

4. 地殻変動観測坑の温度分布

地震研究所 { 山 田 重 平
柳 沢 道 夫
島 津 孝

(昭和48年12月28日受理)

まえがき

最近計器の高感度化に伴ない観測坑の温度の空間的、時間的分布を知ることが重要となってきた。温度に起因する誤差は観測誤差のうちでもっとも普遍的なものであるにも拘わらず、その実体が不明確であった。というのは、一般に観測坑の温度変化は小さいので従来の0.1°C目盛の水銀寒暖計をもってしては十分な測定精度が得られなかったのである。この問題を明らかにするには十分な精度を有し、かつ長期安定性の優れた温度計の入手がぜひ必要となる。水晶管土地伸縮計は歪地震計を併用とする電気的の検出装置にかわり、感度は10~100倍に向上した。水管傾斜計も自記記録方式を採用することにより検出精度1ミクロンを確保し、それ以上にすることも容易である。また最近開発された種類の傾斜計についても著るしい性能の向上と共に温度特性が問題になってきている。従って、今後こうした観測計器から得られる記録から新しい事象を捕えようとする場合、温度変化に関する一段精しい知識が不可欠と思われる。

筆者らはさきに油壺・鋸山両観測所について水銀寒暖計による長期間の観測坑の温度変化の状況を、また鋸山観測所におけるTEM型重力計及傾斜計の試験観測時の温度変化について、これから述べるものと同方式の電気式温度計による坑内温度変化の概要を報告した^{1),2)}。ここではさらに一步進めて坑内全般に亘る検討を試みたいと思う。

1. 観測条件

鋸山観測所は地震予知研究計画におけるこの種観測所の原型ともいべきものである。観測横坑は鋸山北麓の東北東より西南西に延びる舌状の丘陵に掘られている。山地の平均勾配は40°、全体が灌木の雑木で覆われている。横坑付近の岩石は堅硬均質な凝灰岩からなる。時に「目」と称する珪化部分を含むけれども、断層やわれ目は全くない。湧水もなく素堀のまま使用し得る点においても地殻変動観測所として最良の条件と言っても過言ではあるまい。第1図は横坑のNS成分沿の断面を示したものである。各番号の温度計の位置が坑口および山の「かぶり」よりどのくらいの深さにあるかは図より知ることができる。第2図は観測横坑の平面図である。入口を含めて四重の扉を通して計器室に達する。EW成分の東側には非常脱出口がある。出口は薄いコンクリート壁で塞がれ、そこに通ずる狭い通路がある。脱出口は観測所建設当時の考えとして設置したものである。この付近で温度変化が特に大きいのはこの脱出口の壁の薄さのためと思われる。

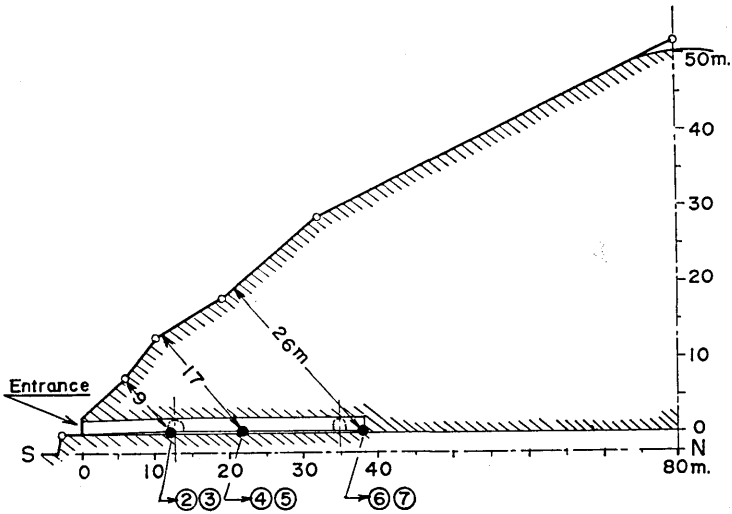


Fig. 1. Cross-sectional view of the NS-component vault (Nokogiriyama Observatory).

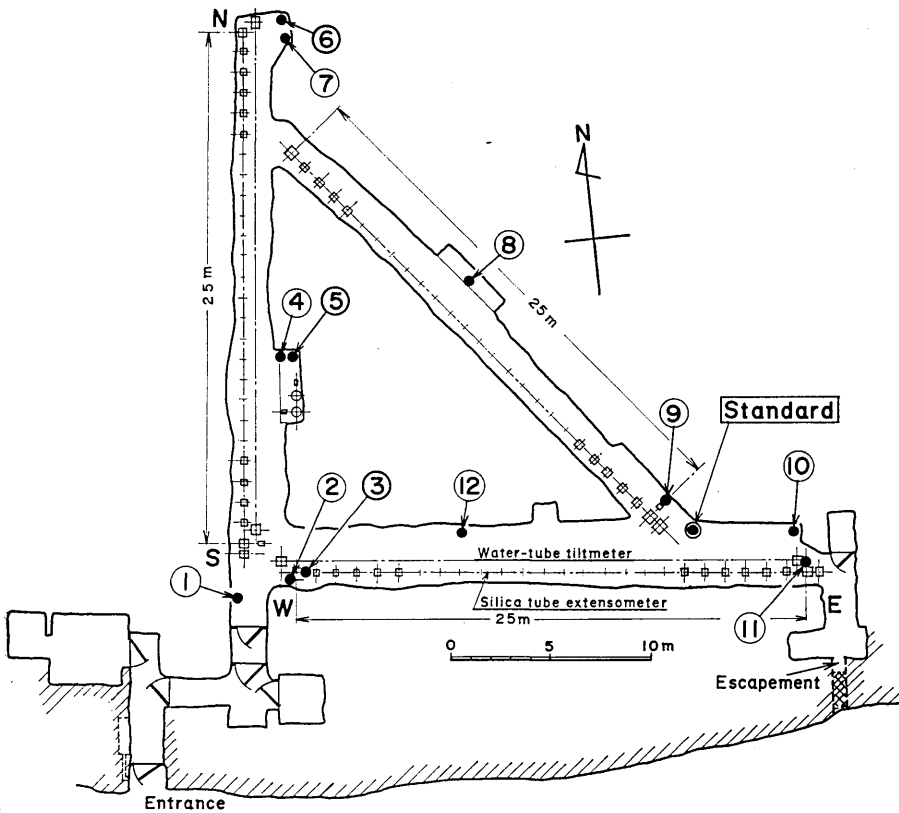


Fig. 2. Plan of the vault and location of the thermometers.

2. 温度計の配置

温度計は第2図に①②などの記号で示す12個所に配置してある。このように配置した理由は坑内全体の温度分布を知ることにあるが、特に奥行方向であるNS成分沿いに重点を置いている。場所により2個置いてあるが、その1個は空気温度の測定用で、他は地中温度を測るために直径10 cm、深さ30 cmの垂直孔の中に入れてある。以上を整理すると、

空気温度の測定 ① ② ④ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫

地中温度の測定 ⑤ ⑥

計器内の温度測定 ③

となる。③は伸縮計の自由端側の水晶管に近接して感温部を設置し、水晶管全体は発泡スチロール断熱材で覆ってある。⑨の近くには基準温度計 (STANDARD) として計量研究所において $\pm 0.03^{\circ}\text{C}$ の精度で器差検定がなされた水銀寒暖計が置いてある。⑩は地中温度測定用であったが、温度変化による露結のためか孔内に水が溜ったため、途中から気温測定用に変更した。山腹に対する各温度計の位置は第1図に示すように、地表への最短距離は②③、④⑤、⑥⑦においてそれぞれ9 m、17 m、26 mである。

3. 温度計の製作

この測定は第3図に示す測定回路のサーミスタ温度計によって行われた。簡単にその製作法を述べる。観測坑の平均温度 15.4°C に対するサーミスタの抵抗値を電圧電流計法によって求める。この素子とこれに近い値の抵抗3本でホイートストン・ブリッジを構成するが、 $R_1=R_2$ 、 $R_3=Th$ に選ぶ。 R_4 、 R_5 は感度決定の分圧用抵抗であるが、 $R_4+R_5 \geq 50 \text{ k}\Omega$ にとる。VR は

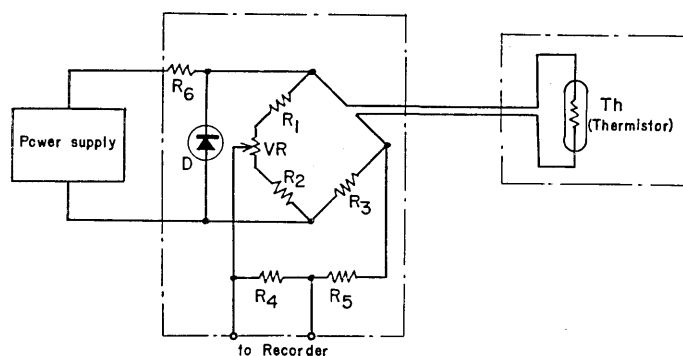


Fig. 3. Circuit diagram of a thermometer.

記録計の零位置修正用の可変抵抗である。 R_6 と D (温度補償型定電圧ダイオード) によって電源電圧の安定化をはかる。電源は12ボルト ($\pm 0.1\%$) のものを使用する。なお、サーミスタはBT-23 (NEC)、定電圧ダイオードは1S 214 (東芝)、抵抗は金属被膜型 (1/4 W, 2% 誤差) を使用した。総ての電子部品は温度特性を有するから計器の調整は装置全体を恒温槽に入れて行なわなければならない。温度計の自記記録器として、12打点、感度 $\pm 5 \text{ mV}$ の横河 ERB 12-30-123 型を使用した。この記録器に対する温度計の感度は記録紙の有効巾18 cm (100目

盛) に対し 0.85°C である。温度計はこのままでは瞬時の温度変化に敏感すぎて不便であるから熱的ダンパーを必要とする。ダンパーの材料を種種試みたところ感温部をビール瓶の中に入れる方法が一番よい結果が得られた。その理由はガラスの熱線の遮断効果が優れているためであろう。

次に検定方法については各温度計の場所にあらかじめ較正された水銀寒暖計を吊し、近接撮

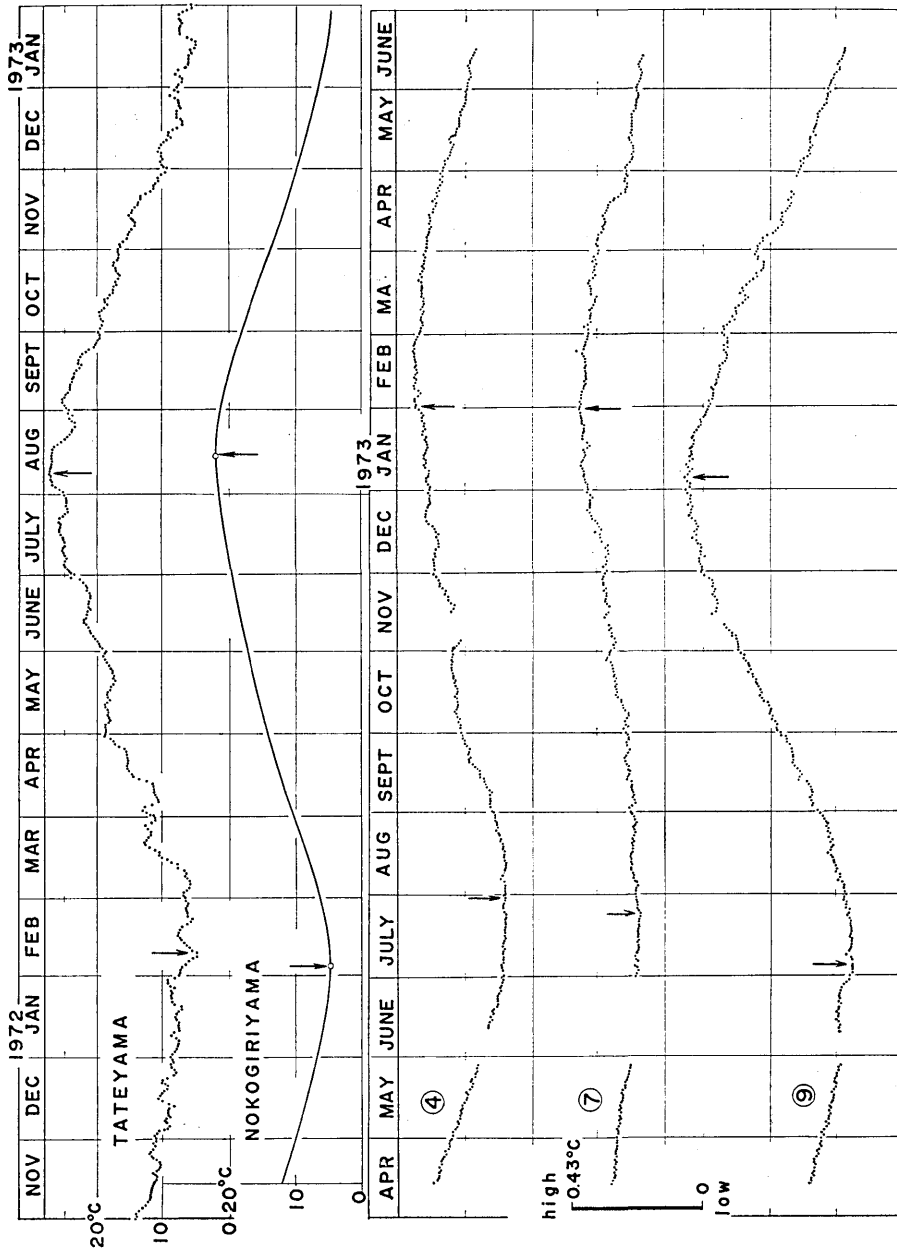


Fig. 4. Annual changes of temperature.
 upper: the atmospheric temperature at Tateyama (J. M. A.; 10-day running mean values) and Nokogiriyama (smoothed by an empirical formula, see 2)).
 lower: examples of the recorded temperature in the vault (the 0-hour value at ④, ⑦ and ⑨).
 Note that the time axes of the upper and lower groups are shifted relatively, for the comparison purpose.

影装置を取付けたカメラを遠隔操作によって撮影する方法をとった。引伸印画上で 0.1°C を 4 mm 程度にすればさきの自記記録に匹敵する分解能で読取が可能である。今回は都合により絶対値の検定を行なうまでに至らなかった。実際の記録には往往記録線の段違いや一時的のドリフトがあらわれることがある。補正の操作は極力行なうものの集積するとかなりの誤差となるので、検定はぜひ実施すべきである。

4. 測定成果

以上の装置による測定を1972年3月より翌年の7月に至る16ヵ月間行なったが、順調な記録が得られた14ヵ月間の記録例を第4図に示す。なお、これと比較検討するために館山候候所の気温の日平均値の10日移動平均およびサーミスタ温度計による鋸山の外気温度の最小自乗法による値(前出2より引用)も一緒に示しておいた。ただし、上下両図の時間軸は下記の事情から5ヵ月ずらしてある。この図で明らかのように外気温度と坑内温度の年周変化の形はよく一致しており、外気温度の最低期2月に対し坑内では7月に、また前者の最高期の8月に対し後者のそれは翌年の1月に現われている。12成分それぞれについての振巾および位相を第1表に示しておいた。このように外気温度に対し坑内温度が5~6ヵ月ずれること、および振巾と位相の関係については柳沢(前出2)がすでに論じているところである。なお、坑内温度の細

Table 1. Amplitude and phase of the annual temperature changes.

Location	Amplitude	Phase		Remarks
		Lowest temp.	Highest temp.	
1	0.44°C	June 28 '72	Jan. 9 '73	A
2	0.56	Aug. 14 "	Dec. 15 '72?	A
3	0.44	July 17 "	Jan. 15 '73	S
4	0.30	July 29 "	Jan. 31 "	A
5	0.24	Aug. 6 "	Feb. 6 "	R
6	0.19	Aug. 4 "	Feb. 24 "	R
7	0.21	July 24 "	Jan. 31 "	A
8	0.30	Aug. 6 "	Feb. 14 "	A
9	0.55	July 4 "	Jan. 4 "	A
10	0.43	June 19 "	Dec. 20 '72	A
11	0.58	June 20 "	Dec. 23 "	A
12	0.38	July 27 "	Jan. 26 '73	A
Nokogiriyama	17.3	Feb. 3 '73	Aug. 14 "	O
Tateyama	22.3	Feb. 7 **	Aug. 8 ***	O

* Lowest temperature 4.8°C

** Highest temperature 27.1°C

Symbols A: air temperature in the vault.

S: surface temperature of a strainmeter.

R: rock surface temperature.

O: atmospheric temperature.

かな起伏も館山の気温のそれに割合によく一致しているところも見られる。同じ場所に置いた気温と地中温度の測定結果を比べると地中温度の方が 20% 程度振巾が小さく位相も 7 日～20 日の遅れがみられる。また、同じ場所での気温②と計器の内部③との比較については、振巾の方はよいとして位相に関しては②がやや異常である。それは②の記録がよくないためで、この際むしろ①との比較をとった方が適当と思う。次に入口寄と奥すなわち NS 方向約 27 m の両端における振巾の年周変化は、空気温度・地中温度共に奥の方が入口の約半分で、位相は 20 日程度遅れている。また EW 方向、すなわち「かぶり」一定の方向に並んでいる諸成分については振巾は 0.44～0.55°C、温度の最低は 6 月 24 日前後、最高は 12 月末から 1 月にかけて現われている。

5. 短周期の温度変化

坑内の水晶管伸縮計は断熱材で覆い熱的に周囲と絶縁してあるが、それでも観測員が入坑すると W 字状の擾乱が記録線にあらわれることを長年経験してきた。この擾乱は歪に換算して 10^{-8} 程度のものであるが、主として人体からの輻射によるものであろう。同観測所では水管傾

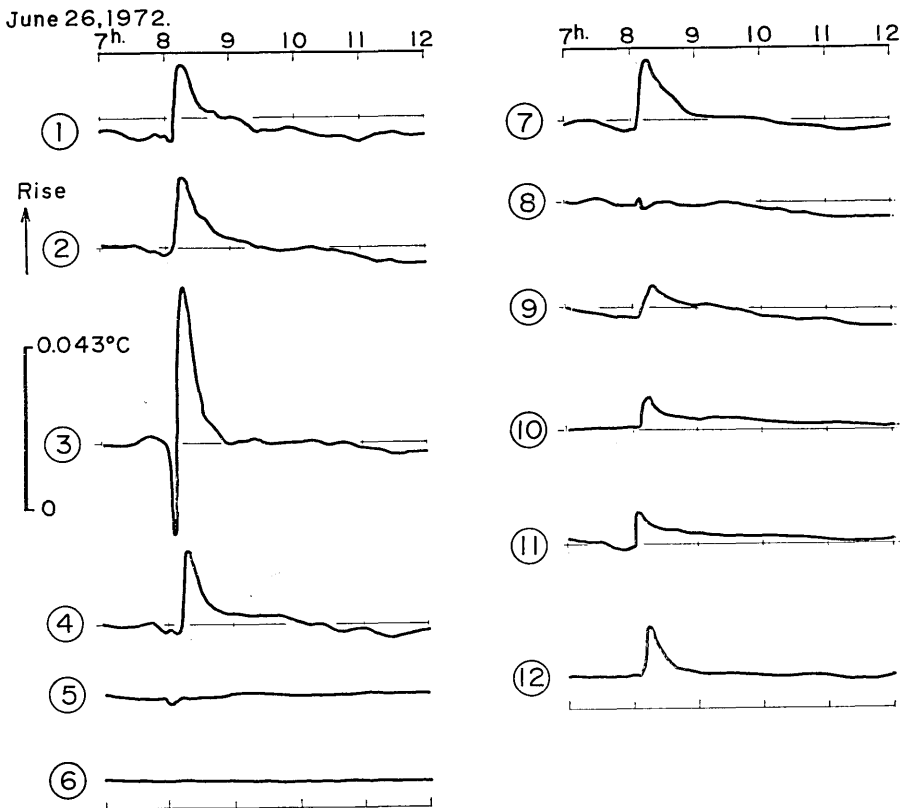


Fig. 5. The short-period temperature changes associated with the observer's daily patrol.

斜計の定時読取の際は坑内を消灯のままで入坑する。第5図はこのような観測時の平均的な記録の一例である。②⑦⑩は水管傾斜計に近く観測員が停留して読取を行なうため特に変化が大きい。温度上昇に先立って一時温度低下がみられるものもあるが、それは攪乱によって低温空気の影響を受けたものであろう。ここで問題なのは水晶管の温度測定用③の変化が意外に大きいことである。その理由として水管傾斜計の読取用光源（小型電球）の点灯による影響も考えられるが、発泡スチロールの断熱材が熱輻射に対してガラスより劣るためかも知れない。もしそうならば、計器の断熱方法に再考を要することである。この図から推定できることであるが、僅か $0.02\sim 0.03^{\circ}\text{C}$ 程度の温度変化を与えただけで元に復するまでに $1.5\sim 2$ 時間を要し、さらに大きな変化 0.18°C に対しては $15\sim 16$ 時間を要する記録も得られている。

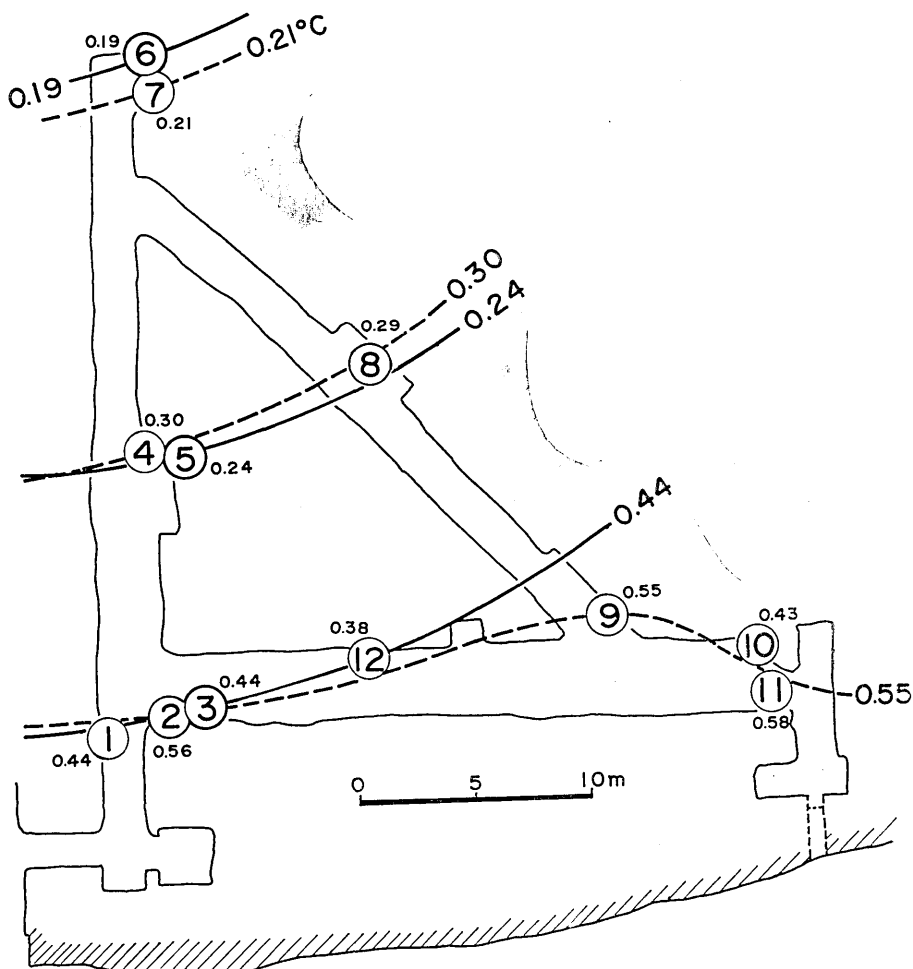


Fig. 6. Distribution of the annual changes (amplitude) at Nokogiriyama. Solid and broken lines denote rock surface temperature and air temperature, respectively.

6. 測定結果のまとめ

以上観測坑内 12 個所の温度観測の結果をまとめれば、鋸山観測所の坑内温度変化の分布は第 6 図のようになる。坑内気温の振巾変化は地中温度に比べて 20% 程度大きい。また外気温温度の変化に対し坑内温度はそれの 1/40~1/100 程度の変化にとどまるが、岩石を通じた熱伝導効果のみを考えれば「かぶり」の最も浅い②⑩などの場所においてさえも 1/100 に近い温度変化の減衰が期待されてよい筈である。位相については、第 1 表に示したが、これを NS 成分の方向について振巾と位相をまとめると第 7 図のようになる。すなわち、山の「かぶり」が厚いほど振巾は減少し、位相は遅れが大きくなる。坑内気温と地中温度との位相差は場所によらず大体一定である。それぞれの場所における位相のずれは、②③と④⑤の間では大きく、④⑤と⑥⑦の区間では小さい。このことから単位距離当りの位相の変化は「かぶり」の浅いところ

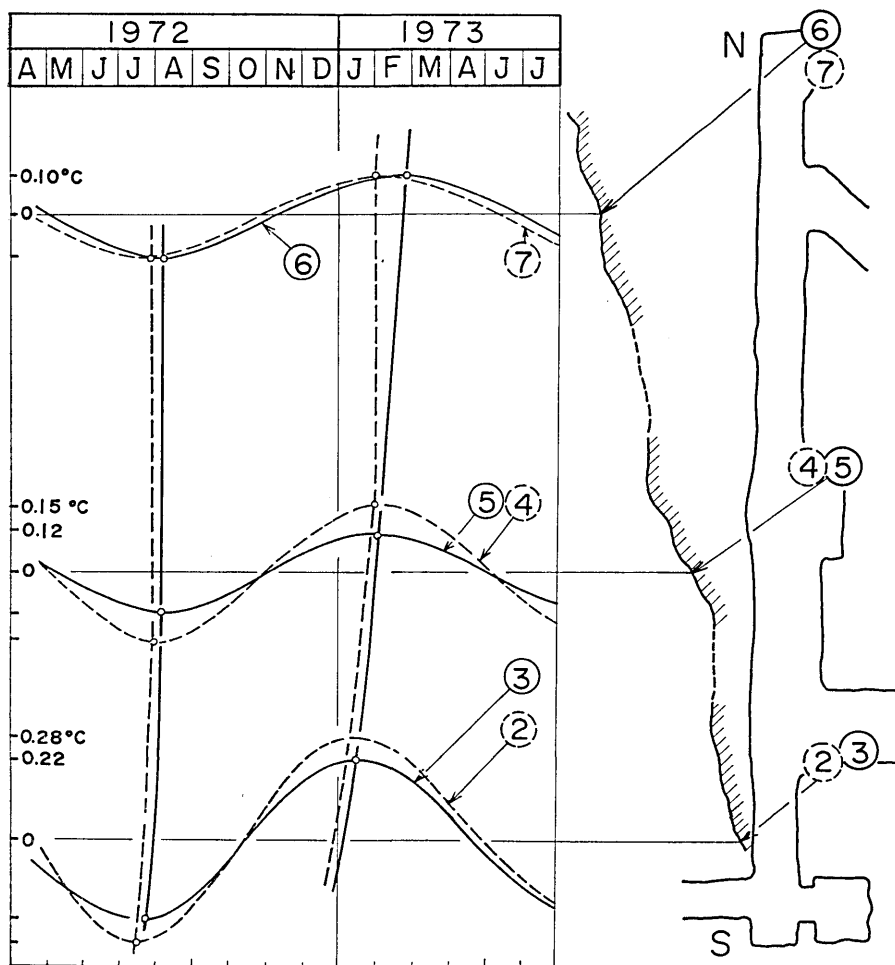


Fig. 7. Modes of the annual temperature changes along the NS-component vault.

では大きく深さを増すに従って漸減してゆく。以上述べたように外気温度と坑内温度との振巾比が理論値より小さいこと、入口寄ほど位相変化の割合が大きいという事実が明らかになった。このことは観測員の出入による外気の流入特に入口に近いほど流通が激しいこと、非常脱出口の薄い壁からも外気温度変化が侵入する。この二つの理由によるものと思われる。また第7図で明らかなように、入口と奥との間には常にある温度勾配が存在するが、両端の差は平均的に 0.20°C を超えることはないであろう。その勾配が反転に移る4月と10月には坑内の温度が一様になる時期がある。短周期変化については、微小な温度変化でも復元に長時間を要すること、発泡スチロールの輻射熱の遮断効果について検討を要することである。

以上測定結果について一応の報告を行なった。これが計器の温度誤差を少なくするには如何にすべきかを考える際のひとつの参考資料になれば幸である。この研究をはじめのに当り、本所の関係者から計器のドリフトなどについて心配ないかのご注意をいただいた。その点については充分注意を払ったことは第4図の結果からお認めいただけると思う。しかし、基準寒暖計を購入したがサーミスタ温度計の記録に絶対値を記入出来なかった。

謝 辞

この測定は昭和46年度の所内プロジェクト研究の一課題として行なったものである。笠原慶一教授には結果の解析に際して有益な助言ご指導を賜わった。気温の資料は館山測候所にお世話になった。以上の関係の方方に対し厚くお礼を申し上げる次第である。

文 献

- 1) 山田重平：水管傾斜計によって観測された地殻変動。地震研究所速報 第10号，1冊，(1973)，pp. 17-21.
- 2) 柳沢道夫：鋸山地殻変動観測所における坑内温度の年変化の計測。測地学会誌。Vol. 19, No. 4, (1974).

4. *Temperature Distribution in a Vault for Crustal Movement Observation.*

By Juhei YAMADA, Michio YANAGISAWA
and Takashi SHIMAZU,

Earthquake Research Institute.

Temperature measurement in a vault is a standard job at a crustal movement observatory. A precise mercury thermometer ($0.1^{\circ}\text{C}/\text{div.}$) has been used conventionally for this purpose. Recent progress in an observational system has needed more precise knowledge about the temperature changes in a vault for satisfactory correction of the data. Basically, a vault is subject to temperature changes by two principal causes, heat conduction from the

surface and the air flow through the entrance. In the first case, the underground temperature is a function of the depth from the ground surface. In a vault which is excavated in a mountain slope, therefore, the temperature is not uniform to all its extension, being subject to relatively large seasonal changes in a shallower part. The second type disturbance will affect the vault in a more complicated way.

To study these problems, the writers have constructed an array of high-sensitivity thermometers in the Nokogiriyama Observatory.

Practically, the thermometers are of the thermistor type with sensitivity as high as $0.0085^{\circ}\text{C}/\text{div.}$ on the record. By use of twelve thermometers at various sites in the vault, the writers have recorded temperature changes for fourteen months since April 1972. In comparison with the atmospheric temperature the annual temperature changes in the vault decay to $1/40\sim 1/100$ of the outdoor data, and delay in their phase for several months.

More precisely, there is a significant difference in phase and amplitude of the changes between the shallower and deeper parts in the vault. In the former part, the amplitude reduces to half of the latter, with phase difference for about 20 days between them. It is also notable that the seasonal changes at deeper sites are contaminated with higher harmonics much less than that at shallow sites. As was previously supposed, the vault has a temperature gradient generally. Judging from the present data, however, it will not cause the difference more than 0.20°C between the two ends. The vault temperature will be most uniform in April and October. As to the short-period disturbances, the surface temperature of a strainmeter rises unexpectedly much at the time of the observer's patrolling.

This suggests that the present instruments must be protected more carefully from thermal disturbances, particularly from heat radiation.