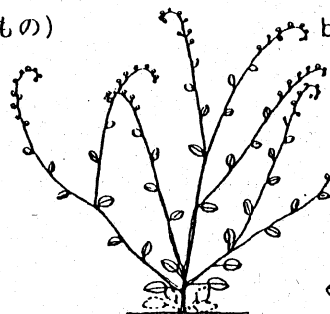
pr ヒメジョオン

b-pr…分枝型と一時ロゼット型のもの



ps オニタビラコ

ps…にせロゼット型（ロゼット葉を残したままで直立茎に葉があるもの）



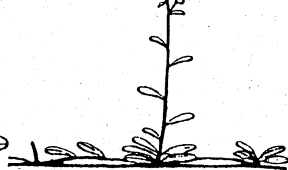
b-pr キュウリグサ

b-ps…分枝型とにせロゼット型のもの



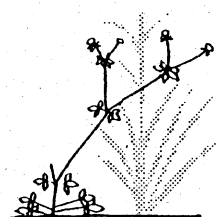
b-ps キジムシロ

p-ps…ほふく型とにせロゼット型のもの



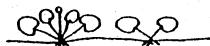
p-ps ホタルカズラ

ps-l…にせロゼット型とつる型のもの



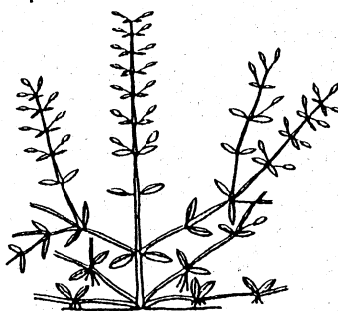
ps-l タチフウロ

p-r…ほふく型とロゼット型のもの



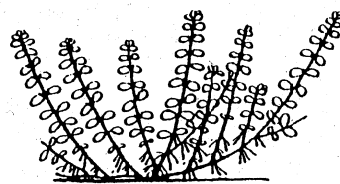
p-r トチカガミ

b-p…分枝型とほふく型のもの



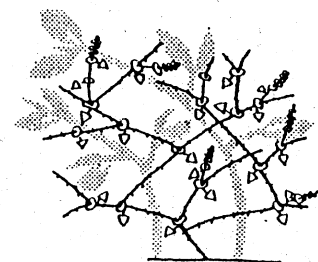
b-p アゼトウガラシ

p-b…ほふく型と分枝型のもの



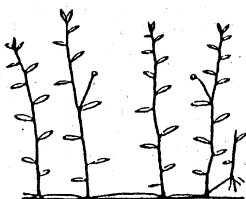
p-b キカシグサ

b-l…分枝型とつる型のもの



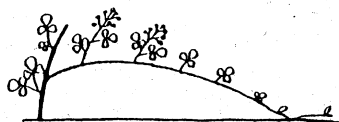
b-l イシミカワ

p-e…ほふく型と直立型のもの



p-e アゼムシロ

p-l…ほふく型とつる型のもの



p-l ナワシロイチゴ

t-p…そう生型とほふく型のもの

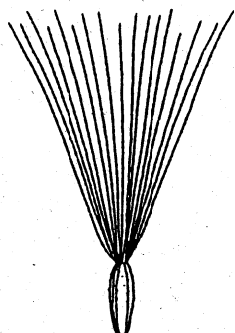


t-p メヒシバ

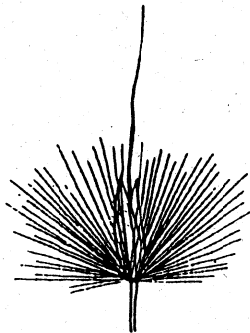
雑草の生活型

繁殖型・散布器官型の分けかたとその記号

D<sub>1</sub>…果実や種子が微細で軽かったり、冠毛、羽毛状、翼などをもっていて、風や水によって運ばれるもの



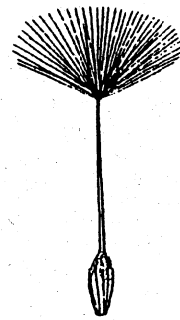
ホウコグサ



ススキ



ウキヤガラ



カントウタンポポ

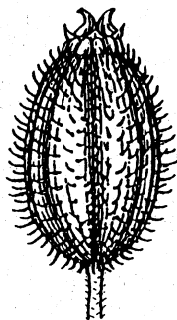
D<sub>2</sub>…果実が動物にたべられて種子だけが排出されたり、カギ、針、粘液などで動物や人体に付着して運ばれるもの



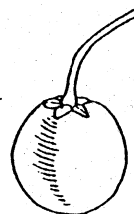
アメリカセンダングサ



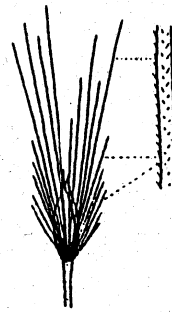
イノコズチ



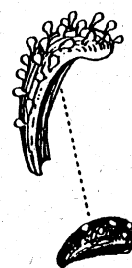
ヤブジラミ



イヌホウズキ



チカラシバ

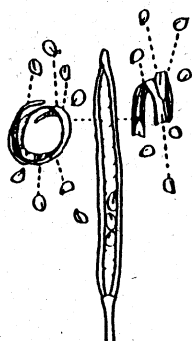


メナモミ

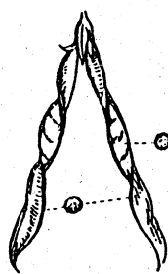
D<sub>3</sub>…機械的に果皮の裂開力によって散布するもの



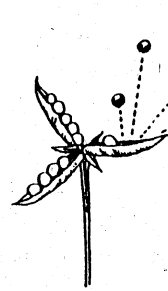
トウダイグサ



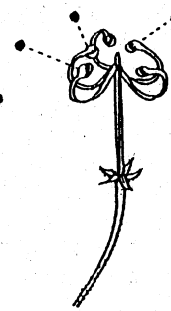
タネツケバナ



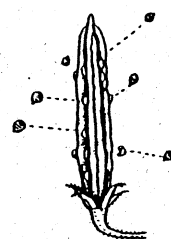
ヤハズエンドウ



スマレ

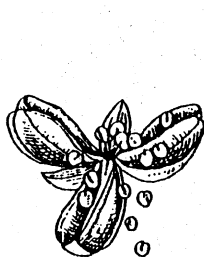


ゲンノショウコ

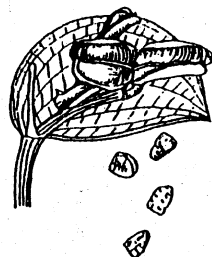


カタバミ

D<sub>4</sub>…とくに散布のしきみがなく、重力にしたがって、その周辺に落下するもの



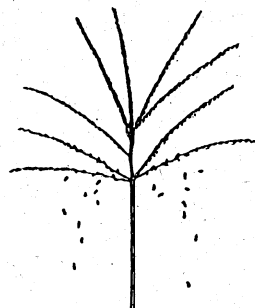
ザクロソウ



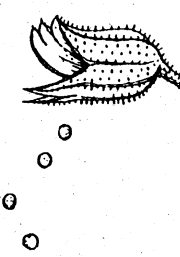
ツユクサ



クサノオウ



メヒシバ

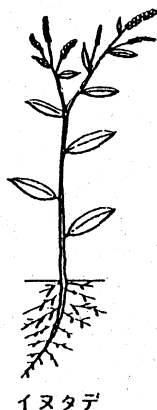


ヒメジソ

## 雑草の生活型

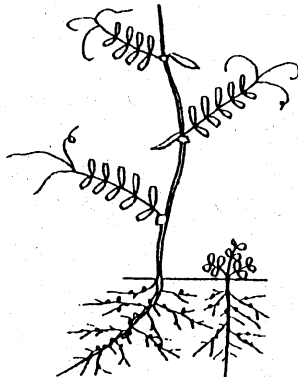
### 1. 休眠型の分けかたとその記号

1年草 Th…越冬しないもの  
(夏型1年草)



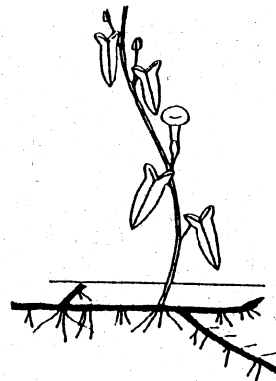
イヌタデ

Th(w)…越冬するもの(越  
年草・冬型1年草)



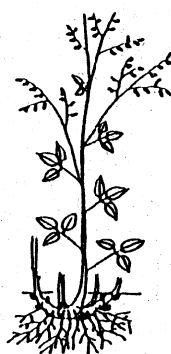
カラスノエンドウ

多年草 G…休眠芽が地中にあるもの  
(地中植物)



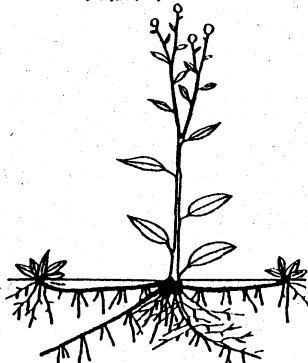
ヒルガオ

多年草 H…休眠芽が地表の  
すぐ下にあるもの(半地中植物)



ヌスビトハギ

Ch…休眠芽が地表面上0~  
0.3mにあるもの(地  
表植物)

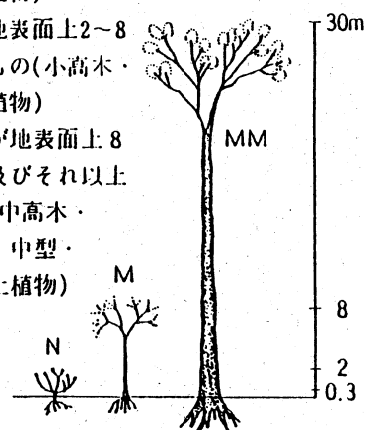


ヨメナ

N…休眠芽が地表面上0.3~2mにあるもの(低木・  
微小地上植物)

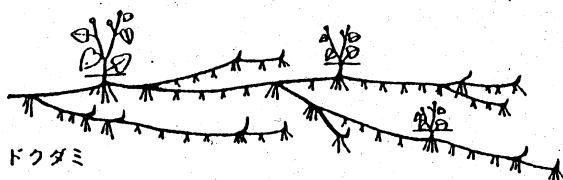
M…休眠芽が地表面上2~8  
mにあるもの(小高木・  
小型地上植物)

MM…休眠芽が地表面上8  
~30m及びそれ以上  
のもの(中高木・  
大高木、中型・  
大型地上植物)



### 2. 繁殖型・地下器官型の分けかたとその記号

R<sub>1</sub>…根茎が横走して、最も広い範囲に連絡体をつくるもの



ドクダミ

R<sub>2</sub>…根茎が横走して、やや広い範囲に連絡体  
をつくるもの



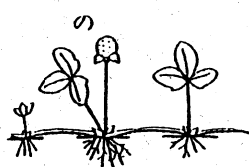
チガヤ

R<sub>3</sub>…根茎が短く分枝し、最も狭い範囲に連  
絡体をつくるもの



ススキ

R<sub>4</sub>…地表にはふく茎をのば  
しあるいは倒伏し、と  
ころどころに根をおろ  
して連絡体をつくるもの



ヘビイチゴ

R<sub>5</sub>…地下や地上に  
連絡体をつく  
らず単立(主  
根と側根から  
なるふつうの  
根)している  
もの



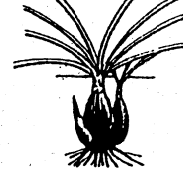
R<sub>5</sub> イヌビユ

R<sub>3</sub>(o)…根・茎が地下に斜めにの  
びる型のもの

R<sub>3</sub>(b)…鱗茎があって、不定芽  
でふえるもの



R<sub>3</sub>(o) オオバコ



R<sub>3</sub>(b) ヒガンバナ



写真－１ 植生調査 西側からの撮影  
(1997.9.26)



写真－２ 植生調査 南側からの撮影



写真－3 植生調査 西側からの撮影



写真－4 植生調査 南側からの撮影

## 第7章 電気探査による人工永久凍土のモニタリング

北海道立地下資源調査所 高見 雅三

### 目 次

はじめに

#### 1. 電気探査(比抵抗法)

##### 1.1 測定原理

#### 2. 各測定結果

##### 2.1 電気探査(比抵抗法)

###### 2.1.1 測定装置

###### 2.1.2 電極の組み合わせ及び測定位置図

###### 1.1.1 温度と比抵抗値の関係

###### 1.1.2 温度と不凍水量の関係

###### 1.1.3 比抵抗測定結果

##### 2.2 壁内地盤温度測定

###### 2.2.1 測定位置

###### 2.2.2 測定結果

##### 2.3 降水量測定

###### 2.3.1 調査地域の降水量

###### 2.3.2 降水量と見掛比抵抗との関係

###### 2.3.3 庫内地盤温度と降水量との関係

#### 3. 総 合 解 析

##### 3.1 壁内地盤温度と見掛比抵抗値との相関

##### 3.2 相関式による温度変換結果

##### 3.3 比抵抗から推測される凍結・融解プロセス解析

#### 4. 結 論

おわりに

## 電気探査による人工永久凍土のモニタリング

### はじめに

伝熱素子のヒートパイプによる人工凍土施設を建設する場合、積雪量や積算寒度等の気象条件、消費地に近接しているなどを考慮した上で、経済面から建設場所等を選定する必要がある。また、貯蔵物の発熱量と凍土造成量との関係や気象条件等を考慮した上で、ヒートパイプの本数を推定し、建設コストへの影響なども検討しなければならない。

しかし、これらのことを考慮し、貯蔵施設を建設したとしても、貯蔵物は消費者のニーズの多様化により変化し、また気象条件も年毎に異なるため、これらの要素毎にヒートパイプの本数を増減させる、あるいは凍土造成量に合わせて貯蔵物を変えることは現実上困難である。むしろ、貯蔵施設の維持管理・運営・保守上においては、どの程度凍結しているか、またどの程度融解しているかをモニタリングすることが重要な課題となる。

貯蔵施設の凍結・融解状況を把握するには、温度監視による方法が最も一般的である。この方法は、簡便でポイントデータを把握するには有利ではあるが、面的に把握するには、数多くの温度センサーや測定用ケーブル等を必要するため、経済性や保守面などから必ずしも有利とはいえない。また、この方法は、予め建設時に埋設しなくてはならず、腐食等によりセンサーが破損したり、あるいは測定用ケーブルが断線した場合、交換が困難などの問題が生じる。さらに、測定のポイントが多くなると庫内壁などに多くのケーブルを敷設しなくてはならないため、これに沿って熱や融解水が伝わり凍結や融解を促進したりする可能性などの問題も生じる。

我々は、温度センサーによるポイント測定を補う方法として、非破壊的な調査法の1つである物理探査法に着目し、CT スキャンのように非破壊的に人工凍土施設内外から凍結・融解をモニタリングできる方法について検討を行った。その方法として、地下探査で最もよく利用されている電気探査法を採用した。

電気探査法には、比抵抗法、自然電位法、強制分極(IP)法などがあげられるが、Hoekstra and McNeill (1973)により、0°Cを境に土壌の比抵抗が極端に異なることや、和気ほか(1991,1992,1993)により、季節凍土の解析には比抵抗法が有効と報告されていることから、本研究では、比抵抗法を採用した。この方法は、水資源調査、地熱探査及び土木方面にもよく用いられている探査の1つでもある。

以下、システム内の年間凍土造成量のバランスを把握するために実施した電気探査(比抵抗法)、人工凍土貯蔵庫内の地盤温度測定、降水量測定から人工凍土の形成・発達・減少などのモニタリングを行った結果について報告する。

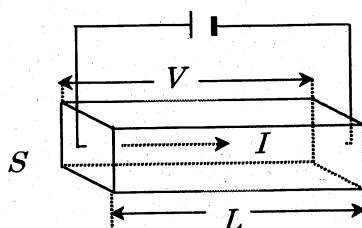
## 1. 電気探査(比抵抗法)

### 1.1 測定原理

第1図に示すような、断面積  $S$  (m<sup>2</sup>)、長さ  $L$ (m)の導体に、 $I$ なる電流を流した場合、両端に生じる電位差を  $V$ とすると、オームの法則により、

$$V = RI \quad \dots(1)$$

が成立する。ここで、比例係数  $R$ はこの導体の電気抵抗といい、各単位は  $V(volt)$ 、 $I(ampere)$ 、 $R(\Omega)$ である。



第1図 導体を流れる電流

次に、第1図の導体中の電流密度  $i$  が一様であれば、電場の強さ  $E$ は

$$E = \frac{V}{L} \quad i = \frac{I}{S} \quad \dots(2)$$

と表される。

一方、ある媒質に電流を流した場合、その媒質における電流密度が一様でなくても、オームの法則が成立する。

$$E = \rho i \quad \dots(3)$$

ここで、 $\rho$ は比抵抗と呼ばれ、一辺の長さが1mの立方体(断面積1m<sup>2</sup>で長さ1mの物質)の抵抗に相当し、その単位は Ohm-m または  $\Omega \cdot m$ (単に  $\Omega m$ )と表される。

電位差  $V$ 及び電気抵抗  $R$ は、(1)(2)(3)式の関係より、

$$V = \rho \frac{L}{S} I \quad R = \rho \frac{L}{S} \quad \dots(4)$$

と表すことができる。

次に、第2図のように、全く平坦な地表面で、かつ等方均質な物質  $\rho$ で構成される大地があると仮定する。その地表上の点  $C_1$ ( $C$ は Current の略)から電流  $I$ が流れると、 $C_1$ 電極の周りにその流れに直交する方向に半円球状の等電位面が生じる。等位電位面上は、同じ電位を示す( $P$ は potential の略)。

半球の表面積が、 $S = 2\pi r^2$ 、 $L \doteq r$ であることから、(4)の左式は、

$$V = \frac{\rho I}{2\pi r} \quad \dots(5)$$

と表すことができる。

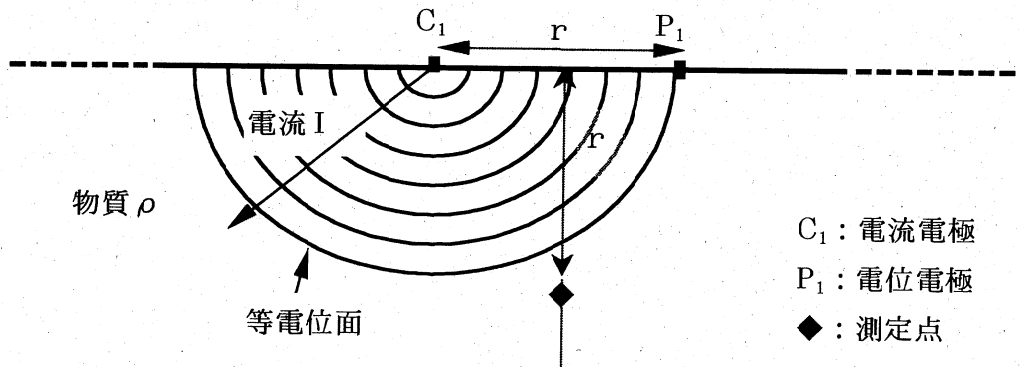
(5)式を比抵抗  $\rho$  について並べ替えると、

$$\rho = 2\pi r \frac{V}{I} \quad \dots(6)$$

となる。これは、2 極法配列の公式を示す。また、電極が地中にある場合は、球の表面積  $S$  が  $4\pi r^2$  となることから

$$\rho = 4\pi r \frac{V}{I} \quad \dots(7)$$

となる。



第2図 比抵抗法の測定原理

実際には、1 点では電流は流れず、電位差も測定できないため、電極  $C_1$  と  $P_1$  とは十分離れた地表に、遠電極  $C_2$  と  $P_2$  を設置し、 $C_1C_2$  間に電流を流し、 $P_1P_2$  間で電位差を測定する。このとき、距離  $C_1C_2$  及び距離  $P_1P_2$  は、電極間隔  $C_1P_1=r$  よりも十分広くとる必要がある。

(6)(7)式で得られる比抵抗  $\rho$  は、大地の比抵抗が一様であれば電極間隔  $r$  を変化させても一定値を示すが、実際の大地は、不均質な物質で構成され、構造も複雑であるため、(6)(7)式で計算される比抵抗  $\rho$  は変化する。また、電極間隔、電極配列 (2 極法、3 極法、4 極法など) などによっても異なるため、(6)(7)式で得られる比抵抗値は、一般には見掛け比抵抗  $\rho_a$  ( $a$ =apparent の略) と呼ばれ、構成される地層の比抵抗値の高低に関係する。

一方、(6)(7)式から得られた見掛け比抵抗  $\rho_a$  は、第2図にしめしたとおり、理論上、距離  $r$  の半円上(等電位面上)ではどこでも同じではあるが、便宜上、 $C_1P_1$  の中間で深度  $r$  の位置(第2図の◆の位置)の値とされる。

## 2. 各測定結果

### 2.1 電気探査

#### 2.1.1 測定装置

測定装置は、表-1 に示すとおりである。送受信機は、高比抵抗測定が可能となるように、出力電圧を 1/10 に改造した、また、電極切り替えは、32 チャンネルが自動で行えるジオメトリックスキャナを使用した。測定システムは、Line の接続切換以外はすべて自動化した。各装置の電源は、DC12 を使用し、各測線への接続は、16 芯シールドケーブルを 4 本使用した。電極には、ステンレス棒と分極の少ない炭素被服のアース棒を使用した。

表-1 測定装置

装置名	使用機器名
送受信機	OYO 製 McOHM-21 Model-2116S
周辺機器	OYO 製 ジオエレクトリック・スキャナ Model-2207

#### 2.1.2 電極の組み合わせ及び測定位置図

測定に使用した測線は、IN,OUT,SOUTH,INTER の 4 Line で、これらの組み合わせは、表-2 に示すように、6 パターンである。測点数は、パターン 1,2 が各 160 点、パターン 3 は 64 点、パターン 4 は 51 点、パターン 5,6 は各 15 点である。

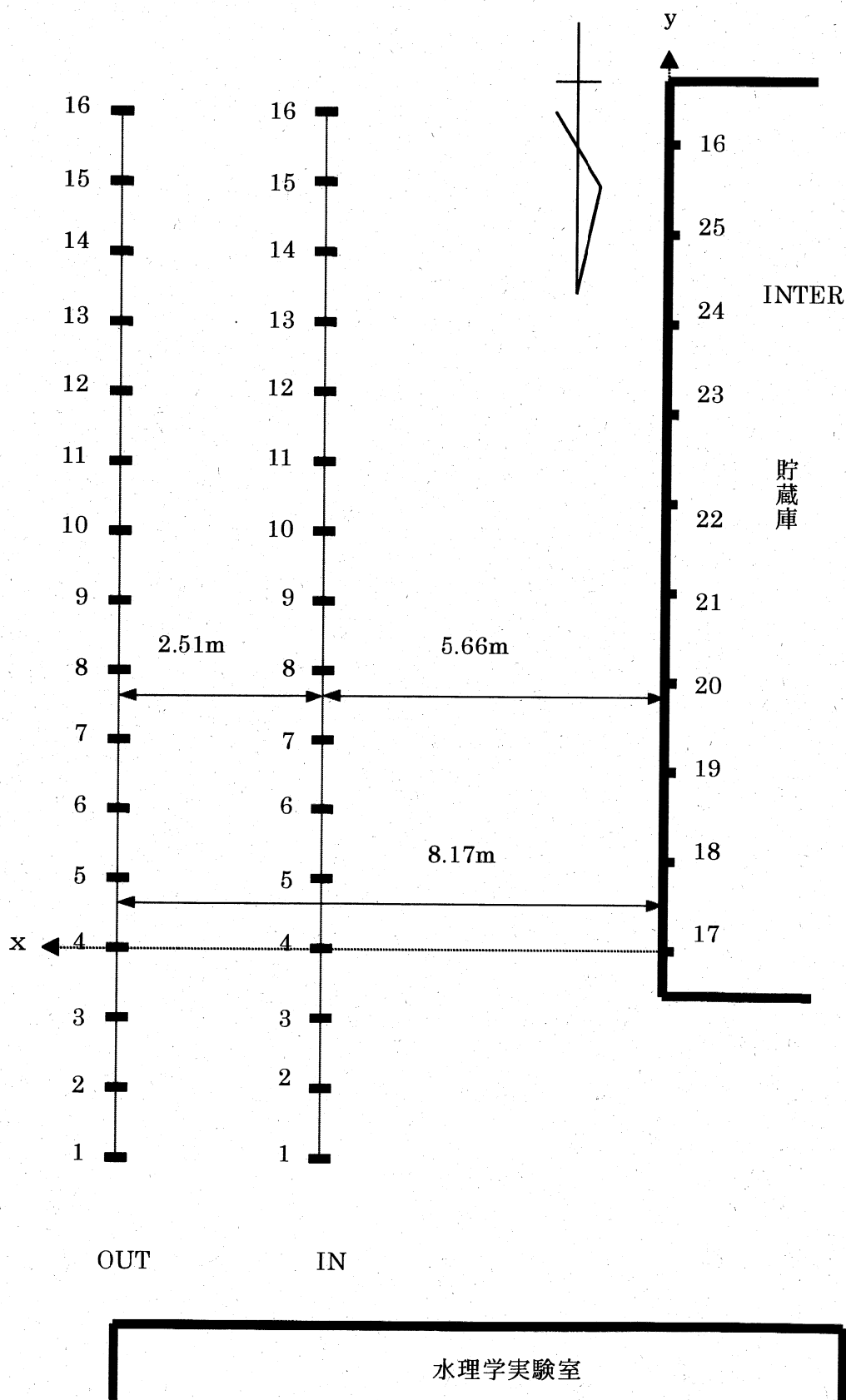
パターン 1～3 は、庫内外の相対変化を、パターン 4 は、ヒートパイプと直交する分布(INTER 17～26)とヒートパイプに沿った方向の分布を、パターン 5,6 は、貯蔵庫周辺部の主に降水の影響や自然積雪下における比抵抗変化をそれぞれ把握するための電極組合せである。

東壁の測定で使用したパターン 1,2,6 の電極配置概念図(平面)を第 3 図に、東壁における電極配置概念図(断面)を第 4 図に、南壁におけるパターン 3,5 の電極配置概念図(断面)を第 5 図に、また、東・南壁におけるパターン 4 の測定位置のイメージ図(波線の交点が測定位置)を第 6,7 図に示す。

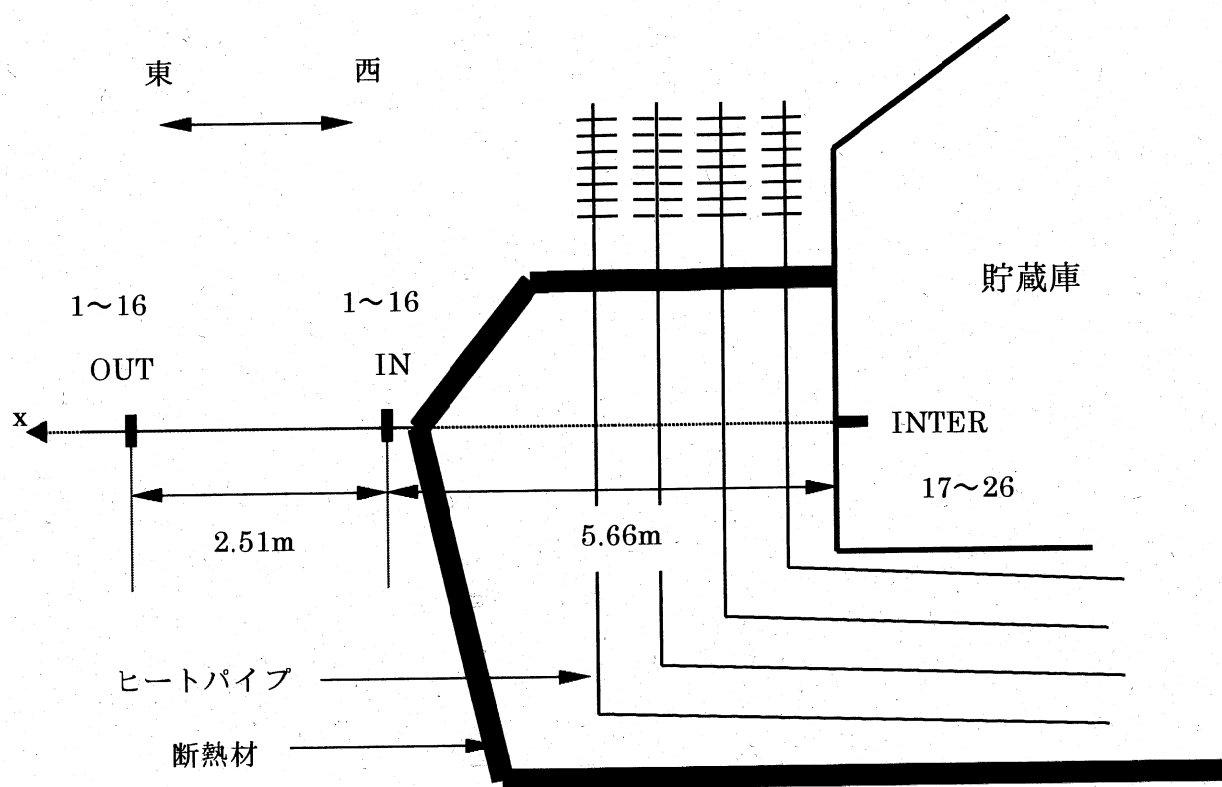
表-2  $C_1, P_1$  の電極パターン

パターン	$C_1$ 電極群	$P_1$ 電極群
1	IN(1～16)	INTER(east 17～26)
2	OUT(1～16)	INTER(east 17～26)
3	SOUTH(1～16)	INTER(south 29～32)
4	INTER(east 17～26) South 29～32)	INTER(east 17～26) South 29～32)
5	SOUTH(1～16)	SOUTH(1～16)
6	IN(1～16)	IN(1～16)

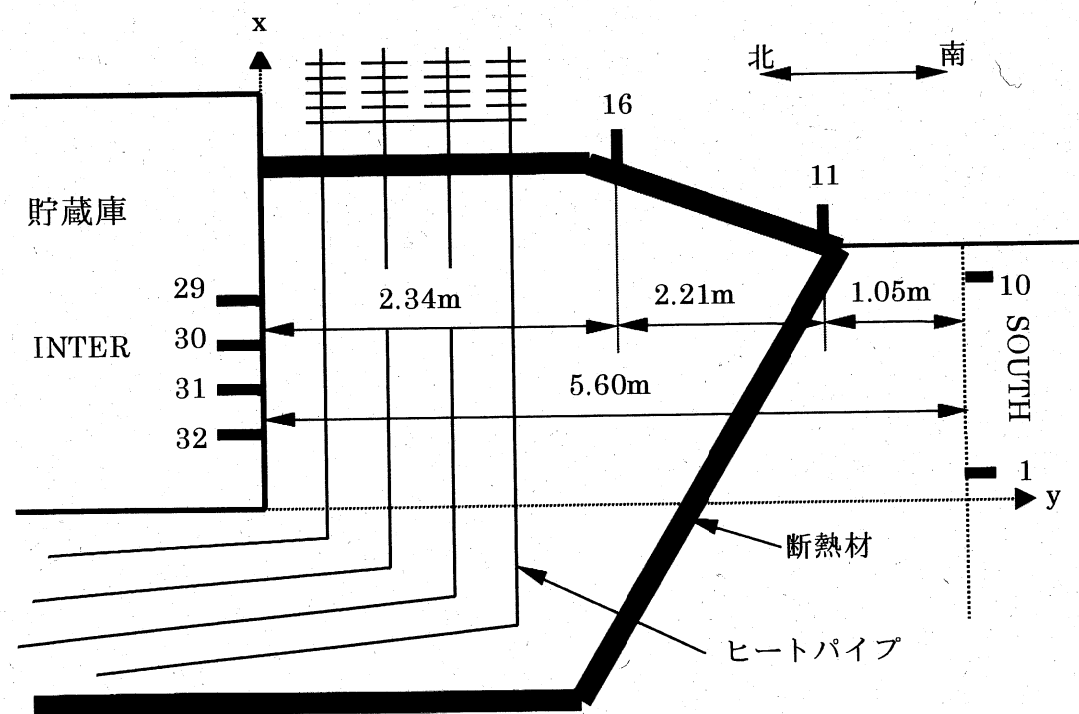
ただし、INTER のうち、17～26 は東壁、29～32 は南壁に設置した。



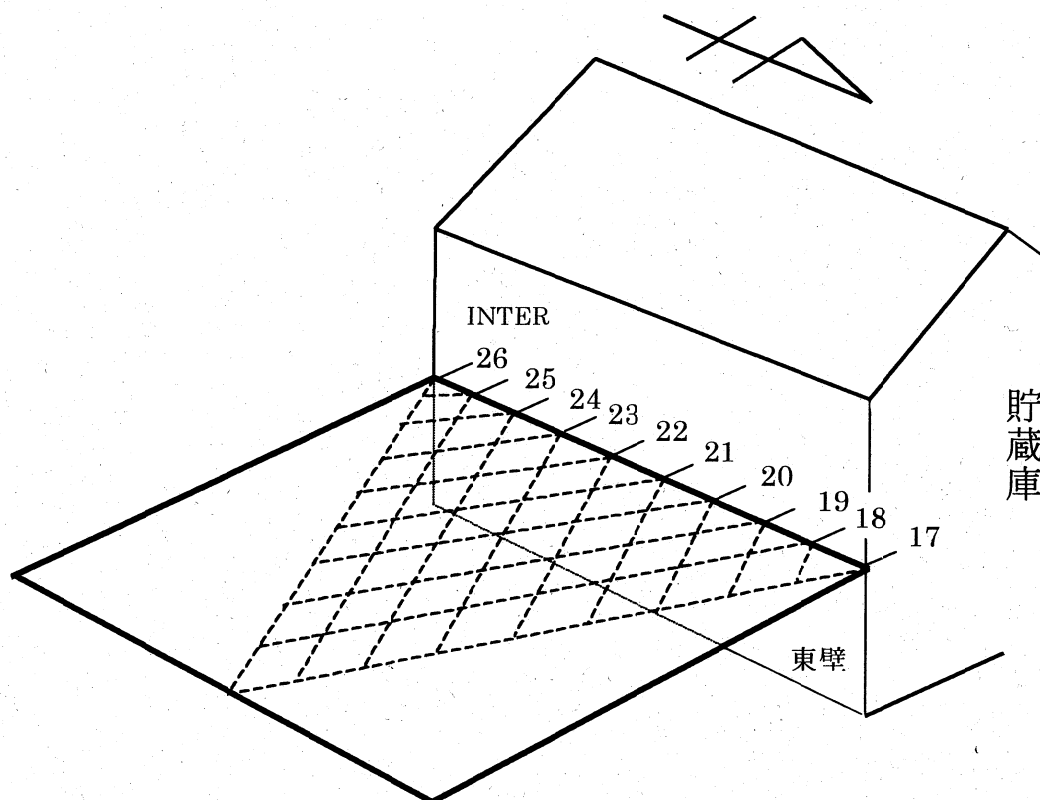
第 3 図 電極配置平面図(パターン 1,2)



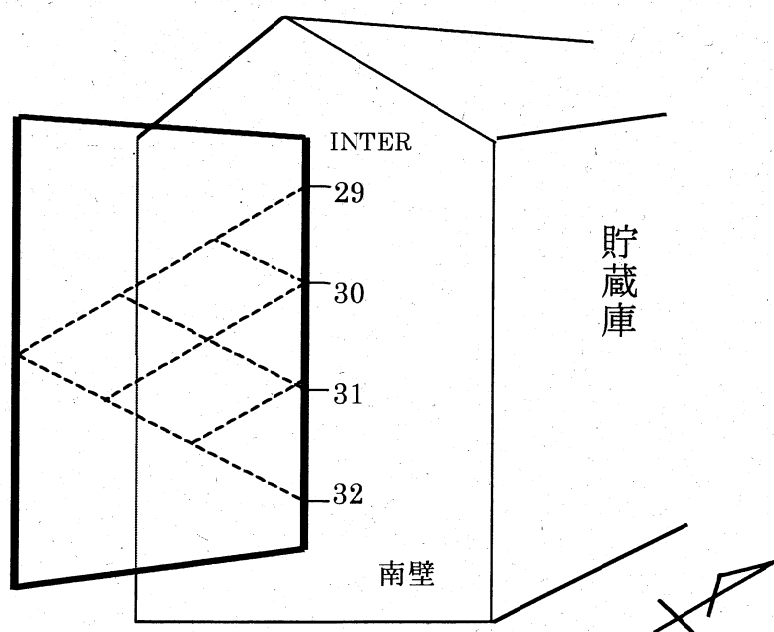
第4図 電極配置図(東壁:パターン1,2,6)



第5図 電極配置図(南壁:パターン3,5)



第 6 図 INTER-INTER(東壁)における測定イメージ(パターン 4)



第 7 図 INTER-INTER(南壁)における測定イメージ(パターン 4)

表-3 に全電極の位置座標を示す。座標原点は、東・南壁にそれぞれ設けた。東壁における座標原点は、INTER 17 の電極、南壁の原点は、INTER 32 下の貯蔵庫床面とした。

東壁は、貯蔵庫内の東壁面に沿った南北方向を y 軸(原点から南方向がプラス)、東壁面に直交する東西方向(原点から東方向がマイナス：西方向がプラス)を x 軸とした。このとき、貯蔵庫内の東壁面に沿った INTER 17~26 の測線の高さが、貯蔵庫外の測線 IN と OUT と同じ高さで、かつ y 軸に平行になるように設置した(第 3,4 図参照)。

南壁は、貯蔵庫内の南壁の上下方向を z 軸(原点から上方向がプラス)、壁に直交する南北方向(原点から南方向がマイナス：北方向がプラス)を y 軸とした(第 5 図参照)。

表-3 全電極の座標(数値の単位はm)

NO.	OUT		IN	
	x	y	X	y
1	-5.66	-1.43	-8.17	-1.50
2	-5.66	-0.93	-8.17	-1.00
3	-5.66	-0.43	-8.17	-0.50
4	-5.66	0.07	-8.17	0.00
5	-5.66	0.57	-8.17	0.50
6	-5.66	1.07	-8.17	1.00
7	-5.66	1.57	-8.17	1.50
8	-5.66	2.07	-8.17	2.00
9	-5.66	2.57	-8.17	2.50
10	-5.66	3.07	-8.17	3.00
11	-5.66	3.57	-8.17	3.50
12	-5.66	4.07	-8.17	4.00
13	-5.66	4.57	-8.17	4.50
14	-5.66	5.07	-8.17	5.00
15	-5.66	5.57	-8.17	5.50
16	-5.66	6.07	-8.17	6.00

NO.	INTER	
	x	y
17	0	0
18	0	0.62
19	0	1.27
20	0	1.86
21	0	2.54
22	0	3.17
23	0	3.72
24	0	4.29
25	0	4.89
26	0	5.46
NO.	INTER	
	y	z
29	0	2.33
30	0	1.83
31	0	1.32
32	0	0.72

NO.	SOUTH	
	y	z
1	-5.600	0.533
2	-5.600	0.783
3	-5.600	1.033
4	-5.600	1.283
5	-5.600	1.533
6	-5.600	1.783
7	-5.600	2.033
8	-5.600	2.283
9	-5.600	2.533
10	-5.600	2.783
11	-4.550	3.032
12	-4.108	3.266
13	-3.666	3.500
14	-3.224	3.734
15	-2.782	3.968
16	-2.340	4.202

### 2.1.3 温度と比抵抗値の関係

土の温度が 0℃以下になると、土に含まれている水分は凍結する。この状態を土が凍るという。凍土は、土粒・水・空気・土粒表面に吸着する不凍水からなり、体積膨張、堅硬、不透水性など凍結する前と異なった性質を示す。また、比抵抗も、含水率や温度などの物理値の変化に反映することが知られており、特に、土壌の水分が凍るとき、極端に高くなることが知られている(Hoekstra and McNeill, 1973)。

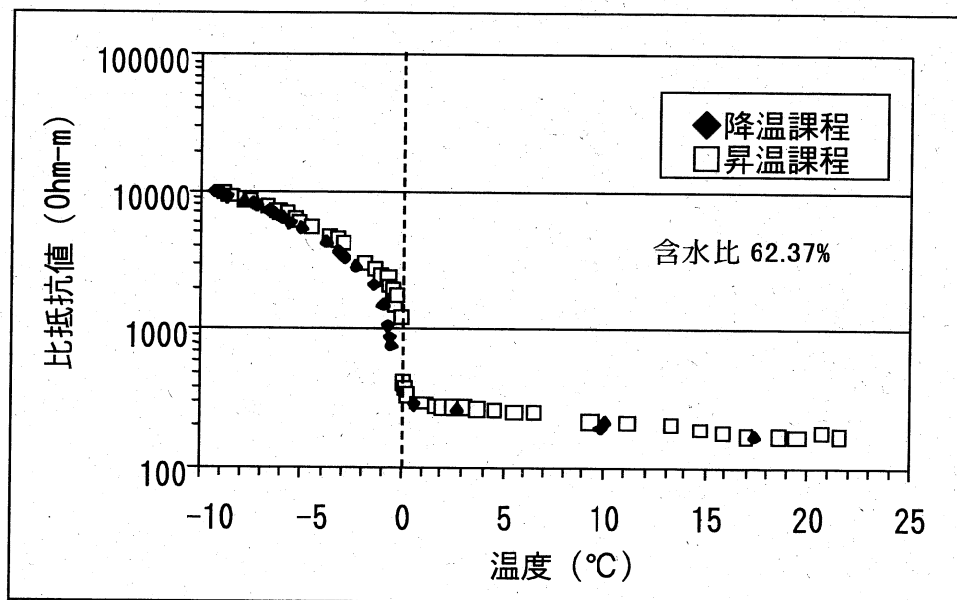
高見ほか(1991)は、温度と比抵抗の関係を把握するために、貯蔵施設内の地盤と同様な土壌試料を用いて、室内実験を行った。

電極にはステンレス網を用い、測定容器は、直径 7.5 cm、高さ 12 cm の円筒で、その両端に板状の電流電極を、円筒の両端からそれぞれ 5.5 cm の位置（円筒の内側）にリング状の電位電極（電極間隔は 1 cm）をそれぞれ設置した。この容器に試料を詰め、これを温度制御可能な低温恒温器に入れて自動計測させた。比抵抗値は、次式により求めた。

$$\rho = \frac{V}{I} \times \frac{S}{L} \quad \cdots (8)$$

ここで、 $V$  は電位電極間で測定された電位差、 $I$  は両端の電流電極に流した電流値、 $L$  は容器内の電位電極間隔、 $S$  は容器（円筒）の断面積を示す。

測定の結果、第 8 図に示すように、 $0^{\circ}\text{C}$  を境にマイナスになると土壌の比抵抗は極端に高くなる。降温過程（図中の◆は、プラス側から温度を下げて測定）において、 $10^{\circ}\text{C}$  における比抵抗値 ( $194\ \Omega\cdot\text{m}$ ) を基準とすると、 $0.6^{\circ}\text{C}$  で 1.5 倍、 $-5^{\circ}\text{C}$  で 27.8 倍、 $-9.3^{\circ}\text{C}$  で 51.8 倍まで高くなる。また、昇温過程（図中の□は、マイナス温度から上げて測定）において、温度上昇とともに比抵抗値は低くなり、 $0^{\circ}\text{C}$  前後で極端に低くなる。この時、降温過程よりも高い値を示すヒステリシスが確認された。なお、この時の土壌試料の土性は、含水比 62.37%、間隙比 2.14、間隙率 68.19%、飽和度 75.95% である。



第 8 図 温度と比抵抗の関係(高見ほか(1991))に一部加筆

#### 2.1.4 温度と不凍水量の関係

2.1.3 では土の比抵抗値は  $0^{\circ}\text{C}$  を境に極端に高くなることを示した。この原因の 1 つとして、土内に含まれる水が氷に変わることがあげられる。すなわち、電荷は電子

により運ばれるが、氷の場合、電子は水分子に強く束縛されるため、自由に動き回ることができない(前野ほか,1994)。このため、土の比抵抗値は高くなると考えられる。また、ヒステリシスの生じる原因は、間隙水に存在する氷の量の違い、すなわち不凍水量の違い(木下,1982)とされており、この不凍水量は温度に強く依存することも知られている(石崎,1994)。

我々は、貯蔵施設と同様の土壌(第8図に用いた試料と同じもの)を用いて、温度と不凍水量との関係を把握するために室内実験を行った。

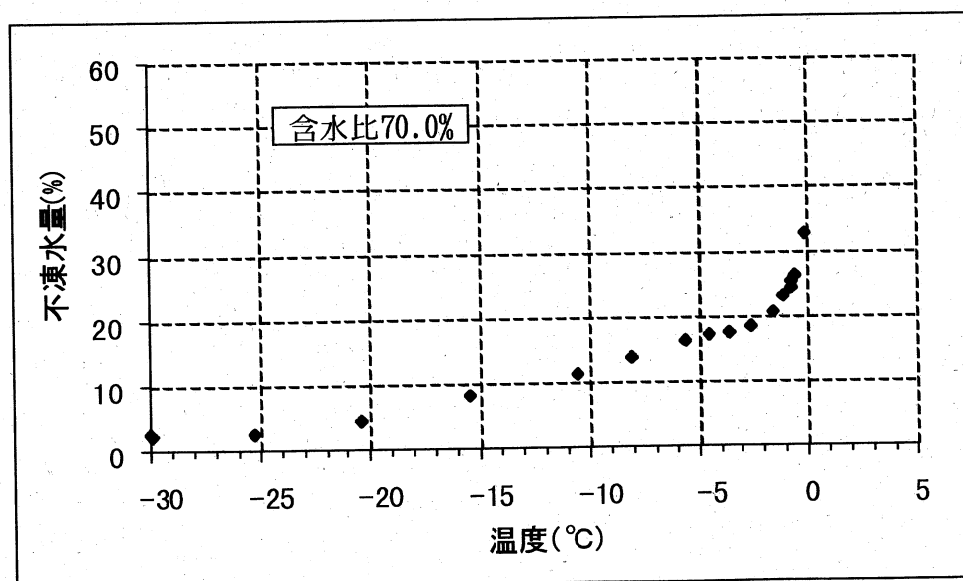
第9図は、温度と不凍水量の関係を示す。測定には、核磁気共鳴装置 PRAXIS-2(測定周波数 10.7MHz、試料容器直径 25 mm  $\phi$ )を用いた。

試料には多量の磁鉄鉱等の磁性鉱物が含まれていたため、5000 ガウス以上の強力磁石でこれらを除去した。除去後の試料に水を加え、自然状態とほぼ同様な含水比で飽和後、 $-30^{\circ}\text{C}$ まで凍結させ、 $-30^{\circ}\text{C}$ から $+20^{\circ}\text{C}$ までの測定温度で FID(自由誘導減衰)のピーク値を求めた。未凍土量  $\theta_u$  は、未凍土部分の外挿値(A)と FID のピーク値(B)と未凍結時の体積含水率( $\theta_0$ )から求めた。

$$\theta_u = (B/A) \theta_0 \rho_w / \rho_d \quad \dots(9)$$

ここで、 $\rho_w$  は水の密度、 $\rho_d$  が乾燥密度を示す。

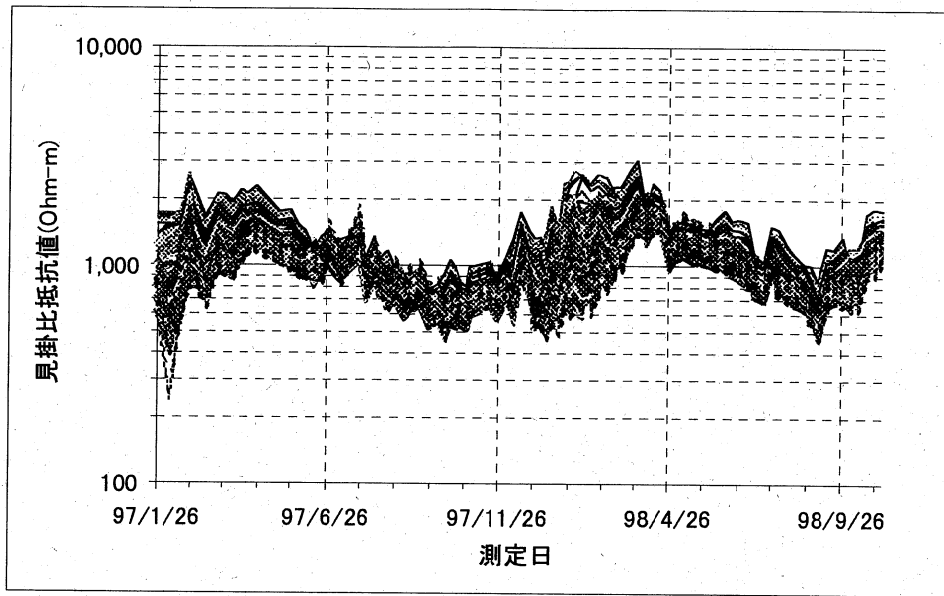
第9図から、試料中の不凍水量は、 $0^{\circ}\text{C}$ を境に極端に減るが、 $-30^{\circ}\text{C}$ 以下でも不凍水として存在していることがわかる。第8図に示したように、温度低下とともに比抵抗値が高くなる要因の一つとして、土壌中の不凍水量の減少に関係あることが確認できた。



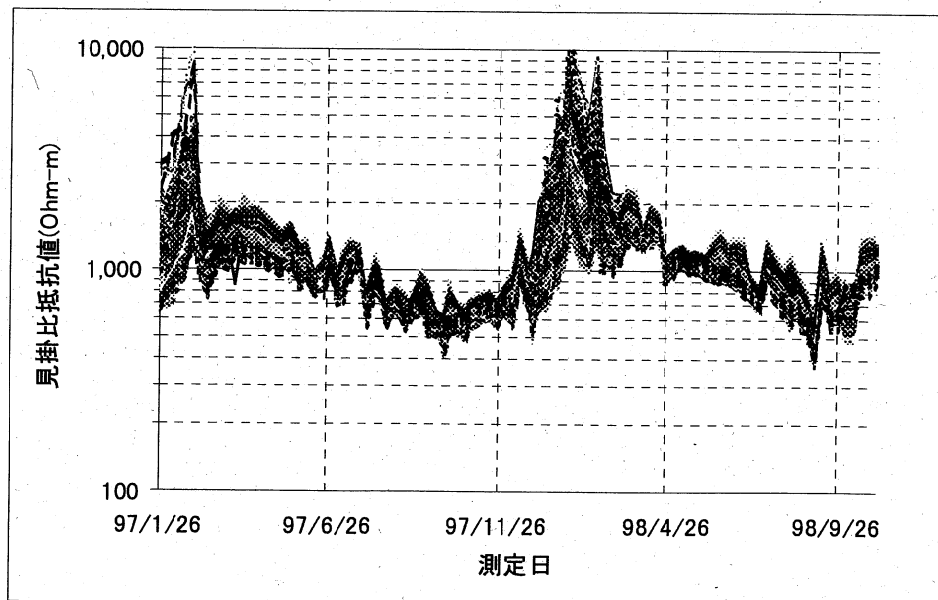
第9図 温度と不凍水量の関係

### 2.1.5 比抵抗測定結果

2.1.3 の温度と比抵抗値の関係の結果から、温度低下、すなわち、ヒートパイプにより人工凍土が造成された場合、貯蔵施設内の地盤の比抵抗値は高くなることが予想される。このことを確認するために、表-2 にしめしたパターン 1～6 の組合せで測定した結果を、第 10～14 図に示す。



第 10 図 パターン 1(IN-INTER)の測定結果

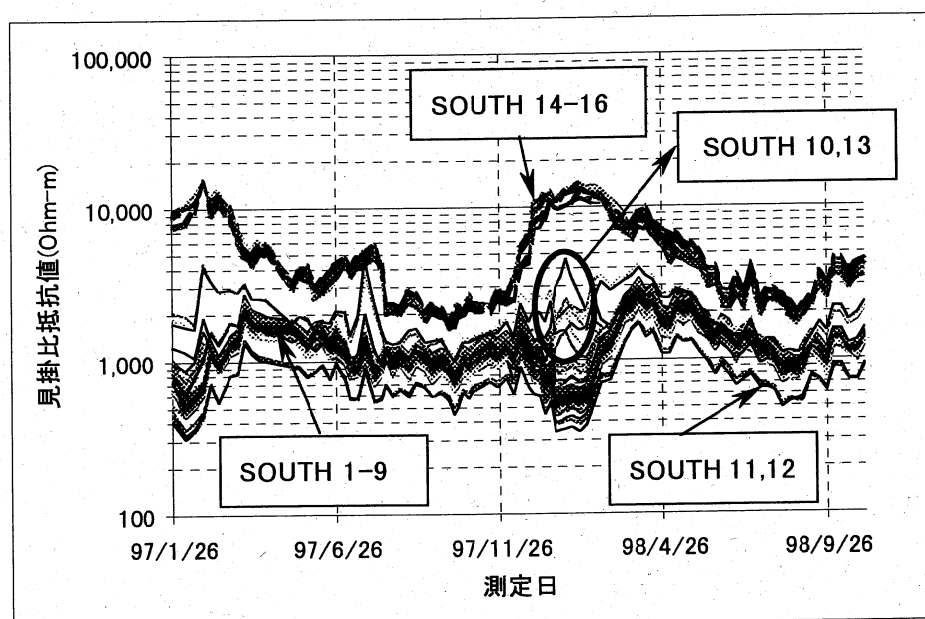


第 11 図 パターン 2(OUT-INTER)の測定結果

第 10・11 図において、パターン 1,2(INTER(10)－IN(16)、OUT(16):( )は電極数)は、大局的には、見掛け比抵抗値は平均的に 1,000 Ohm-m 前後で推移しながら、2 月前後

で凸状、10月前後で凹状となる季節変化を示す。また、部分的に突起のあるノコギリ状の変化は、パターン1,2ともに存在し、お互いに相関があることを示す。冬期間の変化の大きさはパターン2の方が大きく、これは、ヒートパイプにより貯蔵庫内で造成された人工凍土の造成量の影響よりも、むしろ、測線IN及びOUT付近で生じた自然雪下の季節凍土の影響によると判断される。すなわち、見掛け抵抗値は、非線形であるために単純に線形計算は成り立たないが、概念的に、パターン2 (OUT-INTER) = パターン1 (IN-INTER = ヒートパイプによる貯蔵庫東地盤の変化) + IN-OUT (測線間の変化) というイメージである。

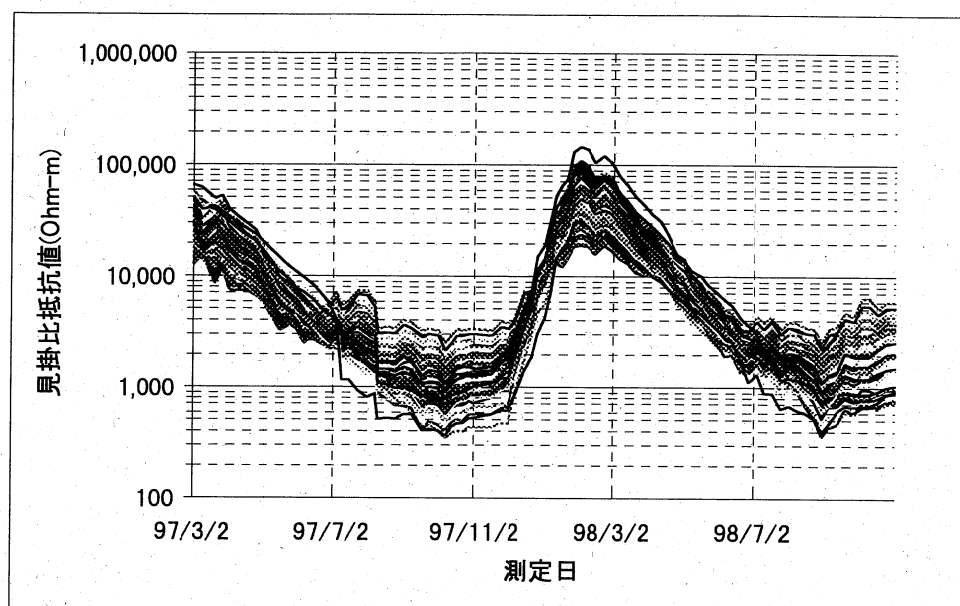
第12図にパターン3 (INTER(4)-SOUTH(16):())は電極数の結果を示す。第5図に示したように、測定は、庫内のINTER 29-32、庫外地中に埋設したSOUTH 1~10そして庫外地表部のSOUTH 11~16からなる。全体的に小さな凹凸は全点にみられ、地中部に埋設したSOUTH 1~10及び地表部SOUTH 11~13と庫内INTER 29-32間での測定結果では、各データのばらつきは少ないが、最も地表部に近いSOUTH 10のみ、98/1/16~2/14間はSOUTH 1~9とは逆の挙動を示し、この傾向は、SOUTH 13でも見られる。



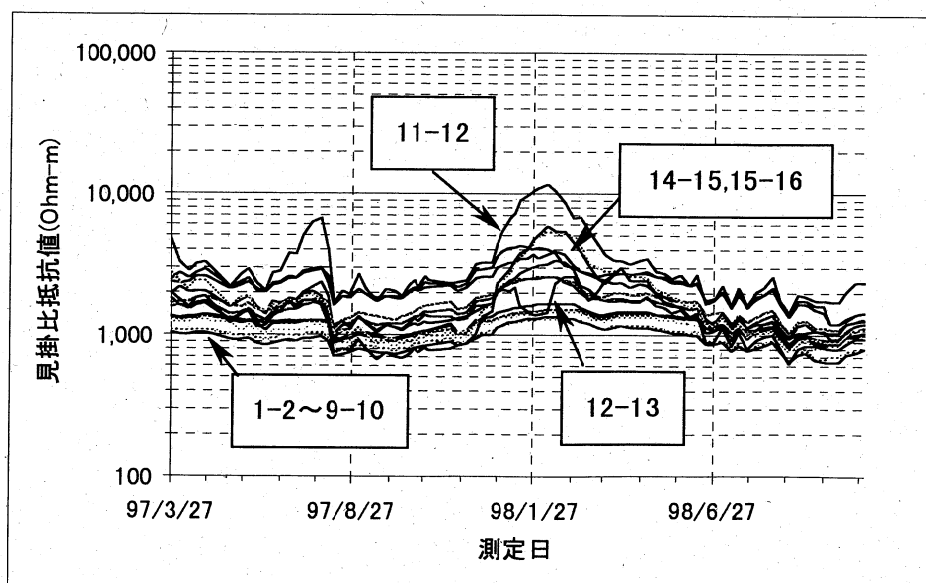
第12図 パターン3(INTER-SOUTH 測定結

このことから、98/1/16~2/14間を除くと、変化はSOUTH 1~13と14~16の2つに大きく分かれる。地表電極の内、SOUTH 11~13とSOUTH 14~16の値と形状の相違は、SOUTH 11~13は、融雪時まで常に積雪があり、第5図に示したとおりSOUTH 14~16は斜面に設置され、ほぼ積雪がない点である。すなわち、SOUTH 14~16はほぼ積雪がないため、電極及び貯蔵施設周辺部に季節凍土が形成されたために、SOUTH 1~13とは異なる挙動を示したと考えられる。

第13図に、庫内側からヒートパイプにより造成された人工凍土の影響を把握するために行ったパターン4 (INTER-INTER) の測定結果を示す。これまでの結果と異なり、東・南壁ともに大局的にW文字形の変化(凹2つ凸1つの変化)を示す。新たに人工凍土が造成される頃(97/11/2以降)まで値は低下し、ヒートパイプにより人工凍土が造成され始めると値は急激に高くなる。期間内の最高値は、東壁・南壁ともに 98/1/31 で102,276 Ohm-m、148,037 Ohm-mであった。また、外気温度が、徐々に上昇し始める頃(98/2/1以降)から見掛比抵抗値は徐々に低くなる傾向を示す。



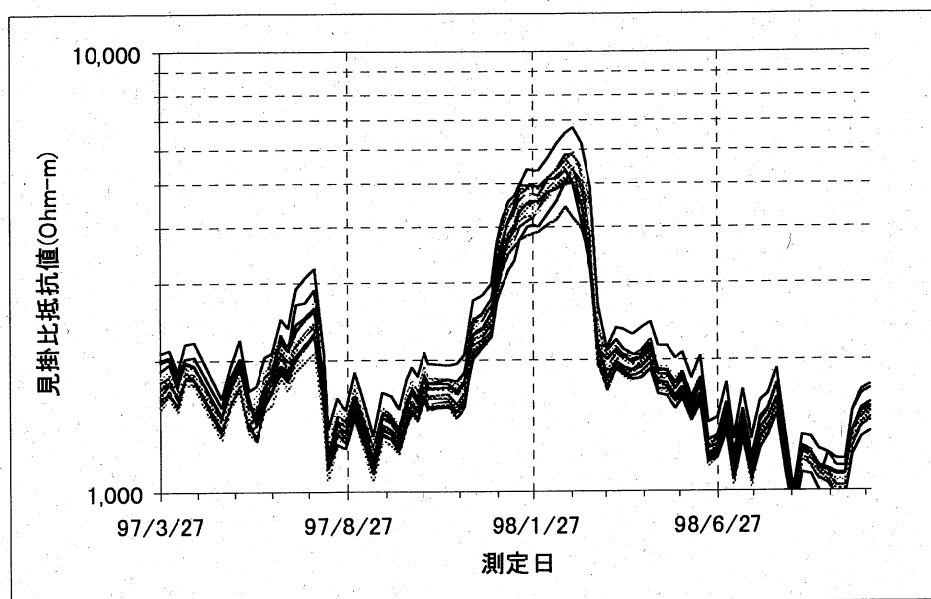
第13図 パターン4(INTER-INTER)の測定結果



第14図 パターン5(SOUTH-SOUTH)の測定結果

上述したとおり第14図及び第15図は、貯蔵庫施設外の自然状態（降水の影響及び自然積雪下）における土壌の見掛け抵抗値を把握するために測定した結果を示す。

第14図は、地中部分(SOUTH 1-2,2-3,...8-9,9-10)9点と地表部分(SOUTH 10-11,11-12,...14-15,15-16)6点に2分されるために、値にはややばらつきが認められる。特に、その変化は、SOUTH 11-12,10-11,15-16 が大きい。これは、地形の影響すなわち、施設の外形による影響(第5図参照)や積雪の有無等によると判断される。また、貯蔵施設周辺の未凍結な土の見掛け抵抗値は、ほぼ1,000 Ohm-m 前後を示す。



第15図 パターン6(IN-IN)の測定結果

第15図は、パターン6 (IN-IN) における測定結果を示す。測線は、第3図に示したとおり貯蔵施設の南北方向(y 軸)に沿った測線で、測定は、電極番号の小さい方を電流電極とし、IN 1-2,2-3,...14-15.15-16 の組合せで行った。各電極間隔は0.5mである。これらの測定は、ヒートパイプによる影響はなく、また、冬期間は除雪を行っていないため、全て積雪下の季節凍土の測定結果を示す。しかし、積雪下でも土壌の比抵抗値は約7,000 Ohm-m 近くまで高くなり、冬期以外の凹凸変化は、全体に、パターン5の SOUTH 13-14,14-15,15-16 の測定結果と相関がある。

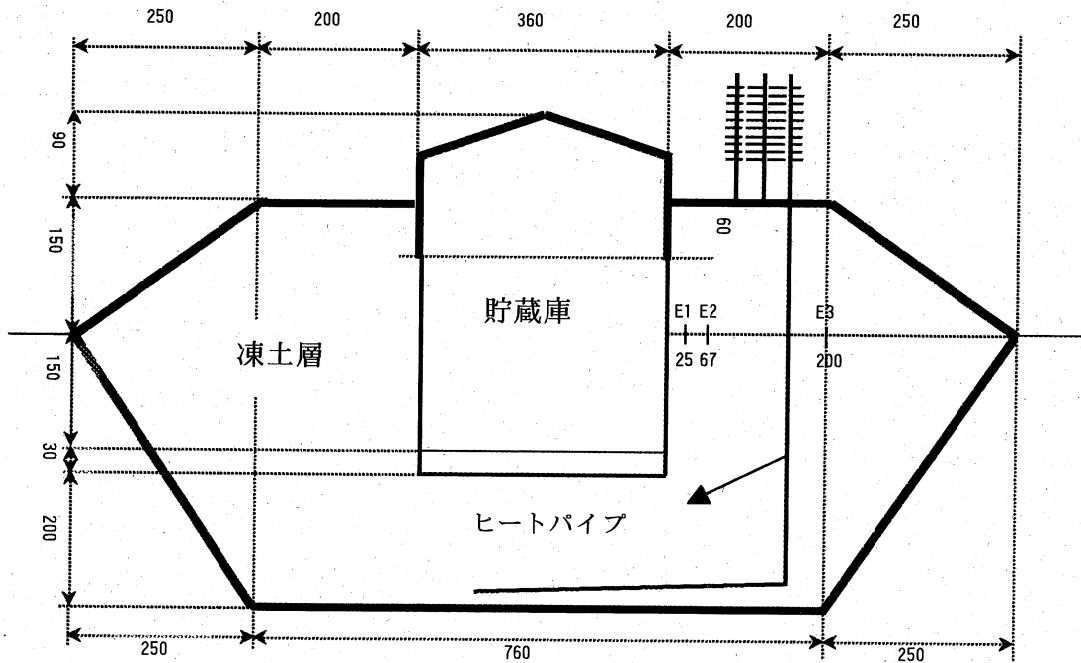
## 2.2. 壁内地盤温度測定

### 2.2.1 測定位置

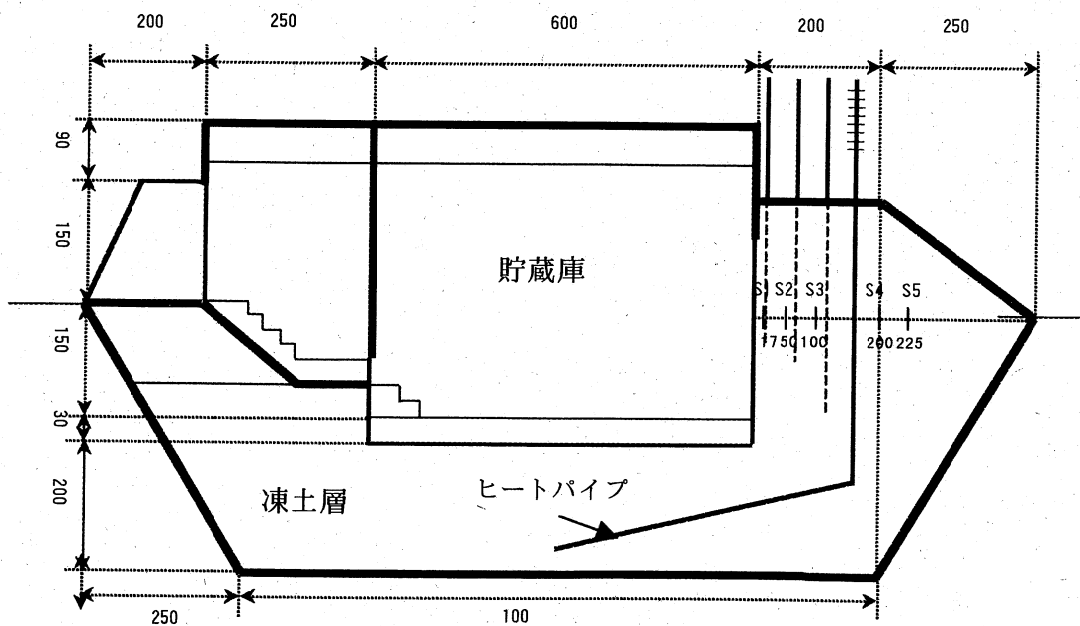
庫内温度、ヒートパイプ及び壁内地盤温度の測定は、直径0.6 mmのC-C熱電対を使用し、49点の測定を3時間間隔で継続して行っている。電気探査を行った東・南壁にはそれぞれ、表-3に示すとおり熱電対が設置してあり、それぞれの位置図を第16、17図に示す。

表-4 貯蔵庫内の地盤温度測定位置

壁面	壁(庫内)からの深さ(水平距離cm)
東	E1(25 cm), E2(67 cm), E3(200 cm)
南	S1(17 cm), S2(50 cm), S3(100 cm), S4(200 cm), S5(225 cm)



第 16 図 東壁における温度測定位置(E1～E3)

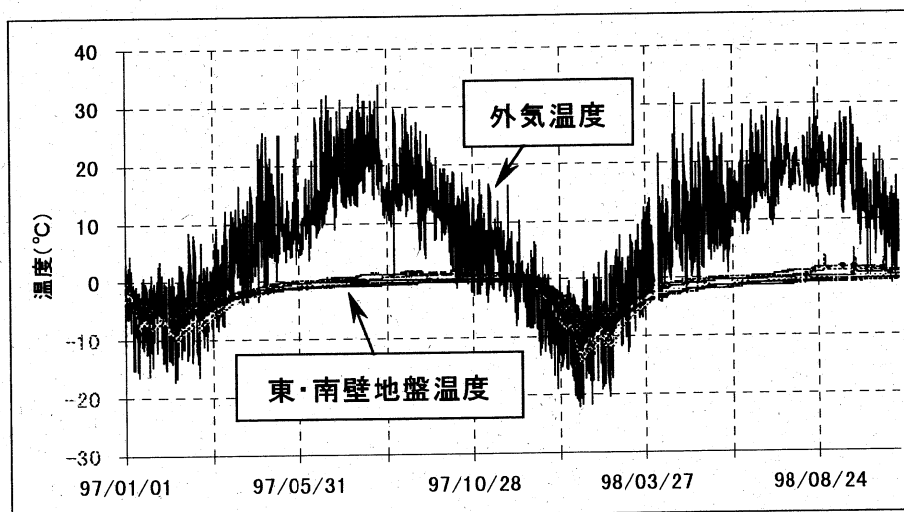


第 17 図 南壁における温度測定位置(S1～S5)

## 2.2.2 測定結果

第 18 図に、表-4 の測定位置で測定した東・南壁地盤内の温度及び外気温度を示す。なお、外気温度は、庫外のヒートパイプのフィンに設置してある温度結果(No.1)を用いた。測定期間は 97/1/1 から 98/10/31 である。

壁内地盤温度は、外気温度の低下と連動して冬期間に低くなる凹状の形態を示す。しかし、冬期間以外は、外気温度に影響されず 0℃前後を示す。また、大まかに東・南壁ともに庫内(壁)に近いほど高く、庫内壁から施設外壁方向に向かって低く示す。特に東壁から 225 cm(E3)付近、及び南壁から 200 cm(S4)付近は、常にマイナス値を示すことから、ヒートパイプにより造成された人工凍土が融解せずに残存していることを示している。

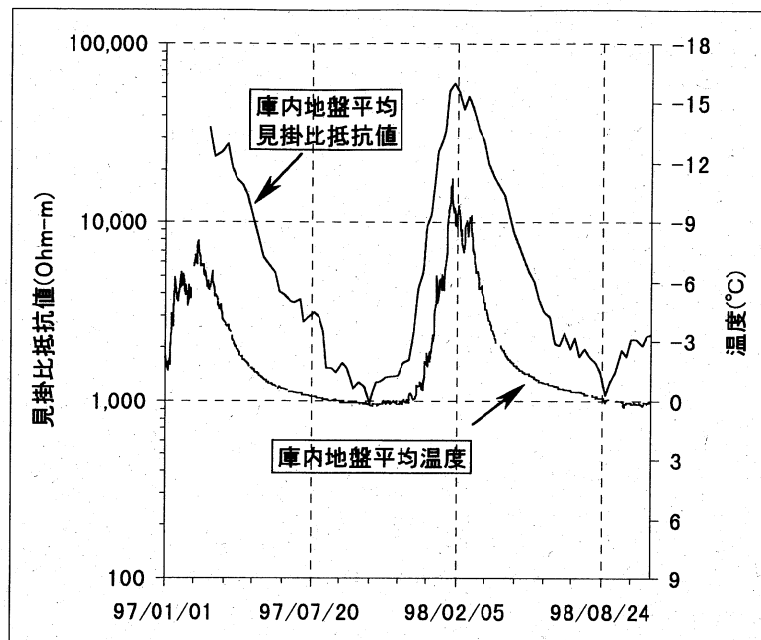


第 18 図 東・南壁地盤内の温度及び外気温度(97/1/1 から 98/10/31)

ヒートパイプにより人工凍土が新たに造成される始めると壁内の温度は、常に凍結している地盤から庫内(壁)側に向かって低くなる傾向を示す。ヒートパイプによる人工凍土造成開始期日は、少なくとも東壁では 67 cm(E2)付近がマイナスになり始める 97/12/13 以前から、南壁では 100 cm(S2)がマイナスになり始める 97/12/5 以前からと推測できる。また、壁全面が凍結する期日は、東壁では 25 cm(E1)がマイナスになる 97/12/23 以降、南壁では 17 cm(S1)がマイナスになる 97/12/24 以降と推測できる。測定期間中の最低温度は、東壁よりも南壁の方が低く、東壁では、98/1/30 の 12.4℃(67 cm)、南壁では、98/1/30 の 14.7℃(100 cm)である。

一方、外気温度の上昇とともに融解は、庫内側から壁の奥に向かって始まる。センサーが埋設してある深度がプラスになる期日は、南壁(S1:17 cm)では、97/5/31 頃及び 98/5/30 頃で、東壁(E1:25 cm)では 97/5/28 頃及び 98/5/30 頃である。

### 2.2.3 庫内地盤温度とパターン4の見掛け抵抗との関係



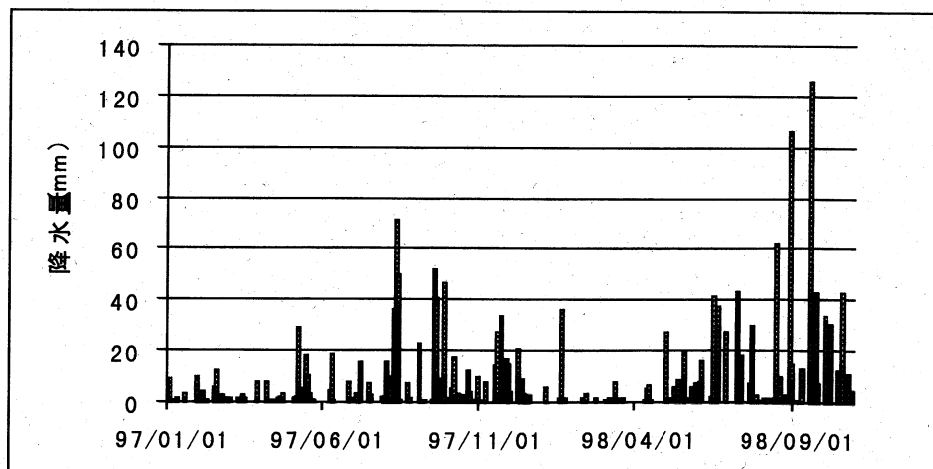
第 19 図 庫内地盤温度とパターン4の見掛け抵抗との関係

第 19 図に庫内地盤温度（日平均）とパターン 4 における見掛け抵抗（庫内地盤の全測点平均値）との関係を示す。このように、庫内地盤内の温度が低下すると見掛け抵抗値は高くなる。特に、98/2/5 付近の温度の凹凸変化も見掛け抵抗値に表れていることから、両者の相関が良いことを示している。

## 2.3 降水量測定

### 2.3.1 調査地域の降水量

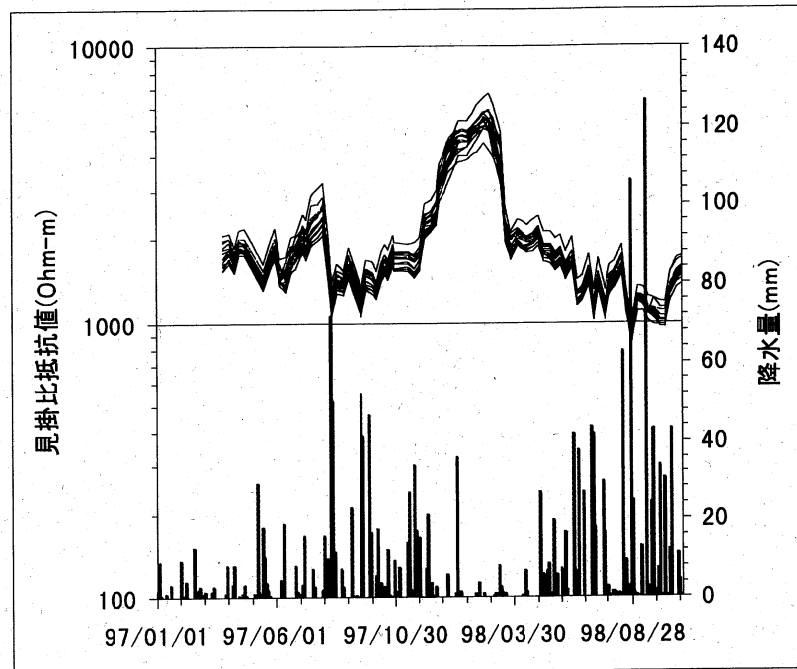
第 20 図に人工凍土施設に隣接した場所で測定した結果を示す。冬期間は雨が降ら



第 20 図 調査地における降水量(97/1/1～98/10/31)

ないため、積雪量をしめす。特に 40 mmを越えた日は 97/8/10(71.5 mm),12,9/17,19,27, 98/6/15,7/8,9,8/16,28(106 mm),9/16(126 mm), 23,10/18 の 13 日である。

### 2.3.2 降水量と見掛比抵抗との関係



第 21 図 降水量と見掛比抵抗(パターン 6)との関係

第 21 図に、第 15 図にしめしたパターン 6 の貯蔵庫周辺の測定結果と、第 20 図に示した降水量を示す。

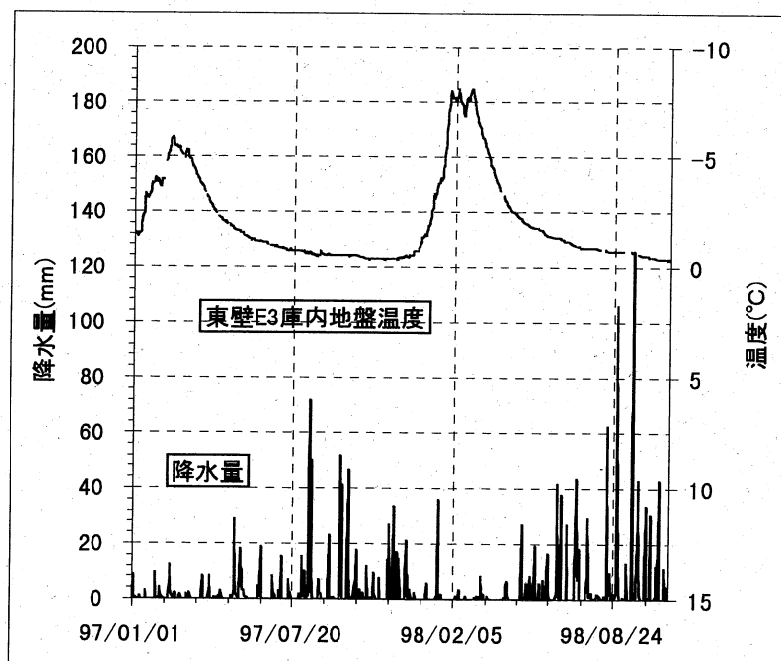
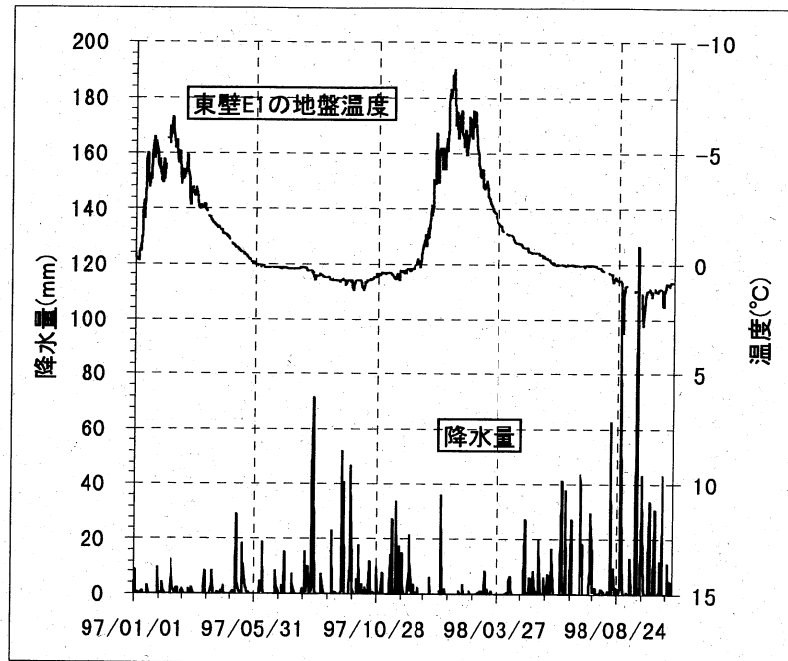
特に 40 mmを越えた 97/8/10(71.5 mm),12,9/17,19,27, 98/6/15,7/8,9,8/16,28(106 mm), 9/16(126 mm),23,10/18 に対応する変化は顕著（ノコギリ状）に表れており、凍結に伴う大きな凹凸変化以外は、降水の影響と判断される。

第 10～13 図に示した各パターンの結果と 40 mmを越えた日を比較すると、全て顕著な相関がみられる。このことから、貯蔵施設内外で測定したノコギリ状の凹凸は、貯蔵施設天板に生じた数センチ程度の割れ目から雨水が施設内に入り込んだためと推測できる。

### 2.3.3 庫内地盤温度と降水量との関係

第 22 図に東壁の庫内地盤温度(E1 と E3)結果と降水量との関係を示す。E1 については、特に 40 mmを越えた 97/8/10(71.5 mm),12,9/17,19,27,98/6/15,7/8,9,8/16,28(106 mm),9/16(126 mm),23,10/18 に対応する変化はここでも顕著（細かい凹凸）に表れているが、E3 では顕著に表れていない。

2.3.2 の結果及び温度測定結果から、貯蔵施設天板の数センチ程度の割れ目から雨水が施設内に入り込んでいると断定できる。その範囲は、壁地盤の深部(E3:200 cm)の変化が小さいことより、壁面に近い方が大きいと推測できる。



第 22 図 庫内地盤温度(上:E1、下:E3)と降水量の関係

### 3. 総 合 解 析

#### 3.1 壁内地盤温度と見掛け比抵抗値との相関

一般には、貯蔵施設には鉄筋やヒートパイプなどが数多く使われるため、未凍土で行われている電気探査による解析方法は直接利用できない。そこで、人工凍土施設内の地盤温度と見掛け比抵抗値の相関をとることにより、人工凍土の分布やその経日変化を捉えることが可能かどうかについて検討した。

2.2.3 において、見掛け比抵抗値と地盤温度との間には相関があると述べた。ここでは、壁内地盤温度とパターン 4 における見掛け比抵抗との相関について検討を行う。上述したように、壁内地盤温度測定は、3 時間間隔で行っているが、比抵抗測定が午前から午後にわたることから正午 12:00 を測定温度とした。また、電気探査では必ずしも電極間隔≡壁面からの距離とは限らないことから、周辺部のデータを平均した値をその深度(距離)における見掛け比抵抗値とした。

相関に用いた電極組合せによる壁からの距離(第 6,7 図参照)と東壁及び南壁の地盤温度測定による位置との対応を表-5 に示す。

表-5 に示すとおり、電極組合せは、数値の小さい方が、電流電極を示し、深度は電極間の距離を示す。例えば、INTER 20\*21 は、INTER 20 を電流電極、INTER 21 を電位電極とし、電極間隔は壁からの距離を示す。第 15、16 図にしめしたとおり、温度センサー位置は、東壁においては、INTER 21 の南 20 cm に、南壁においては、不明ではあるため、測点の midpoint (INTER 30 と 31 の間)とした。

表-5 相関に用いる電極の組み合わせと電極間隔(深度)との対応表

電極組合せ	電極間隔	対応センサー位置	電極組合せ	電極間隔	対応センサー位置
INTER 20*21	68cm	東壁 67cm	INTER 29*30	0.50m	南壁 50cm
INTER 21*22	63cm		INTER 30*31	0.51m	
INTER 22*23	55cm		INTER 31*32	0.60m	
AV	62cm		AV	0.60m	
INTER 19*22	1.9m	東壁 200cm	INTER 29*31	1.01m	南壁 100cm
INTER 20*23	1.86m		INTER 30*32	1.11m	
INTER 21*24	1.75m		AV	1.06m	
AV	1.84m				

表-5 に示した東壁 67 cm 及び 200 cm、南壁 50 cm 及び 100 cm における地盤温度と、東壁の平均電極間隔 62 cm 及び 1.84 cm、南壁の 0.60 cm 及び 1.06 cm における平均見掛け比抵抗値との相関を第 23 図にしめす。

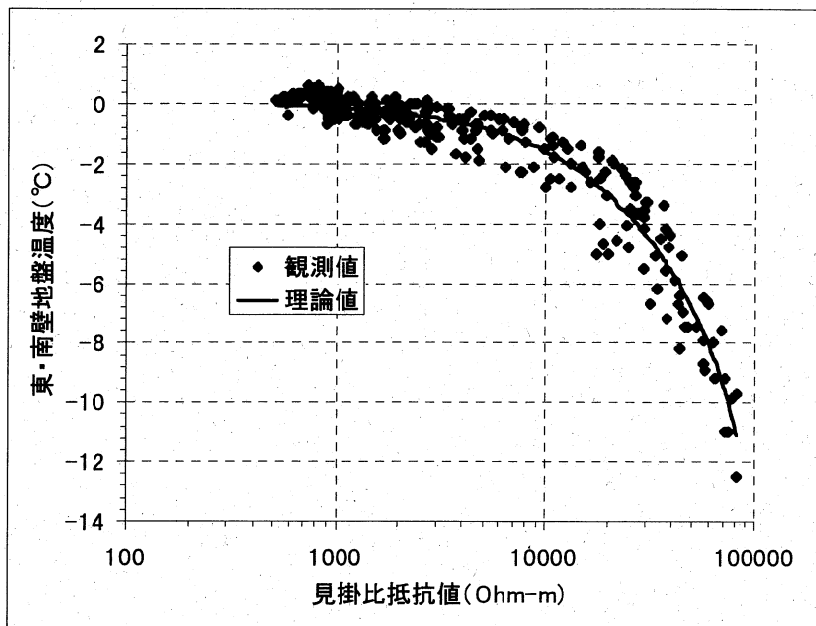
0℃を境界にマイナス側に極端に高くなる傾向は、第 8 図と同じである。また、0℃

以上の比抵抗値の平均が 1,048 Ohm-m であることから、出来るだけ、その値が 0℃ 時に反映されるように調整した。

相関式は、(10)式に示すとおりである。

$$T(^{\circ}\text{C}) = -8.4\text{E-}15 \times r^3 + 1.18\text{E-}09 \times r^2 - 0.00018 \times r + 0.18288708 \quad \dots(10)$$

ここで、 $r(\text{Ohm-m})$ は、パターン 4 で測定して得られた見掛比抵抗値を、 $T(^{\circ}\text{C})$ は、(10)式により求められる壁内地盤温度を示す。



第 23 図 測定温度と見掛比抵抗値との相関

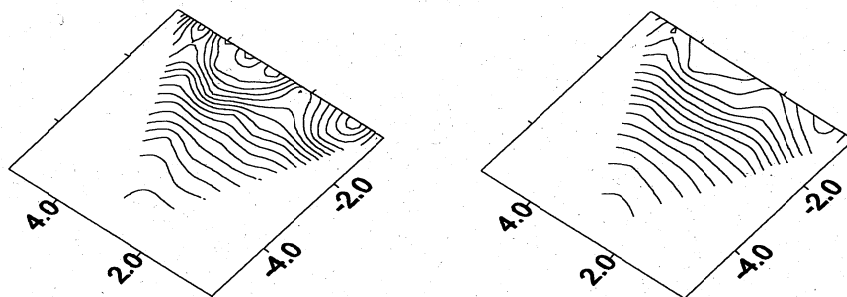
### 3.3 相関式による温度変換結果

(10)式により見掛比抵抗値を温度に変換した結果を付図 1,2 に示す。付図 1 は、東壁における温度分布を、付図 2 は南壁における温度分布をそれぞれ示す。なお、第 13 図にしめたように、見掛比抵抗値には急激な変化が認められるが、貯蔵施設内の地盤温度には、急激な変化がなく、滑らかであると予測されるため、(12)式により、見掛比抵抗値を平滑化した。東壁の 97/3/2 における平滑処理前と処理後の見掛比抵抗分布を第 24 図にしめす。この処理により、壁面に近いところは平滑化により滑らかになっていることがわかる。

$$\bar{\rho a}(i, j) = \frac{1}{8} (4\rho a(i, j) + \rho a(i-1, j) + \rho a(i+1, j) + \rho a(i+1, j-1) + \rho a(i-1, j+1)) \quad \dots(11)$$

ただし、 $i$  は電極位置 (INTER 17~26)、 $j$  は電位電極の位置(1~10)を示し、

$\rho a(\text{INTER } 16,0)$ などの値は外挿法により求めた。



第 24 図 平滑化処理前（左）と平滑化処理後（右）の見掛比抵抗分布(97/3/2)

東壁では、98/1/30 に壁から 67 cm(E2)のところが最も低い温度（12.4℃）を示すと、2.2. 壁内地盤温度測定の 2.2.2 測定結果で述べたが、冬期間、南東・南西・北西角の壁には、氷が厚く分布していることなどから判断して、むしろ付図 1 の 98/1/31 等で示したように南東角側が最も低い温度を示すと思われる。また、庫内では北東角が最も早く融解(貯蔵施設天板の割れ目が最も広い)することが知られており、付図 1 の 97/8/11 及び 98/8/8 等の結果と一致する。

付図 1 から判断できる東壁の全体的な傾向は、全期間、壁面から少し離れた東側の地盤内の温度は、壁面に沿った南北方向と平行な温度分布を示し、冬期間は庫内に近いほど温度は低く、特に庫内南東方向ほど低く、温度コンターは凹凸に富む。一方、融解は北東角方向から融解が始まり、東壁表面の氷が融解し始める（例えば、98/7/11 以降）と徐々に温度分布は、測線方向とほぼ平行（壁面に沿って同じ温度分布）になり、再度凍結が始まる 98/9/19 以降は、通年凍結しているところから庫内に向かって凍結線（freezing front）が移動する様子が確認できた。このように、東壁面では温度測定では検出できなかった面的な温度分布が把握できた。

また、南壁においては、測定期間中、地盤温度は 98/1/30 に 壁面から 100 cm(S3)の位置が最も低い温度（14.7℃）を示すと述べた。同様に、付図 2 の 98/1/31 の結果から、壁奥（庫内壁と施設外壁との中心付近＝ヒートパイプの密度が高い場所）が低くなる結果を得た。全体に、冬期間の温度分布は、z 軸（壁面に沿った上下方向）と平行ではなく、1996～1997 では温度測線（壁面に垂直で南北方向あるいは y 軸）よりも下側が、1997～1998 では上側が最も低くなり、実測値よりも低い -20℃以下を示す。その後は、壁の中心部が最も低くなる傾向を維持しながら、97/7/16～97/10/22 間では、y 軸に平行に、一方、98/6/20～98/10/31 間では、ほぼ z 軸に平行になる温度分布を示めす。また、東壁と同様に、凍結線（freezing front）が移動している様子も確認できた。このように、南壁面でも温度測定では検出できなかった面的な温度分布が把握できた。

全体的に、東壁面では、ほぼ壁面に平行な分布が、南壁面では直行する方向の分布を示すが、その相違点については、

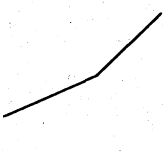



- ①単純に測線方向と場所が異なる点、すなわち、東壁は東壁面に沿った南北方向、南壁は、南壁面の上下方向であること(第 4,5 図参照)。
- ②測線に対するヒートパイプの設置密度に違いがある点、すなわち、東壁は、ヒートパイプと直行する方向の測線であり、南壁は、ヒートパイプに沿った方向の測線であること。

などが考えられる。このため、測定場所やヒートパイプによる凍土造成量や分布の相違が、見掛け抵抗値（温度分布）に反映したために、東・南壁における温度分布が異なると推測される。

### 3.4 比抵抗から推測される凍結・融解プロセス解析

takami et al(1997)及び高見ほか(1998)は、相関式を用いれば凍結深さ及び地中に残存する凍結層の厚さを精度良く求めることができると報告した。しかし、壁面＝地表と仮定した場合、融解方向は、自然状態・人工施設ともに同一方向と仮定できるが、凍結は自然状態では地表から、人工貯蔵施設内では壁の奥から壁面に向かって進行するために、相関式は、ここでは使えない。

また、高見ほか(1997,1998)及び Takami et al(1997)は、第 25 図に示した  $\rho - a$  曲線の波形分類(A,H,K,Q Type)から凍結・融解プロセスが把握できると報告した。これは、自然下で、地表面から凍結・融解（潜熱により地下からの融解もある）が起こる現象について報告したものであるが、壁面を地表面として仮定し、高見ほか(1997,1998)及び Takami et al(1997)の方法が適用できるか検討した。

Type	A Type	H Type	K Type	Q Type
	$\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$	$\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$	$\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$	$\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$
曲線形状				

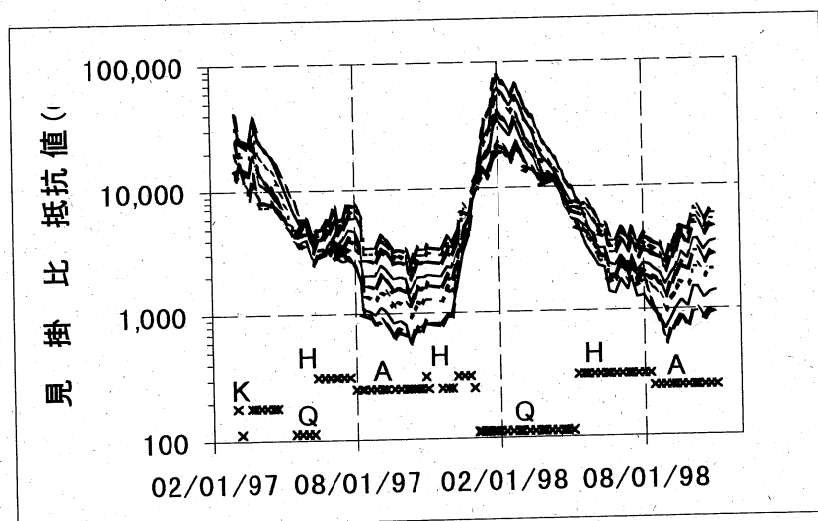
第 25 図 各タイプの曲線形状（高見ほか(1992)）

第 26 図に、パターン 4 における INTER 17-18~26 の見掛け抵抗変化と曲線タイプを示す。曲線タイプは、測定期間中、K→Q→H→A→H→Q→H→A Type と変化する。97/6 頃~98/10 頃までの範囲では、曲線タイプは、Q→H→A→H→Q→H→A Type と規則的な変化を示す。

高見ほか(1997)では、凍結開始は K タイプ→H タイプ、融解開始は Q タイプ→K タ

タイプの境界で起こっており、曲線タイプの境界と凍結・融解プロセスがほぼ一致すると報告した。人工貯蔵施設内の測定についても、曲線タイプの変わり目は、凍結・融解プロセスの何らかのイベントと一致すると考えられる。これまでの自然凍結時における凍結・融解プロセスと曲線タイプの解釈から、夏期は、壁面より奥に人工永久凍土が分布することから A タイプを、凍結が始まると壁面に向かって見掛比抵抗値が高くなることから H あるいは K タイプを、壁面まで凍結すると Q タイプを、融解が始まると壁面から高くなることから K あるいは H タイプを示すと推測できる。

これらの推測と第 18 図及び第 26 図の結果と比較すると、夏期、凍結・融解時期に対応する曲線タイプと凍結・融解プロセスとはほぼ一致することがわかる。高見ほか(1997)では、融解時の現象として、融解が始まると浅部の見掛比抵抗値は深部よりも低くなり、逆に深部が高くなる逆転現象が起こる。これは、冷たい融解水が重力に伴い深部に浸透するため、地下温度が下がり深部の土の比抵抗値を上げたためと考えられている(高見ほか(1997,1998)及び Takami et al(1997))。

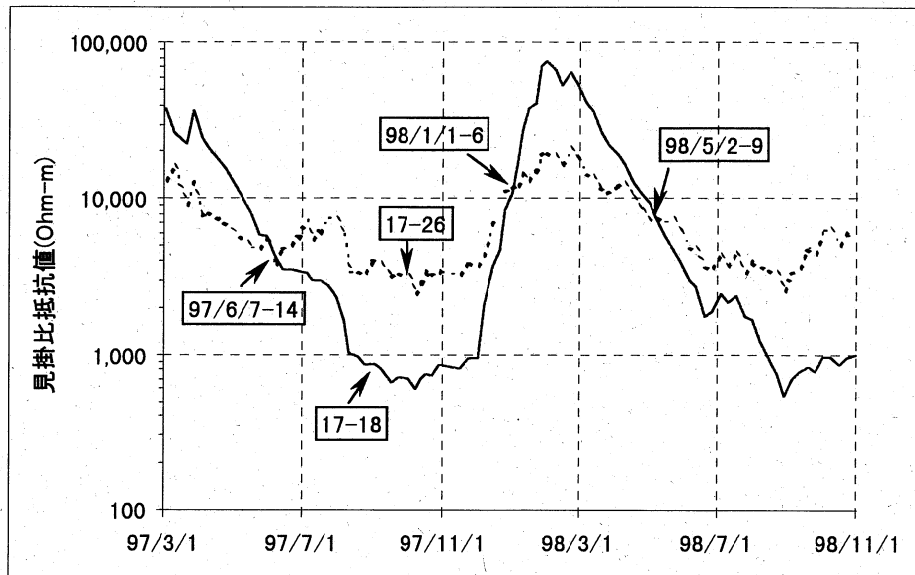


第 26 図 パターン4における INTER 17-18~26 の見掛比抵抗変化と曲線タイプ

しかし、ここでは、融解は、庫内壁面から起こり、融解水は主として庫底にたまるために、壁面に直交する方向(東壁では x 軸方向、南壁では y 軸方向)に低温の融解水が流入する可能性は低い。また、壁面に向かって奥(鉛直)方向には厚く人工凍土が造成されており、透水性の面からも測線と直行する方向に低温の融解水が流入する可能性は低いと判断する。このため、貯蔵庫内の測定における融解時の壁側(浅部)と壁奥の見掛比抵抗値の逆転は、融解水の関与よりもむしろ、壁深部の変化が緩やかな低下に対して、壁側の変化が激しく低下したため、見かけ上逆転したように示したと推定できる。

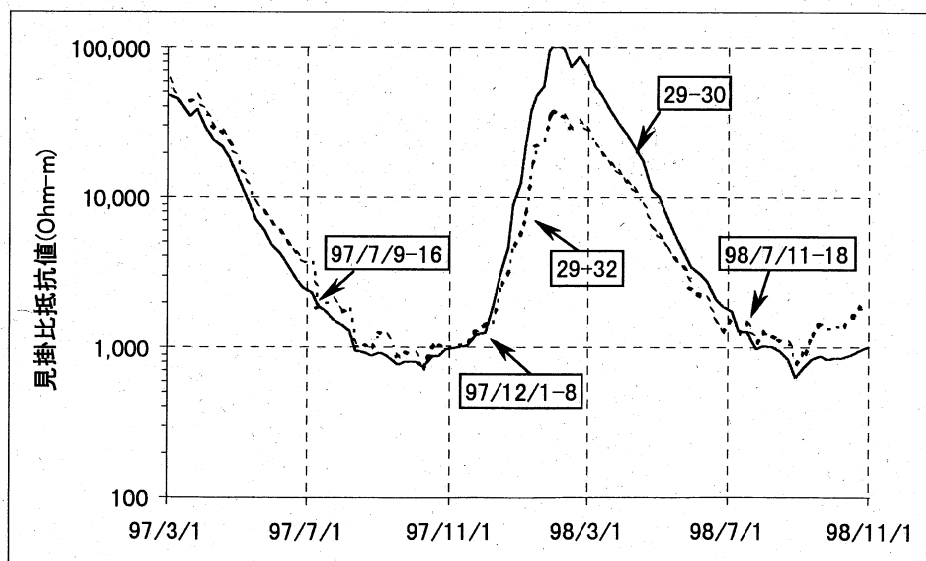
次に、第 26 図に示したように、融解に伴い、少なくとも壁面からの距離が近い場

所の見掛比抵抗値は壁面よりも離れた場所のそれより低くなることから、複数の曲線が交差する点に着目した。第 27 図及び第 28 図に、パターン 4 における東壁及び南壁での結果を示す。図中の 17-18 及び 17-26 は、INTER 17-18 間で測定した結果と INTER 17-26 間で測定した結果を示す。いずれも数字が小さい方が電流電極、大きい方が電位電極を示す。なお、電極間の比抵抗差を明瞭にするために、浅部と深部とは、少なくとも 3 電極間隔以上離れた。



第 27 図 INTER 17 付近における融解開始及び庫内壁面凍結期間

従って、浅部が深部よりも見掛比抵抗値が高くなる点は、これまでの結果を総合すると、壁面まで凍結が進んだ期日を示し、深部よりも浅部が低く示す点は、融解が開始した期日として解釈できる。



第 28 図 INTER 29 付近における融解開始及び庫内壁面凍結期間

なお、電気探査測定日が毎日ではなくほぼ一週間間隔で測定しているため、期間として記載した。

東壁の庫内に最も近い E1 地点(壁面から 25 cm)の地盤温度は、97/5/28 及び 98/5/30 にプラス温度を示す。一方、第 27 図から融解開始と思われる期間は 97/6/7~14 以前及び 98/5/2~9 頃である。また、壁面まで凍結した期日は、温度測定では 97/12/23 以降で、第 27 図からは 98/1/1~6 頃と推測できる。

また、南壁の庫内に最も近い S1 地点(壁面から 17 cm)の地盤温度は、97/5/31 及び 98/5/30 にプラス温度を示す。一方、第 27 図から融解開始と思われる期間は 97/7/9~16 及び 98/7/11~18 頃である。また、壁面まで凍結した期日は、温度測定では 97/12/24 以前で、第 26 図からは 97/12/1~8 頃である。

温度測定地点と電気探査測定場所が異なる点などから考慮すると、ほぼ良い結果を得たと判断できる。しかし、南壁は、東壁と比べあまり良い結果が得られなかった理由として、南壁の測定はヒートパイプに沿った方向の測線であり、各測定間の見掛け比抵抗値に差異があまり生じなかったためと推測される。

従って、精度良く融解・凍結プロセスを把握するためには、測線をヒートパイプに直交する方向に設置すれば良いことが判明した。

#### 4. 結 論

未凍土・凍土層の境界が同一であっても地中温度が変化することにより、各層の比抵抗値は様々な値を示す。このため、比抵抗構造の累重関係による解釈はできない。すなわち、地中温度は常に外気温度に影響され、変化しておりそれに伴い土の比抵抗値も変化するために、1,000 Ohm-m 以下なら未凍土、それ以上なら凍土とすることはできない。特に、Takami et al(1997)は、融解時では地中温度が 0℃に近くなるため、凍土・未凍土の比抵抗値に差がなく、凍土層が厚く存在していても比抵抗構造上では存在しないと解析されてしまうことを示した。これらの問題を解決するために、Takami et al(1997)は、比抵抗値に影響されずに解析できる方法を報告したが、一般には、貯蔵施設には鉄筋やヒートパイプなどが数多く使われていることや、自然環境下での凍結進行方向が人工貯蔵施設内の進行方向と異なるためこの解析法も利用できない。

しかし、第 19 図や第 23 図で示したように、貯蔵庫内の地盤温度と見掛け比抵抗値には強い相関があることから、見掛け比抵抗値から温度に変換できる相関式を求めた。その結果、温度測定では検出できなかった面的な分布、例えば、凍結線(freezing front)の面的な広がりなど、詳細な温度分布が把握でき、測線をヒートパイプに直交する方向にとる方が精度良く求まることを示した。また、曲線タイプによる凍結・融解プロセスについても、ほぼ精度良く把握できた。

一般に金属物で囲まれたところでは電気探査は利用できないとされているが、以上の結果から、CT スキャンのように非破壊的に人工凍土施設内外から人工凍土の造成・減少などが簡単に精度良くモニタリングでき、さらに、見掛け抵抗値の凹凸と降水量の相関をとることにより、施設内の老朽化に伴う雨水の浸透等を把握できることも判明した。

以上のことから、電気探査による方法は、温度測定を十分補うことができるとともに、既設施設でも適応でき、システム内の年間凍土造成量のバランスを把握するために有効な手段であるといえる。また、本研究は、人工凍結工法における人工凍土分布の把握においても応用が可能と思われる。

#### おわりに

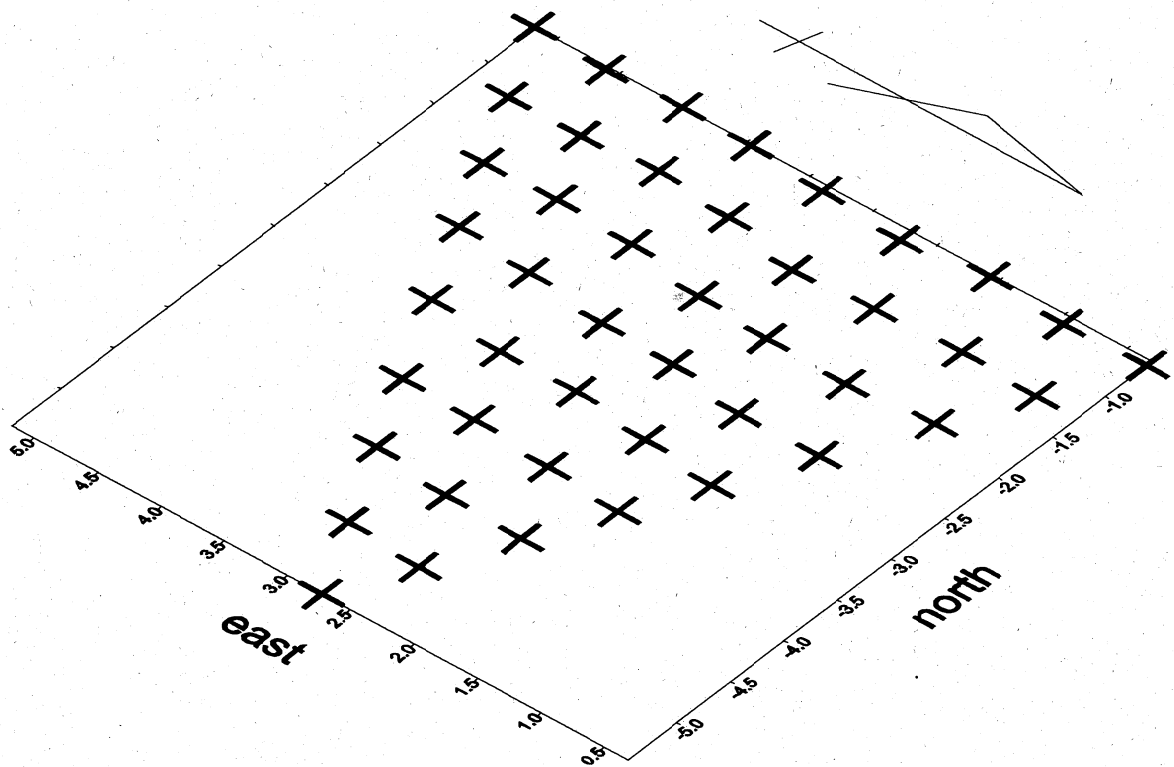
最後に、この研究を行うにあたり、電気探査の解析に関して、九州大学工学部地球環境工学科の佐々木 裕助手には多大な助言を、また、不凍水量測定に関しては元北海道大学低温科学研究所の福田正己教授、石崎武志助手（現、東京国立文化財研究所物理研究所室長）には多大な協力を得ましたことに深く感謝いたします。データの整理及び収集には、帯広畜産大学の学生の Galagedara, L.W. 君、中津敬太君（現、北海道庁）、有安建也君にはお手伝いを頂いたことに謝意を表します。

#### 参考文献

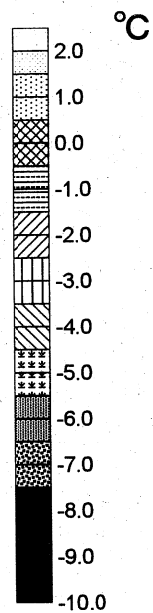
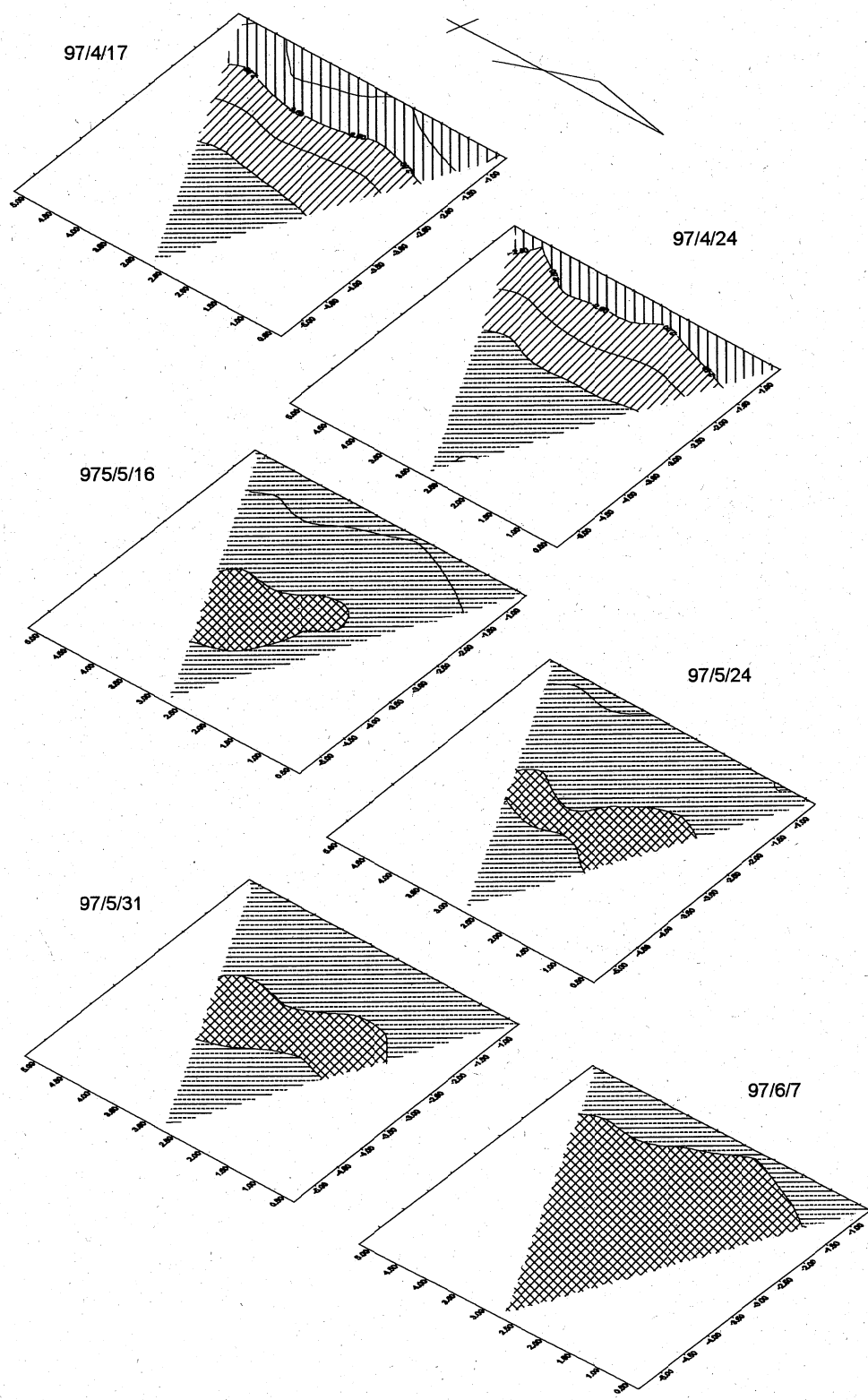
- 石崎武志(1994)：凍土中の不透水膜厚さの温度依存性，日本雪氷学会誌 雪氷，56巻1号，pp.3-9.
- 木下誠一(1982)：凍土の物理学，森北出版，pp.83-90.
- Hoekstra, P., and D. McNeill (1973): Electromagnetic Probing of Permafrost, North Am. Contrib. Proc. 2d Int. Conf. Permafrost, Yakutsk, U.S.S.R., National Academy of Sciences, Washington, pp.517-526.
- Takami, M., Wake, T. and Tsuchiya, F. (1997) : Measurement of electrical prospecting method for seasonal frost depth and Freeze-Thaw process of ground, Proceedings of 7th International Conference on Thermal Energy Storage MEGASTOCK'97, Volume 2, pp.623-628.
- 高見雅三・和氣 徹・河内邦夫・後藤典俊・武藤 章・吉田 透・阿部竜也・土谷富士夫 (1991): 物理探査による凍土層解析の試み—帯広畜産大学実験圃場の場合—，物理探査学会第85回学術講演会論文集, pp.345-350.
- 高見雅三・和氣 徹・河内邦夫・後藤典俊・武藤 章・土谷富士夫・小柳俊郎(1996a)：表層における電気探査解析について(2)—2極法による凍土解析を例として—，

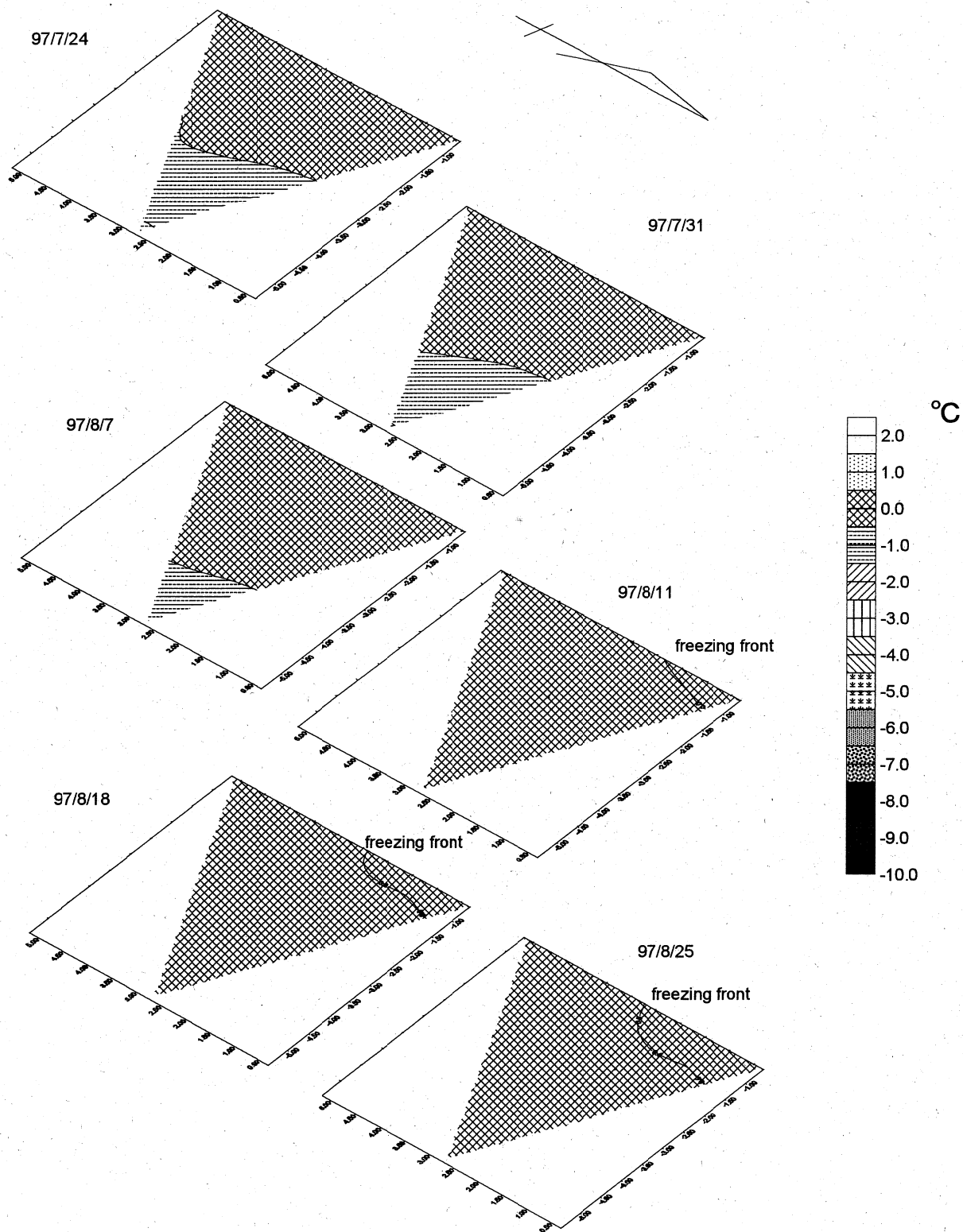
- 第7回日本情報地質学会講演会ジオインフォーラム'96講演予稿集, pp.31-32.
- 高見雅三・土谷富士夫(1996b): 電気探査による土の凍結・融解プロセスの解析試み,  
第31回地盤工学研究発表会, 平成8年度発表講演集, No.673, pp.1345-1346.
- 高見雅三・土谷富士夫・Galagedara,L.W.・和氣 徹(1998): 土の凍結・融解プロセスにおける比抵抗及び自然電位の変化, 地盤工学会北海道支部技術報告集,  
第38号, pp.101-108.
- 土谷富士夫・了戒公利(1998): 人工永久凍土低温貯蔵庫の開発とその揭示変化に対する研究, 共同研究報告書, pp. 1-191.
- 前野紀一・黒田登志雄(1994): 基礎雪氷学講座 I 雪氷の構造と物性, 古今書院,  
pp.95-104.
- 和氣 徹・高見雅三・河内邦夫・武藤 章・後藤典俊(1991): 凍土用リアルタイム処理物理探査機器の開発研究, 平成2年度 北海道立地下資源調査所・室蘭工業大学共同研究報告書, 課題番号17, pp.1-33.
- 和氣 徹・高見雅三・河内邦夫・武藤 章・後藤典俊(1992): 凍土用リアルタイム処理物理探査機器の開発研究, 平成3年度 北海道立地下資源調査所・室蘭工業大学共同研究報告書, 課題番号8, pp.1-21.
- 和氣 徹・高見雅三・河内邦夫・武藤 章・後藤典俊(1993): 凍土用リアルタイム処理物理探査機器の開発研究, 平成4年度 北海道立地下資源調査所・室蘭工業大学共同研究報告書, 課題番号5, pp.1-31.

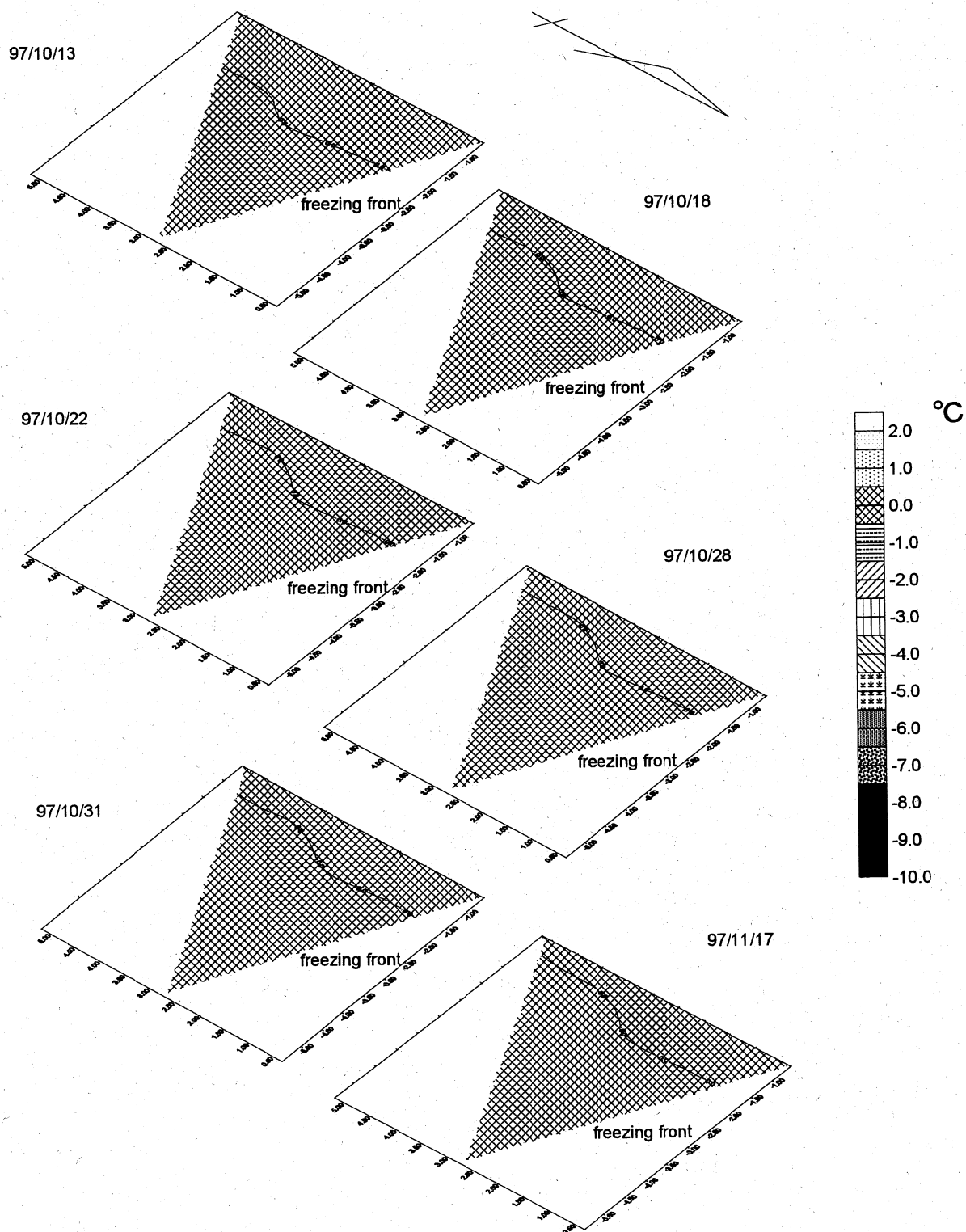
the appended graphs 1

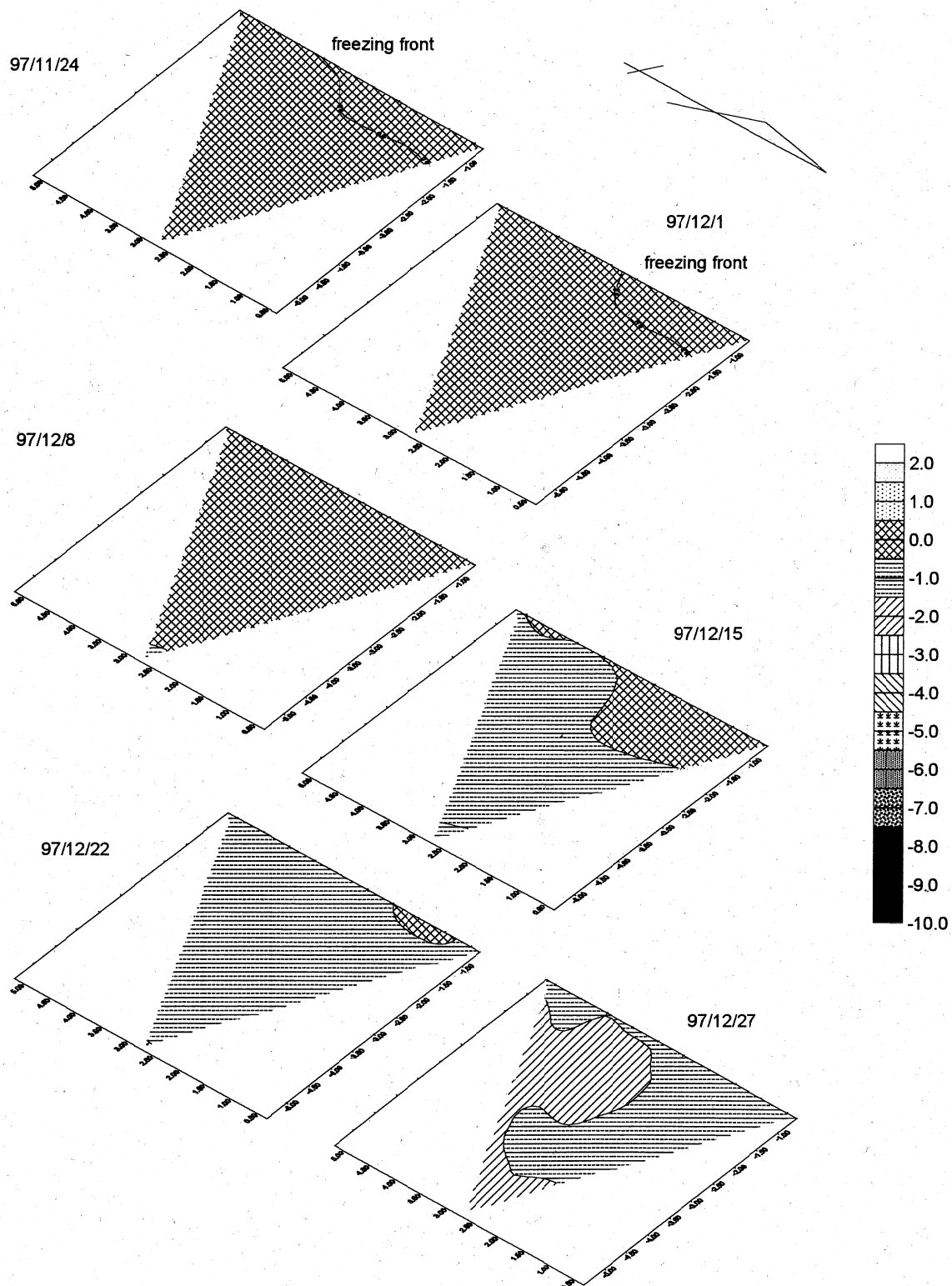


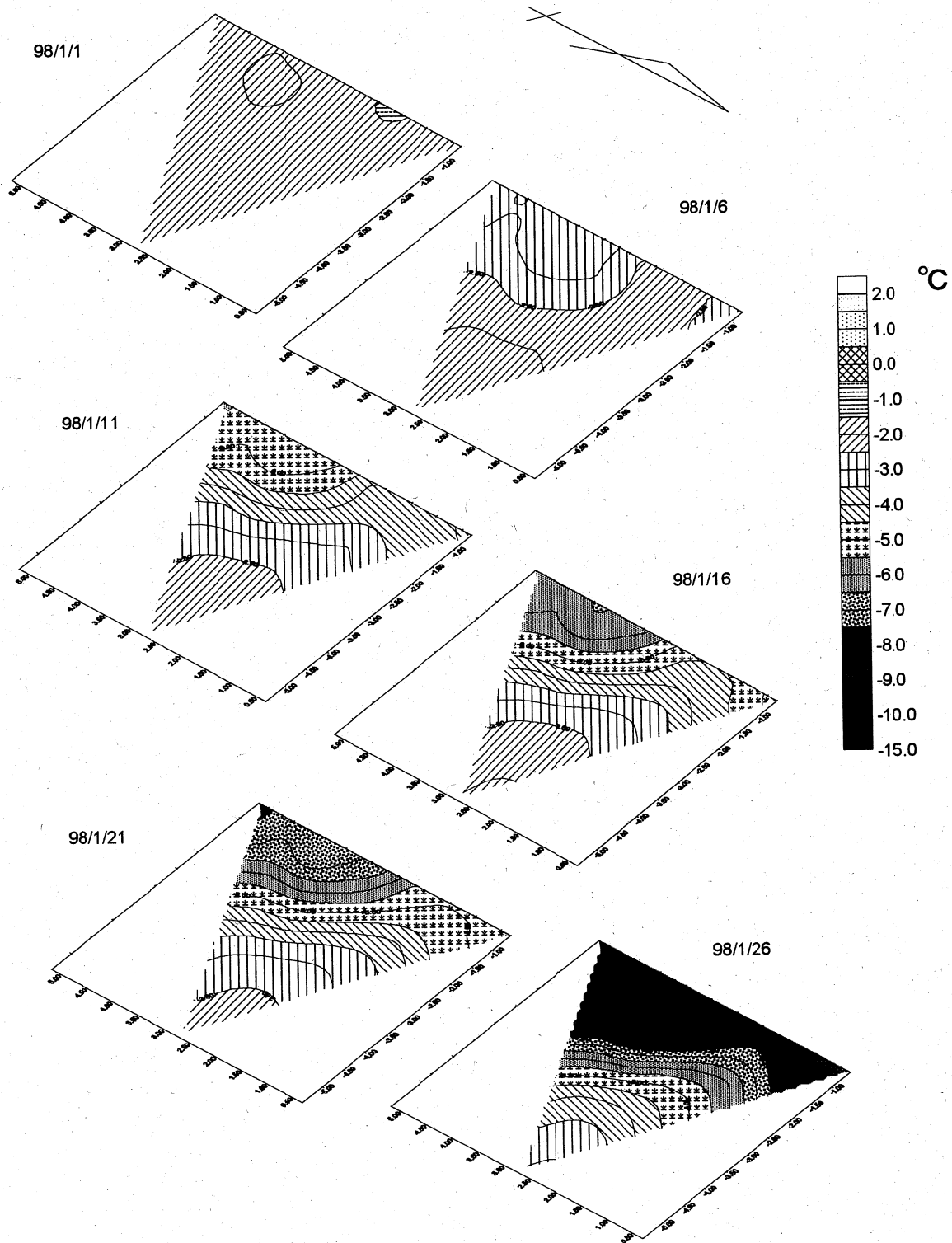
the measured points(+) in east wall

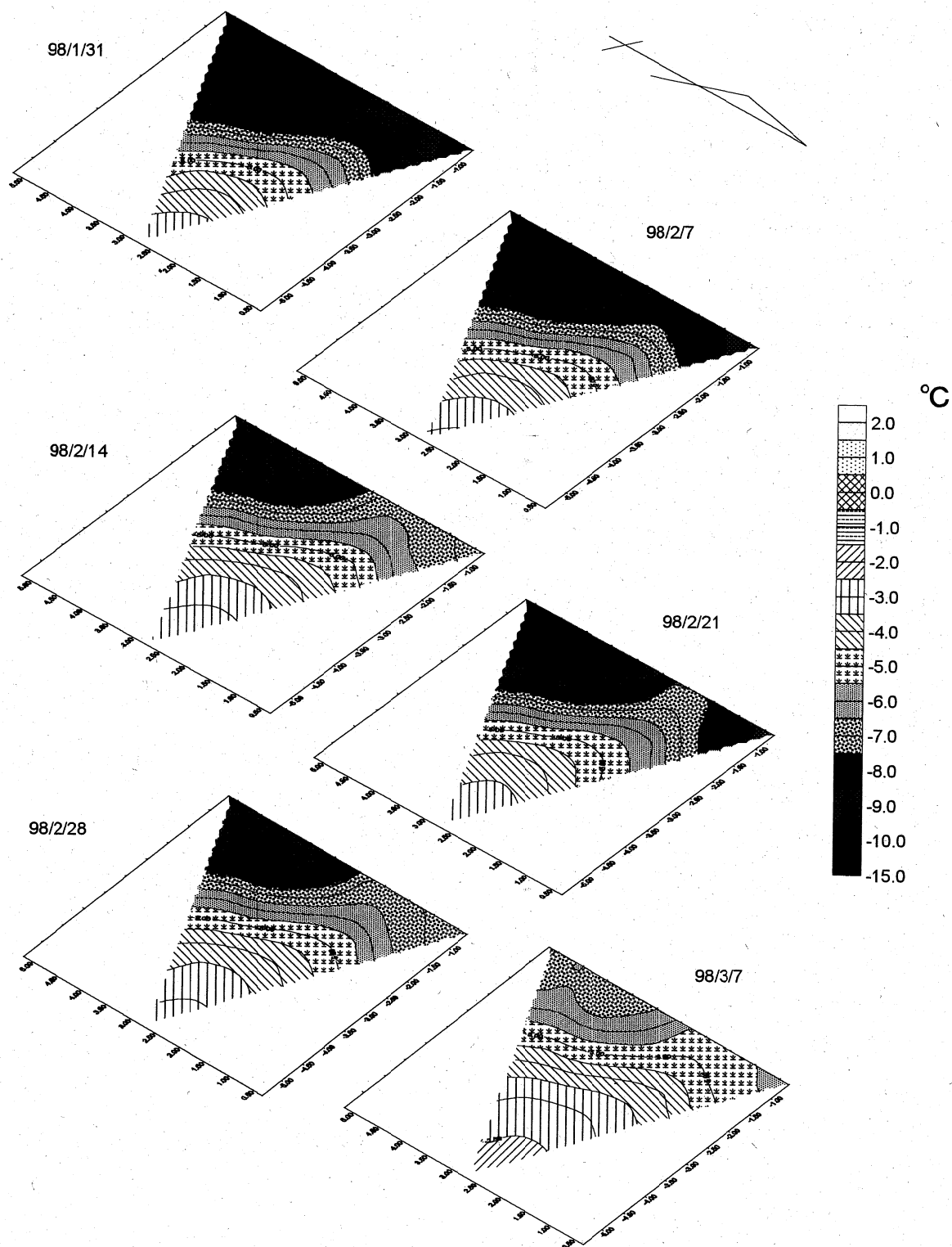


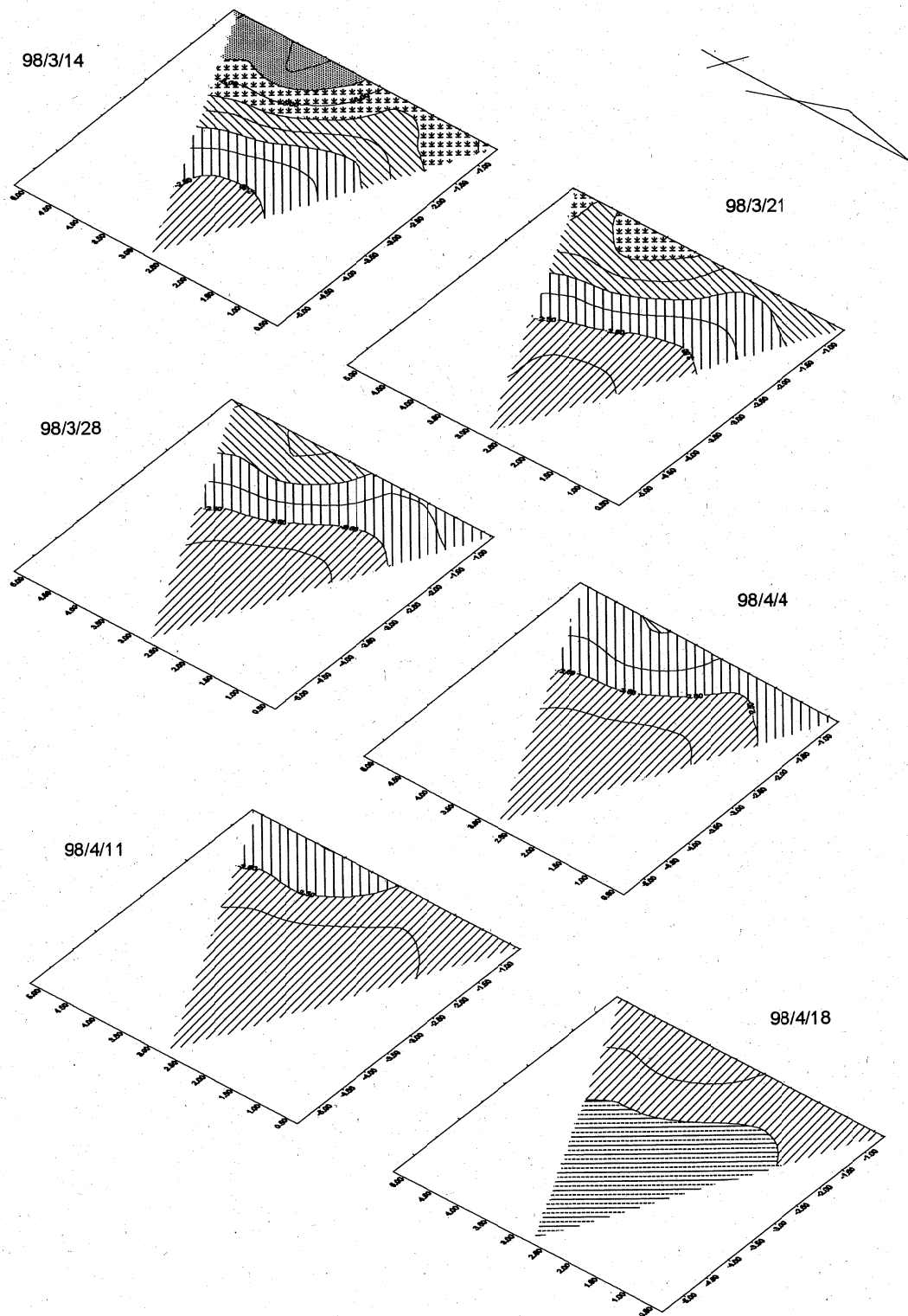


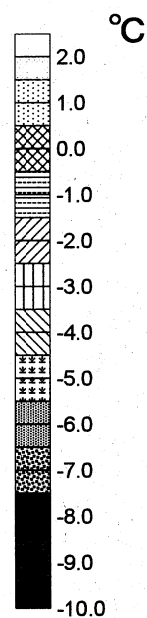
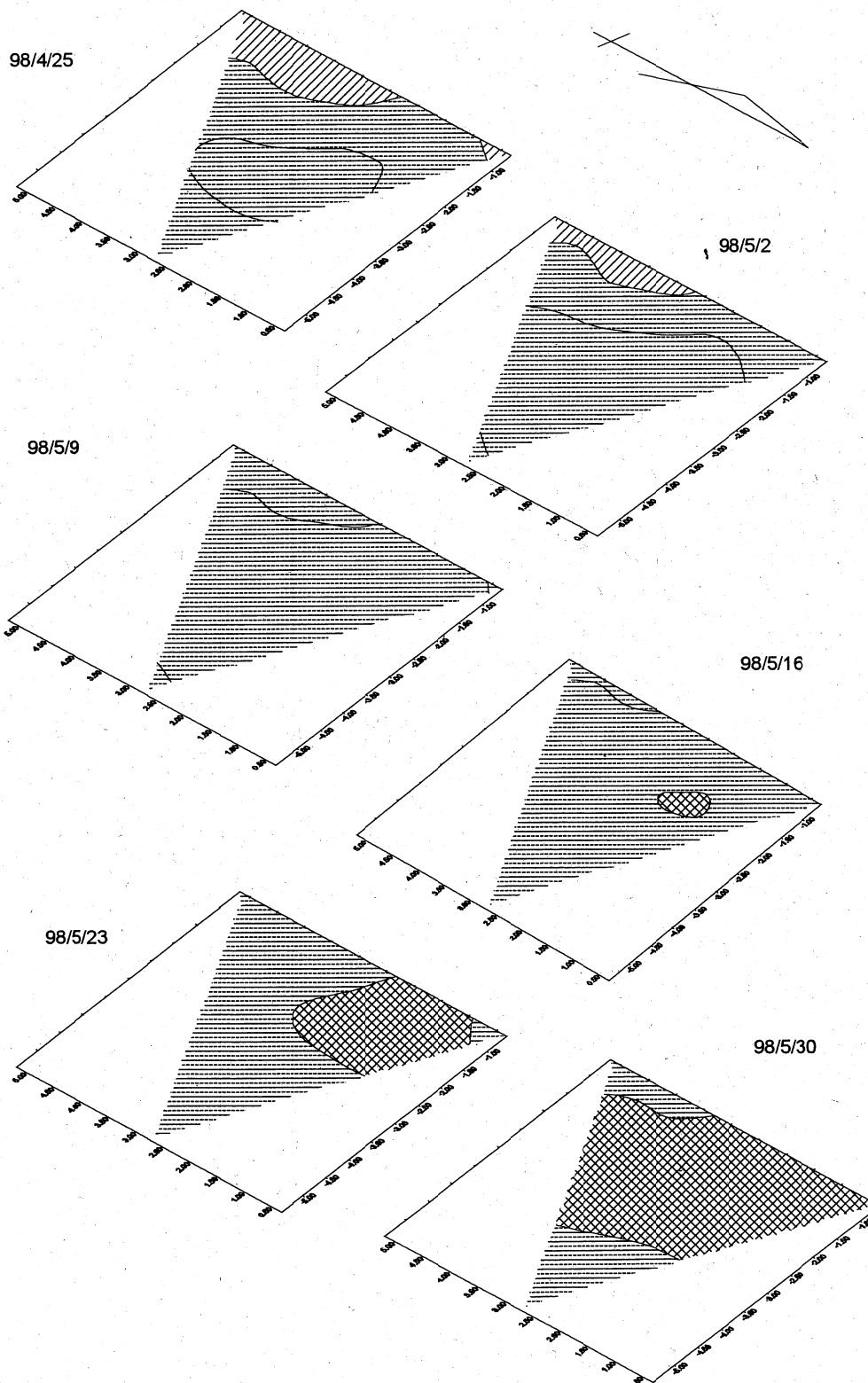


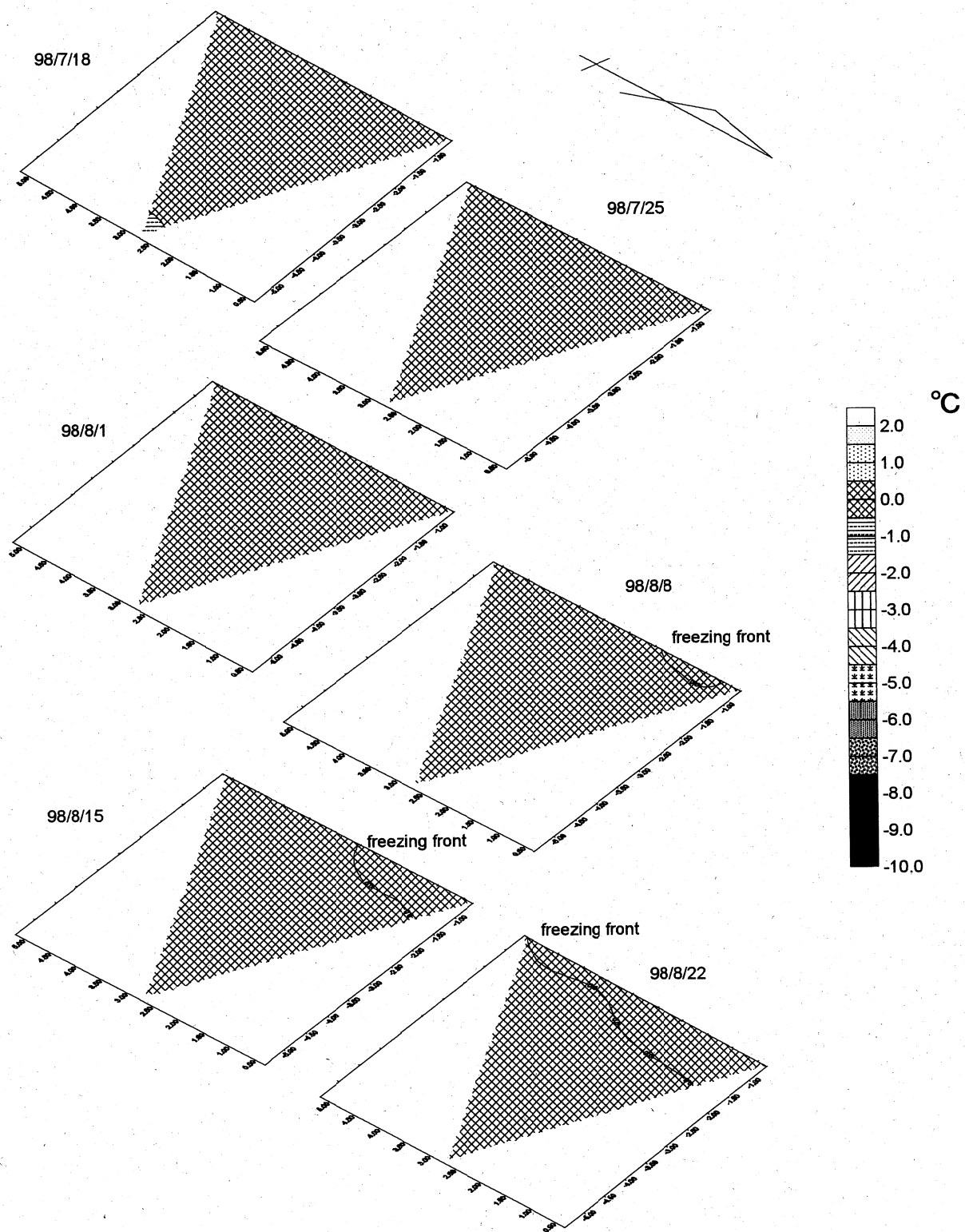


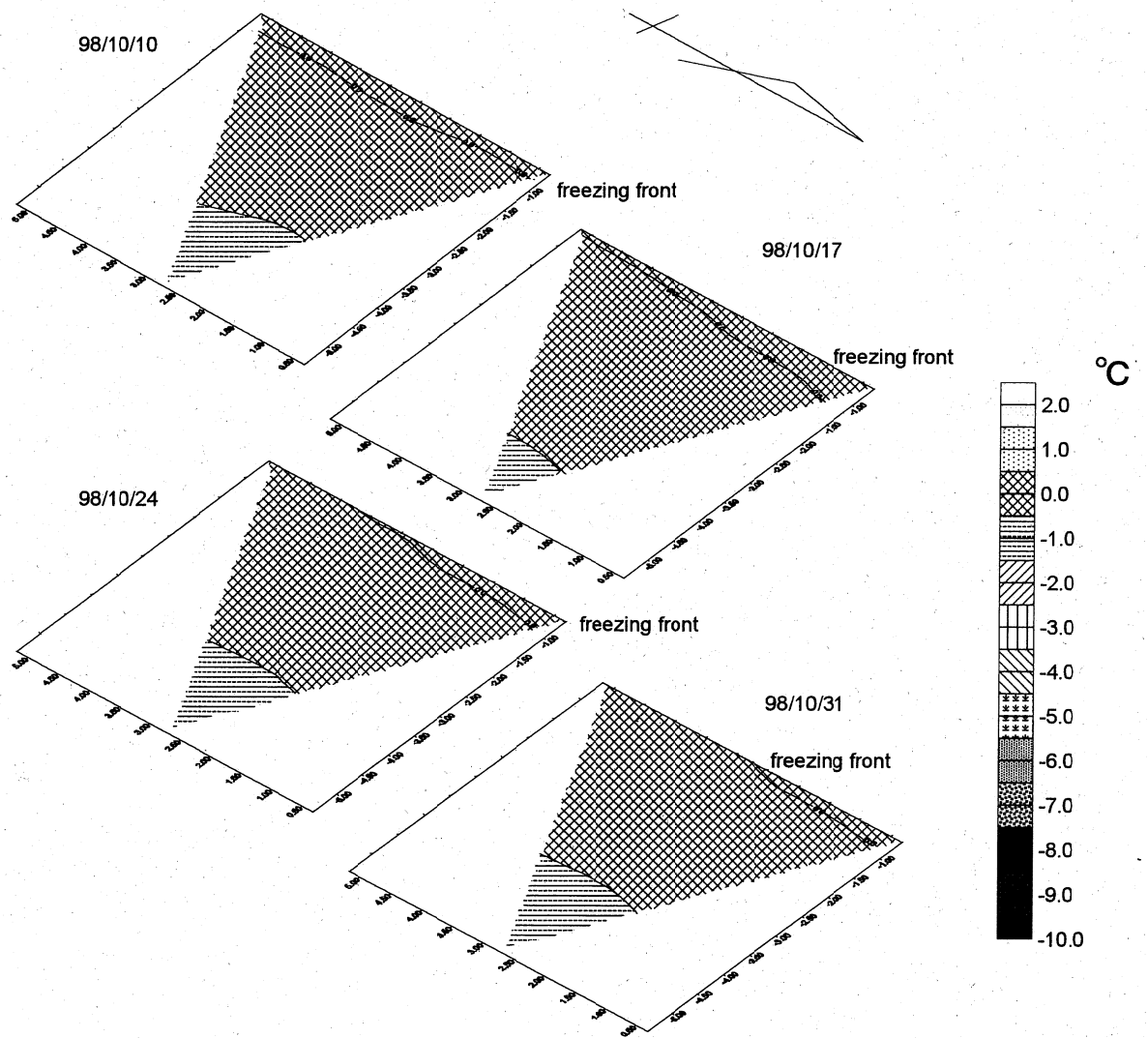








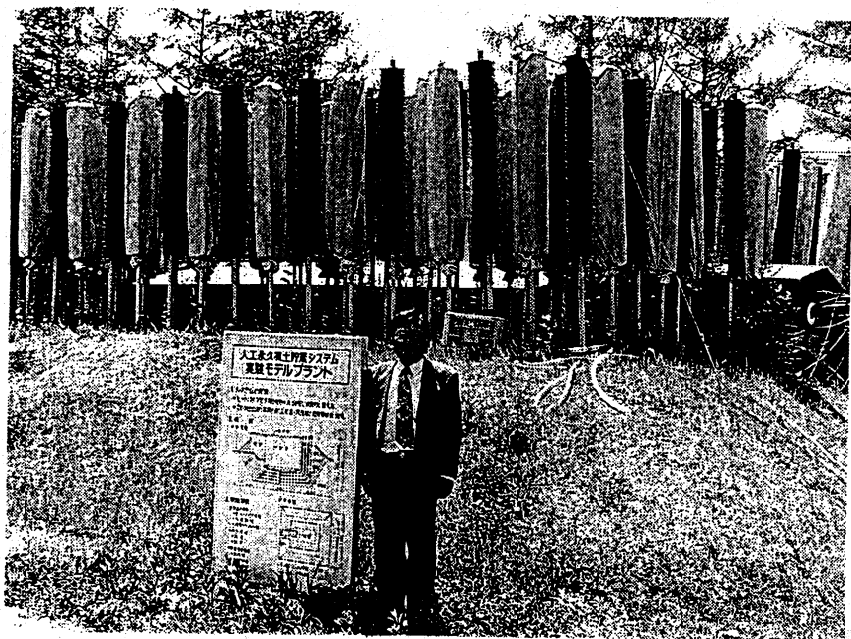




## 新聞報道記事一覧

- 十勝毎日新聞 1996 年 補助金支給で研究に励み  
6 月 11 日 帯畜大・土谷教授らグループ  
ヒートパイプ型凍土貯蔵庫
- 十勝毎日新聞 1997 年 新産業をめざして 6 帯広畜産大学の研究から  
12 月 10 日 人工凍土で農産物貯蔵
- 十勝毎日新聞 1998 年 氷や地球温暖化などテーマに 日本雪氷学会道支部  
1 月 31 日 畜大土谷、嶋田教授も講演
- 十勝毎日新聞 1998 年 食糧備蓄基地推進協がシンポ  
12 月 22 日 凍土低温貯蔵を解説
- 十勝毎日新聞 1999 年 氷室、人工凍土、アイスシェルター  
1 月 16 日 十勝での実験成果貢献
- 北海道新聞 1999 年 自然冷熱貯蔵に活用  
2 月 6 日 農産物施設の可能性を探る
- 十勝毎日新聞 1999 年 冷熱貯蔵の実用性を示す  
2 月 6 日 農産物セミナー研究者 3 人が講演

# 帯畜大・土谷教授らグループ



## ヒートパイプ型凍土貯蔵庫

## 補助金支給で研究に弾み

## 実用化に向け技術開発

までに解決できなかった課題を克服し、さらに詳細なデータを収集し、実用化に向けての技術開発を進めて行く方針だ。

研究を進めるのは土谷教授を代表に、同大畜産学部石橋憲一教授、同丸山純孝教授、清水建設技術研究所の了戒公利主任研究員、道地下資源調査所の高見雅三研究技術員の五人。

土谷教授らは、自然の冷熱エネルギーを利用して永久凍土を作り、それを貯蔵庫として利用する研究を行っている。ヒートパイプ(直径四十六センチと呼ばれるステンレス性のパイプを土中

に埋め込み、冬期間、水点下まで下がった冷気を土中に伝達させ、土を凍結させる。こうしてできた凍土で空間を作り、その内部を貯蔵庫として使用するシステム。

一九八七年に同大に実験用に初めて設置。その後、八九年に網走市呼人町に農産物貯蔵用に、九一年には家庭科の実習材料の貯蔵用に土幌高校に建設された。今年度は長野県大町市から建設の相談が寄せられており、実現すれば初の道外進出になる。

これまでの結果、ジャガイモ、ナガイモ、生花、米などの貯蔵保存に優れた効果があることが認められている。今年度の貯蔵品質の評価、凍土構造の改良や吸収ポリマーでの応用、人工凍土の形成・発達・減少など、これまでの成果をさらに広げるテーマなどを課題にする。

同システムは三・三平方メートル当たり約五十万円のコストがかかるなど、設備投資は大きい。土谷教授は「化石エネルギーに頼る社会にあって環境保護の面からも有効。過剰産物の貯蔵で価格の安定化も期待できる」と話している。

# 十勝毎日新聞

発行所  
十勝毎日新聞社  
〒080 帯広市東1条南8丁目  
電話=編集②2121、広告③2323、総務・販売③2222  
©十勝毎日新聞社 1996

一層ずついいねに  
しつとりと焼きあげました。  
北海道銘菓  
**三才六**  
(さんほうろく)

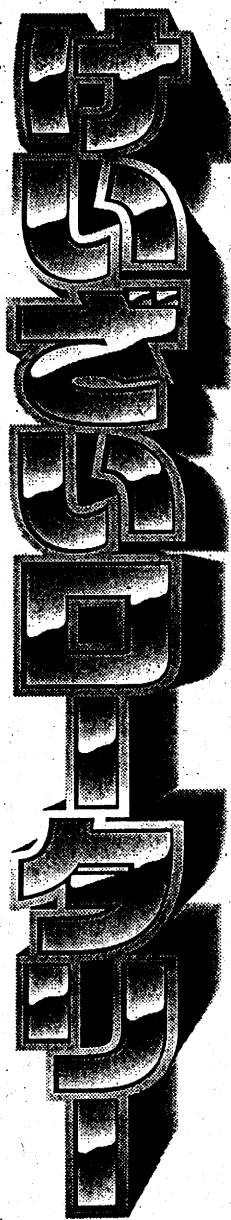
柳 月

ヒートパイプ実用化へ



土谷富士夫教授(21面)  
文部省から研究予算がつき、ヒートパイプの実用化に弾みがついた。道外進出の相談も。

本日の紙面



# 新産業めざして

\*6\*

帯広畜産大の研究から

## 人工凍土で農産物貯蔵

放出することによって土を凍結させる。そして内

「米や生花、小豆、菓

加価値が付く」と同教授

## 糖度高まり付加価値も

は強調する。

(政経部 道下恵次)

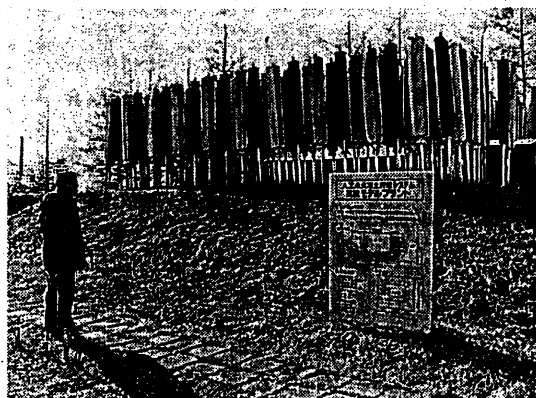
十勝独特の寒冷気候を利用して土中に人工凍土をめぐり、自然の冷熱エネルギーで農産物を貯蔵する研究。同教授は「地球温暖化が深刻になっている中で十分実用化できる」と強調している。

建造物、道路の亀裂の原因や農作物の遅延につながる凍土。土谷教授は研究の中でコンクリート並みに硬くなる凍土のメカニズムに着目し、冷熱利用を考えた。

熱伝導率が高く、人工衛星にも活用されている

畜産環境学科

土谷富士夫教授



土谷教授が開発したヒートパイプ型凍土貯蔵庫のモデルプラント

すでに土幌高校で家庭科実習材料の保存、網走市内で農作物の貯蔵庫として一部実験利用されて

☆道の補助制度メモ  
【創造的中小企業技術開発事業費補助金】  
▽対象者 協同組合など▽対象事業 中小企業の創造的業務活動の促進に関する臨時措置法の認定計画により、異分野組合が実施する研究開発▽補助内容 対象経費(調査分析、要素開発、システム開発、需要開拓事業費)を全額。一千九百万円以内。

日本雪氷学会道支部

# 水や地球温暖化をテーマに

## 畜大土谷、嶋田教授も講演

【社会部＝高久佳也】日本雪氷学会北海道支部（支部長・前野紀一北大低温科学研究所教授）の地域講演会が一月三十日午後一時半から帯広市内のとかちプラザで開かれた。

### 帯広の冬は4度上昇

70年前に比べ

同学会は雪や氷、低温なを例に雪と氷の性質を説明に關する研究者の集まり。毎年、道内で講演会を開いており、帯広開催は一九九五年以来四年ぶり。今回は同日開幕した帯広まつりと帯広アカデミーの共催事業として企画した。最初の講演者は前野支部長で、地球両極の水河など、



雪や氷、寒さをテーマにした雪氷学会の講演会

冬の平均気温は四度上昇しているが、原因は都市化にある」と述べた。  
また、地元の土谷富士夫畜大教授はヒートパイプを使って人工永久凍土を作る取り組みを紹介、「寒さをしのぐだけでなく、利用することもできるのでは」というのが発想だった」と述べた。嶋田徹畜大教授は十勝の気象条件と植生の関連を説明、「帯広は植物にとって厳しい環境で、選ばれたエリートの植物が今育てられているが、種類はあまりに少ない。（適性のある植物を）世界中から探してきて取り組みに期待したい」と述べた。

をしのぐだけでなく、利用することもできるのでは」というのが発想だった」と述べた。嶋田徹畜大教授は十勝の気象条件と植生の関連を説明、「帯広は植物にとって厳しい環境で、選ばれたエリートの植物が今育てられているが、種類はあまりに少ない。（適性のある植物を）世界中から探してきて取り組みに期待したい」と述べた。

1998年(平成10年)12月22日(火曜日)

(第3種郵便物認可)

## 新 聞 毎 日 勝 十

土谷・畜大教授

### 食糧備蓄基地推進協がシンポ

## 凍土低温貯蔵を解説

【札幌＝夏川憲彦】本道に食糧備蓄基地建設を求めて道経連などが中心になって昨年発足した大規模長期食糧備蓄基地構想推進協議会(戸田一夫会長)のシンポジウム「冷熱エネルギーによる貯蔵技術」が二十一日午後、札幌市内の北大学術交流会館で開かれた。堂腰純・元北大教授、堀山政良・室工大助教授、土谷富士夫・帯畜大教授が、それぞれ研究を進め、実用化を図っている自然氷、雪、凍土を利用した農産物の貯蔵施設について発表した。

土谷教授は「自然冷熱エ

ネルギーを利用したヒートパイプ型凍土低温貯蔵」と題して、畜大構内で実験研究を進めている人工的な凍土層造成とそこから得られる冷熱源の長期保存による貯蔵システムを解説。「近い将来の世界的異常気象や巨大災害に備えた食糧備蓄基地計画の推進にも大いに役立つ。世界人口膨張による食糧不足に対応する方策の一つとして海外にも十分実用供給できるシステムだ」と述べた。

凍土低温貯蔵システムについて発表する土谷教授

同協議会は、食糧安保の観点から国が食糧備蓄基地を建設するよう北海道から提言することとし、専門家を交えて活動を進めている。今月四日には、戸田会長が中川昭一農水大臣を訪ね、「自然冷熱貯蔵庫の実用化実験施設の建設」要望書を手渡した。同大臣は、ただちに同省に検討するよう指示し、現在事務ベースでの検討が進められている。食糧の安定供給、道内産業の振興につながるプロジェクトとして注目される。



新聞 新 日 毎 勝 十

食糧備蓄基地構想

氷室 人工凍土 アイスシエルター

十勝での実験成果貢献

【政経部道下恵次】道内では、北海道経済連合会が中心となって本道に食糧備蓄基地建設を求める動きが活発化している。昨年四月に発足した「大規模長期食糧備蓄基地構想推進協議会」(戸田一夫会長)は雪や氷、凍土といった自然冷熱エネルギーを利用して備蓄基地建設を構想しており、この調査研究には十勝での氷室、ヒートパイプの人工凍土、アイスシエルターといった実験成果が大きな役割を果たしている。

来月5日にセミナー

同協議会では①国内やアジアの食糧安保の観点から備蓄基地を建設すべきことを北海道から提案の食味保持、低コスト貯蔵が可能な冷熱エネルギーを活用した食糧備蓄技術の開発実用化で道内の産業振興、クラスター(産業群)創造を図る

を狙い、昨年十二月には戸田会長が中川昭一農相に要望書を手渡し、現在農水省内で検討が進んでいるという。

同協議会が調査、研究を進めている冷熱エネルギー

道の厳しい寒さを活用して備蓄に耐えうる大規模な施設を各地につくることを構想している。

は帯広畜産大学の土谷富士夫教授が考案した「ヒートパイプの人工永久凍土低温貯蔵庫」、土谷特殊農機製作所が実用化実験してい

る「アイスシエルター」、また管内農協がこれまでに取り組んだ氷室貯蔵やアイスボンド方式の貯蔵技術が大きな注目を集めている。

土谷教授は同協議会の専門家によるワーキンググループの一員で「冷熱エネルギーの技術実験はいずれも十勝が発祥で全道各地に発信した。これが実用化に向けて動きだしている」と強調している。

一方、釧路市では十年前から「食糧備蓄基地研究会」を発足させ検討を進めている。だが、十勝ではこうした研究組織はなく、十勝支庁は全道的な備蓄構想の流

1999年(平成11年)2月6日(土曜日)

## 北海道新聞



# 自然冷熱貯蔵に活用

## 農産物施設の可能性探る

「自然冷熱エネルギーを利用した農産物貯蔵に関するセミナー」(十勝支庁主催)が五日、帯広市のウエディングアラザミやもとで開かれ、十勝の厳しい「しばれ」などを活用した、環境保全型の貯蔵施設の可能

性を探った。セミナーには、管内の農協や市町村、建設会社など関係者約百二十人が参加。室蘭工大の堀山政良助教授と帯広畜大の土谷富士夫、石橋憲一助教授が講演した。

堀山助教授は、空知管内沼田町の雪を使った米貯蔵施設などを例に挙げ、「建設費は電気式の冷蔵施設より二・四割割高になるが、運転費は四分の一です」と経済性を強調した。寒冷な外気を利用する「ヒートパイプ型凍土低温貯蔵システム」を研究する土谷教授は、十年間におよぶ同システムの実用化試験の成果を紹介。石橋教授は、品質保持のための温度、湿度、各種ガスの濃度などを作物別に解説した。

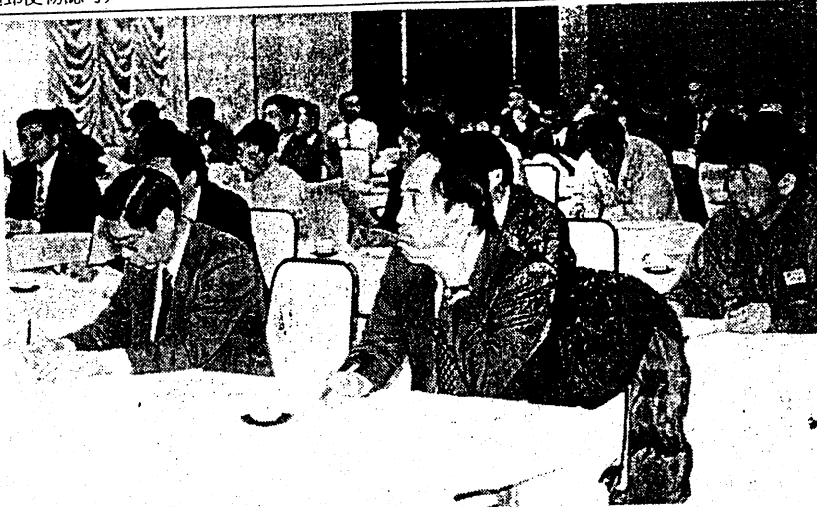
農作物の種類ごとに違う貯蔵条件について解説する石橋教授

1999年(平成11年)2月6日

(第3種郵便物認可)

新 日 毎 勝 十

自然冷熱を利用して農産物の貯蔵方策を探るセミナーに聞き入る参加者



【政経部道下恵次】自然の冷熱エネルギーを利用した農産物貯蔵のセミナーが五日午後一時半から、ウエディングプラザみやもとで開かれた。道内で冷熱エネルギーの研究を進めている識者が講演し、自然エネルギーによる農産物貯蔵の実用性を強調した。

同セミナーは十勝支庁農業振興部の主催。冒頭、石原伍朗部長は「二十一世紀の農政の大きな転換期にあたり、低コストで高品質な貯蔵システムの開発は必要で、自然エネルギーの活用は期

## 冷熱貯蔵の実用性示す

### 農産物研究者3人が講演

「待される」とセミナーの趣旨を語った。

この後、雪の冷熱を利用した貯蔵方法について室蘭

工業大学の堀(こび)山政、土谷富士夫教授、農産物の良助教授、ヒートパイプを利用した人工凍土低温貯蔵の石橋憲一教授がそれぞれ講演した。

雪室の技術については「貯蔵庫としては農産物貯蔵に最適な条件となるだけでなく、冷房システムにも利用でき、電気冷房に比べて維持管理費を低減できる」など利点を強調。人工凍土貯蔵は十勝の寒冷気候に合った貯蔵方法であることを示し「電気などいらずコストの掛からない技術」と述べ、実用性を示した。