

生駒市小瀬里深層温泉における 揚湯中の水温と水質の特異な変動

庄田 里恵・北岡 豪一（岡山理科大学・理）

1. はじめに

奈良県生駒市小瀬の里地区に掘削された深層温泉（1999年掘削，深度1685m，湧出温度43.3℃，湧出量156ℓ/min，重炭酸ナトリウム型）では，揚湯中に時間とともに温度が低下する特異な現象が見られる。2003年11月より月1回程度の定期的な揚湯試験を行っている。その結果の一部を報告する。

2. 方法

揚湯試験は，朝9時頃から夕方4時頃までの約7時間水中ポンプを連続運転させて行い，水位，電気伝導度（EC），水素イオン濃度（pH），流量，水位を測定した。水温とECはデータロガに10秒毎取り込み測定し，pH，水位は1～10分間隔で，流量は1時間間隔で測定を行った。また，採水した試料については，実験室で硫酸滴定法により HCO_3^- 濃度，イオンクロマトグラフィー法から陰イオン F^- ， Cl^- ， NO_2^- ， NO_3^- ， SO_4^{2-} ， PO_4^{3-} 濃度と陽イオン Na^+ ， K^+ ， Mg^{2+} ， Ca^{2+} 濃度を測定した。

3. 結果

揚湯試験中に観測された水温変化の一例を図1（2004年11月22日測定）に示す。温度は揚湯開始直後，急速に上昇し，ピークに達した後は徐々に低下する。その変化は，ある値に落ち着くようなパターンである。（7時間の揚湯時間では十分に落ち着かない。）

この揚湯試験中におけるECの変化を図2に示す。揚湯開始直後，ECはいったん低下し，2回のピークの後急速に低下し，時間とともに徐々に回復，水温同様にある値に落ち着く様な傾向がみられる。また，その途中で1回のピークがみられる。特に，ピーク温度前後にみられるECの高まりと，その直後の急激な低下は特徴的であり，水温の変化には異種の水の混入による影響が考えられる。

そこで，これらの水質の特徴を理解するため，主要溶存成分（ HCO_3^- ， Cl^- ， SO_4^{2-} ， Na^+ ， K^+ ， Mg^{2+} ， Ca^{2+} ）をヘキサダイアグラムで図3-2に示す。（a）～（c）図は揚湯途中の水質変化を示しそれぞれに揚湯終了時の水質（d）図を点線で重ね合わせたものである。これより，揚湯開始から約1時間後の水質（b）図でみられるように，温泉水よりも HCO_3^- ， Na^+ 濃度の低い水が混入していることがわかる。これにより，揚湯途中の水温変化とEC変化が起こっているものと考えられる。

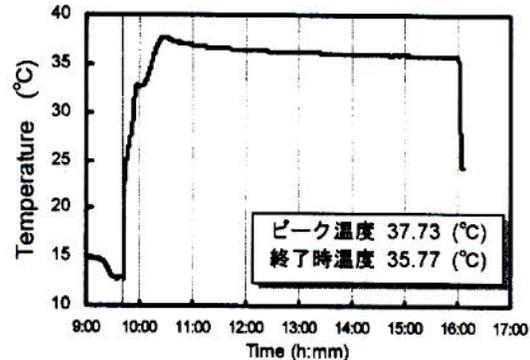


図1 揚湯中の水温変化(2004/11/22 測定)

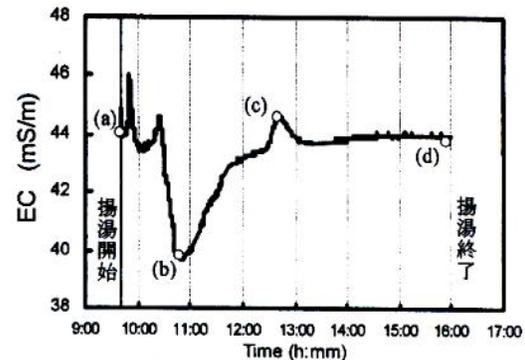


図2 揚湯中のEC変化(2004/11/22 測定)

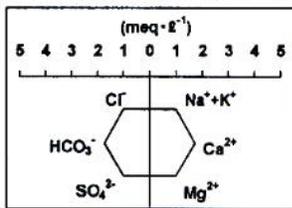
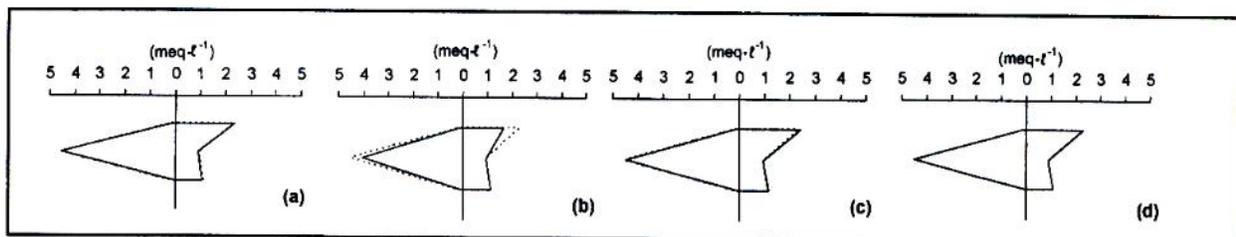


図3-1 (左図)
ヘキサダイアグラム凡例

図3-2 (下図)
揚湯試験における主要溶
存成分の変化(a)～(b)



4. 考察

揚湯とともに水温が低下する現象は、温泉水以外の地下水と温泉水とが混合して、出てくるような状況が想像される。そこで、地下にある空間（タンク）と考え、そこでタンク内の水の温度と異なる温度の水が混合するような状況を想定してみる。

ただし、タンクの中の水と流入する水とがタンクの中で良く混合し、またタンクの壁を通しての熱の出入りは無いものとする。すなわち、流れが定常、温度が非定常の状況を想定する。

このように仮定すると、タンクを出入りする熱量の収支は (1) 式のように表現できる。

$$\frac{d(TV)}{dt} = QT_{\infty} - QT \quad \dots (1)$$

(1) 式を積分すると (2) 式となる。

$$\ln(T - T_{\infty}) = -\frac{t}{\tau} + C \quad \dots (2) \quad (C: \text{積分定数})$$

(2) 式は、 $T - T_{\infty}$ の対数が時間 t に対して直線的な関係を持つことを表す。また、この勾配の逆数が滞留時間 τ を表す。

温泉水が湧出管を上昇する途中の冷却が時間に対して一定であるとすれば、地上の観測より水温を T' とすると、 $T - T_{\infty}$ は $T' - T'_{\infty}$ と等しくなり、(3) 式で表現できる。

$$\ln(T' - T'_{\infty}) = -\frac{t}{\tau} + C \quad \dots (3)$$

このようにして T_{∞} を調節しながら、 $\ln(T - T_{\infty})$ の時間変化を調べると、その一例 (図 1 の場合) を図 5 に示すように、 $T_{\infty} = 35.70 \text{ }^{\circ}\text{C}$ のとき、直線的な関係を生じることが確かめられる。これは、(1) 式の仮定が現実をある程度近似していることを示している。この直線の勾配から、タンクの τ は約 2 時間であることがわかる。揚湯量 $Q = 150 \text{ l/min}$ であるから、タンク容積 $V = 18.27 \text{ m}^3$ である。このような空間として、湧出量のストレーナー付近及び湧出管と掘削孔壁の隙間が考えられる。

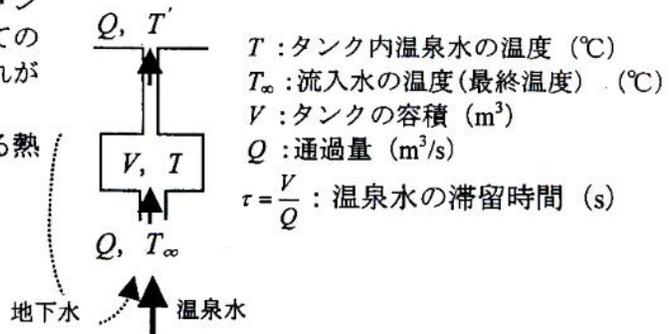


図 4 タンクモデル

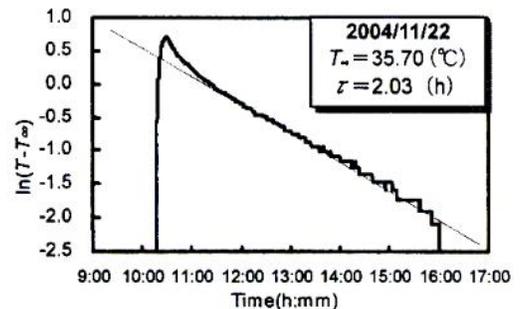


図 5 温泉水の対数温度の変化

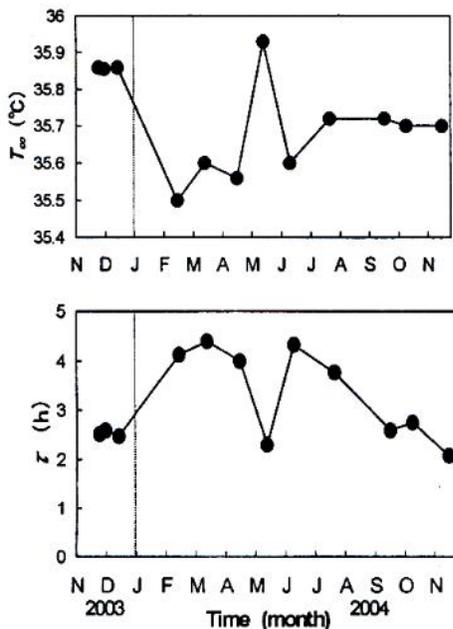


図 6 揚湯試験における最終温度 T_{∞} の変化 (上図) と温泉水の滞留時間 τ の変化 (下図)

図 6 は、2003 年 11 月から約 1 年間にわたる T_{∞} と τ の変化を示したものである。 T_{∞} は、2003 年 11 月には $35.86 \text{ }^{\circ}\text{C}$ であったが、12 月から 2 月にかけて急激に低下し、同年 5 月には一時的に元のレベルまで回復し、その後再び低下し $35.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 付近の値になっている。また T_{∞} と τ の間には負の相関関係が認められる。5 月の T_{∞} の上昇時に τ が低下していることは、地下深部でこの時期に温泉水の流入が増したことが考えられる。これは時期による地下深部で温泉水の流れの状態に変化があったことを示唆する。実際、生駒市域より、南南西約 14 km 離れた京都大学防災研究所屯鶴峰観測所で、この時期に地殻の圧縮ひずみが観測されている。

参考文献

- ・湯原浩三, 瀬野錦蔵; 温泉学, 1977, 地人書館
- ・畠中武文; 温泉の発見-地質リモートセンシングの利用による-, 1993, 地人書館