

孔底温度からみた神奈川県内の地温勾配

菊川城司*・小田原啓*・板寺一洋*

Geothermal gradient in Kanagawa Prefecture, inferred from Bottom Hole Temperature

by

Joji KIKUGAWA, Kei ODAWARA and Kazuhiro ITADERA

1. はじめに

神奈川県内の温泉は、古くは箱根温泉、湯河原温泉など県西部をを中心に発達してきた。しかし、1990年代以降、横浜市、川崎市など県東部の平野部において掘削深度1000m以上のいわゆる大深度温泉が掘削されるようになり、近年の温泉掘削許可申請においても平野部に掘削される源泉の申請が非常に目立っている。また、箱根温泉、湯河原温泉など旧来の温泉地においても、大深度温泉を掘削する事例が増加している。最近では神奈川県衛生部（現：保健福祉部）が策定した「大深度温泉井掘削許可申請指導基準」により、深度1000m以上の大深度温泉井は、既存の大深度温泉井から1km以上離れて掘削する旨の指導が行われていることから、県東部においても大深度温泉井の近傍に掘削深度800m程度の源泉を掘削する事例が目立つようになってきた。火山活動による温度上昇が期待できない県東部において温泉を掘削する際、高温の温泉を得るためには掘削深度を深くすることによる温度上昇に頼ることとなる。そのため、地中の温度分布を把握することは温泉を掘削する場合に重要な課題である。本報告では、神奈川県内に掘削された深度800m以上の源泉の孔底温度をもとに県内の地温勾配についてとりまとめた。

2. 地温勾配

地表の温度は、昼間の日射による上昇、夜間の輻射による低下などにより日周期性を持つ。また、季節による気温変動の影響により年周期性も持っている。このような変動は、地中温度にも影響を与えるが、日周期は数十cm程度で認められなくなる。また、年周期は地域によって異なるが、日本では十数mで認められなくなる。年間を通して温度の変動がほとんどなくなる深度は恒温層と呼ばれ、地中温度は年間を通してほとんど変動しなくなる。恒温層の地中温度は、一般的に深部からの熱伝導

や地熱流体の影響によって、深度が増すとともに上昇する。この地中温度の上昇割合が地温勾配であるが、地温上昇率、地下増温率などと呼ばれることもある。地温勾配は、火山や地熱地帯など熱的異常を有する地域以外では2～3℃/100m程度であるといわれている（地学団体研究会編、1996；湯原・瀬野、1969）。

地中温度の垂直分布は、局地的な地質や地下水流動などの影響を受けるため複雑である。そのため、詳細な地中温度の垂直分布は個々の井戸の温度検層結果を読み解く必要があるが、本報告では掘削深度800m以上の温泉井全長の地温勾配について概観することを目的としており、地表付近の気温の変動や地下水流動の影響は無視できるものとし、地表から孔底まで直線的に地温が上昇すると仮定した。

本報告で取り扱った深度800m以上の源泉は84カ所である。表1に各源泉の孔底温度を示した。また、今回解析に使用した源泉の分布を図1及び図2に示した。神奈川県では温泉保護に資するため、施主、掘削業者の協力により掘削時の地質試料の提供を受けるとともに電気検層、温度検層、揚湯試験結果などの資料を収集している。ここでは、これらの資料から温泉井の掘削完了時に測定した孔底温度のデータを抽出し利用した。

源泉毎の地温勾配は（式1）により計算を行った。ここでは、先にも述べたように、恒温層以浅の気温変化による影響は無視できるものとして、地表から孔底まで直線的に地中温度が上昇すると仮定した。また、気象庁による気象統計において横浜の1971年から2000年の30年間の平均気温が15.5℃であることから、地表の気温は15.5℃と仮定した。

$$G = (T_b - 15.5) / D \times 100 \quad \dots\dots\dots (式1)$$

G：地温勾配（℃/100m）

T_b：孔底温度（℃）

D：掘削深度（m）

* 神奈川県温泉地学研究所 〒250-0031 神奈川県小田原市入生田586
報告, 神奈川県温泉地学研究所報告, 第39巻, 79-84, 2007.

表 1 掘削深度 800 m以上の源泉の孔底温度

源泉番号	源泉所在地	海拔標高 (m)	掘削深度 (GL-m)	孔底温度 (°C)	源泉番号	源泉所在地	海拔標高 (m)	掘削深度 (GL-m)	孔底温度 (°C)
KW30	川崎市幸区	4	1300	47.2	TS1	藤野町牧野	286	1400	45.6
KW31	川崎市宮前区	20	1500	48.6	TS2	藤野町牧野	310	1800	52.5
KW33	川崎市麻生区	62	1500	50.2	TS3	藤野町牧野	213	1400	45.1
KW34	川崎市高津区	11	1800	56.8	TS5	津久井町青根	293	1311	45.4
KW35	川崎市宮前区	60	1500	43.4	OD5	小田原市根府川	186	1504	69.0
KW36	川崎市麻生区	60	850	35.3	OD6	小田原市風祭	35	1200	72.8
YH73	横浜市旭区	62	1500	52.0	OD7	小田原市根府川	184	1503	69.4
YH77	横浜市戸塚区	16	1507	47.1	OD8	小田原市根府川	160	1500	65.5
YH78	横浜市鶴見区	3	1500	56.5	OD9	小田原市前川	9	805	15.0
YH80	横浜市瀬谷区	73	1500	58.5	OD10	小田原市前川	17	1000	32.3
YH81	横浜市戸塚区	40	1300	46.4	AK14	南足柄市広町	226	1500	74.8
YH87	横浜市港南区	61	1486	56.0	AK12	山北町川西	397	1510	32.4
YH88	横浜市港北区	5	1500	55.0	AK-BYS	山北町山北	152	2035	72.3
YH89	横浜市瀬谷区	58	800	34.5	YM91	箱根町湯本茶屋	215	950	103.0
YH90	横浜市青葉区	48	1500	52.0	YM102	箱根町湯本茶屋	212	800	92.9
YH91	横浜市神奈川区	2	1500	57.4	YM119	箱根町須雲川	237	900	101.0
YH92	横浜市都筑区	16	1503	50.8	YM122	箱根町須雲川	242	1100	124.0
YH-ISG	横浜市磯子区	81	1503	54.7	YM123	箱根町湯本茶屋	212	1000	83.0
YS8	横須賀市鴨居	5	999	50.0	YM124	箱根町畑宿	342	1500	140.8
YS9	横須賀市衣笠	40	1467	45.8	YM125	箱根町畑宿	370	1360	131.7
YS12	横須賀市佐野町	20	802	34.8	YM126	箱根町湯本茶屋	320	1000	67.2
MU3	三浦市南下浦町	18	1500	49.7	ON119	箱根町小涌谷	705	850	103.0
KM4	逗子市沼間	50	1600	61.0	ON136	箱根町大平台	262	837	66.6
FJ5	藤沢市川名	10	1201	51.2	MY33	箱根町強羅	527	1000	156.0
FJ6	藤沢市江ノ島	2	1500	47.6	MY100	箱根町宮城野	550	800	77.0
FJ-TJD	藤沢市辻堂	13	1500	51.0	MO37	箱根町元箱根	832	1000	74.0
TG1	茅ヶ崎市茅ヶ崎	13	1500	46.0	MO41	箱根町元箱根	740	882	66.0
HR3	平塚市錦町	7	1301	42.1	MO43	箱根町元箱根	808	1000	76.2
HR6	平塚市大原	9	1500	45.0	MO45	箱根町元箱根	745	800	127.0
HR9	平塚市榎木町	5	1500	44.0	MO46	箱根町元箱根	743	1200	75.2
HR4	大磯町国府本郷	15	1600	46.7	MO47	箱根町元箱根	760	1000	71.0
SG3	相模原市鶴野森	100	1400	46.0	MO48	箱根町元箱根	745	1000	40.0
SG4	相模原市下九沢	130	1700	47.7	SE13	箱根町仙石原	712	900	110.0
SG5	相模原市大野台	109	1300	50.5	YG152	湯河原町宮上	120	1100	92.5
SG2	相模原市麻溝台	104	1500	56.2	YG183	湯河原町宮上	278	800	80.0
AT18	座間市広野台	79	1300	51.0	YG185	湯河原町鍛冶屋	17	1000	71.3
AT14	海老名市国分南	47	1500	52.6	YG187	湯河原町吉浜	273	1000	62.0
AT17	海老名市柏ヶ谷	55	1301	44.8	YG188	湯河原町鍛冶屋	77	1100	83.0
AT15	厚木市林	30	1500	45.6	YG189	湯河原町鍛冶屋	169	1200	83.5
HD20	伊勢原市上粕屋	114	810	38.0	YG191	湯河原町宮下	189	1200	82.0
HD22	伊勢原市大山	300	1000	33.3	YG192	湯河原町吉浜	38	1000	60.0
HD23	伊勢原市大山	244	1800	52.5	YG193	湯河原町門川	35	1000	68.9

図 3 及び図 4 に源泉毎の地温勾配を示した。図 3 には、孔底の地質についてもあわせて表示した。

地域で比較してみると、例外はあるものの箱根火山による熱の影響を受けている箱根町の源泉が 2.45 ~

14.1°C/100 m (平均値 8.01°C/100 m) と最も地温勾配が大きく、次いで同じく湯河原火山の熱の影響を受けている湯河原町の源泉が 4.45 ~ 8.06°C/100 m (平均値 5.89°C/100 m) と大きい値になっている。箱根町、湯

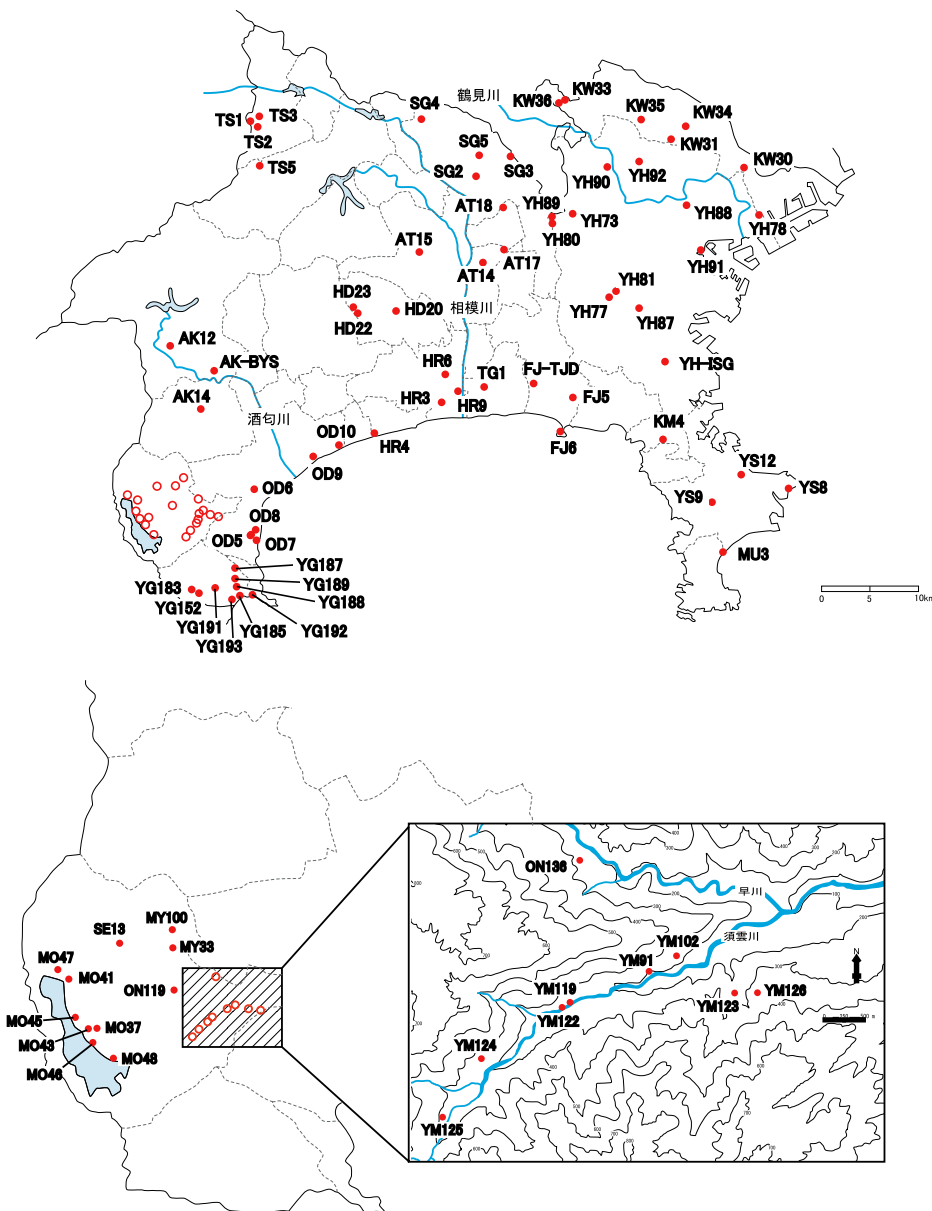


図1 対象源泉の位置（箱根町の源泉は図2に示した。）

図2 対象源泉の位置（箱根町）

河原町の源泉については全体的に地温勾配は大きいものの、局地的な火山活動からの熱の影響を受けるために単純な温度分布にはならず、同地域内でも場所によって地温勾配は大きく異なるものと考えられる。湯河原町の源泉については、町の西側に位置する湯河原町宮上に所在する2源泉の地温勾配が、それ以外の湯河原町の源泉と比較して高い傾向が認められた。

箱根町、湯河原町以外の源泉についてみると、酒匂川を境にして地温勾配が異なっており、酒匂川以西の源泉については地温勾配が $3.33 \sim 4.78^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ （平均値 $3.84^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ）と酒匂川以東の平野部の源泉（ $0.00 \sim 3.45^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 、平均値 $2.28^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ）と比較して大きな値となっている。これは、箱根火山、湯河原火山に比較的近くその影響下にある地域であるために地温が高くなっているものと思われる。酒匂川以東の地域で比較すると、小田原から江ノ島にかけての相模湾の海岸沿いに

比較的地温勾配の小さい源泉が集まっている。また、相模川を境に東西で比較すると、酒匂川と相模川間の源泉の $0.00 \sim 2.79^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ （平均値 $1.95^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ）に対して、相模川以東の源泉は $1.86 \sim 3.45^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ （平均値 $2.47^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ）と地温勾配が高い傾向が認められた。小沢・江藤（2005）は、西部の丹沢山地、同山地に隣接した平野部及び南部の湘南海岸では、丹沢層群、愛川層群、相模湖層群、高麗山層群、葉山層群などの基盤岩類の亀裂から大深度温泉の温泉が採取されていると述べている。また、三浦半島では基盤岩の葉山層群及びその上位の三浦層群から、横浜、川崎地域では三浦層群最上部層及び上総層群最下部層からそれぞれ大深度温泉の温泉が採取されていると述べている。このことから、基盤岩類と比較して三浦層群や上総層群など新しい地層のほうが地温勾配が高い傾向にあるといえるかもしれない。ただし、三浦半島の源泉など例外もあるので、今後詳細に検討す

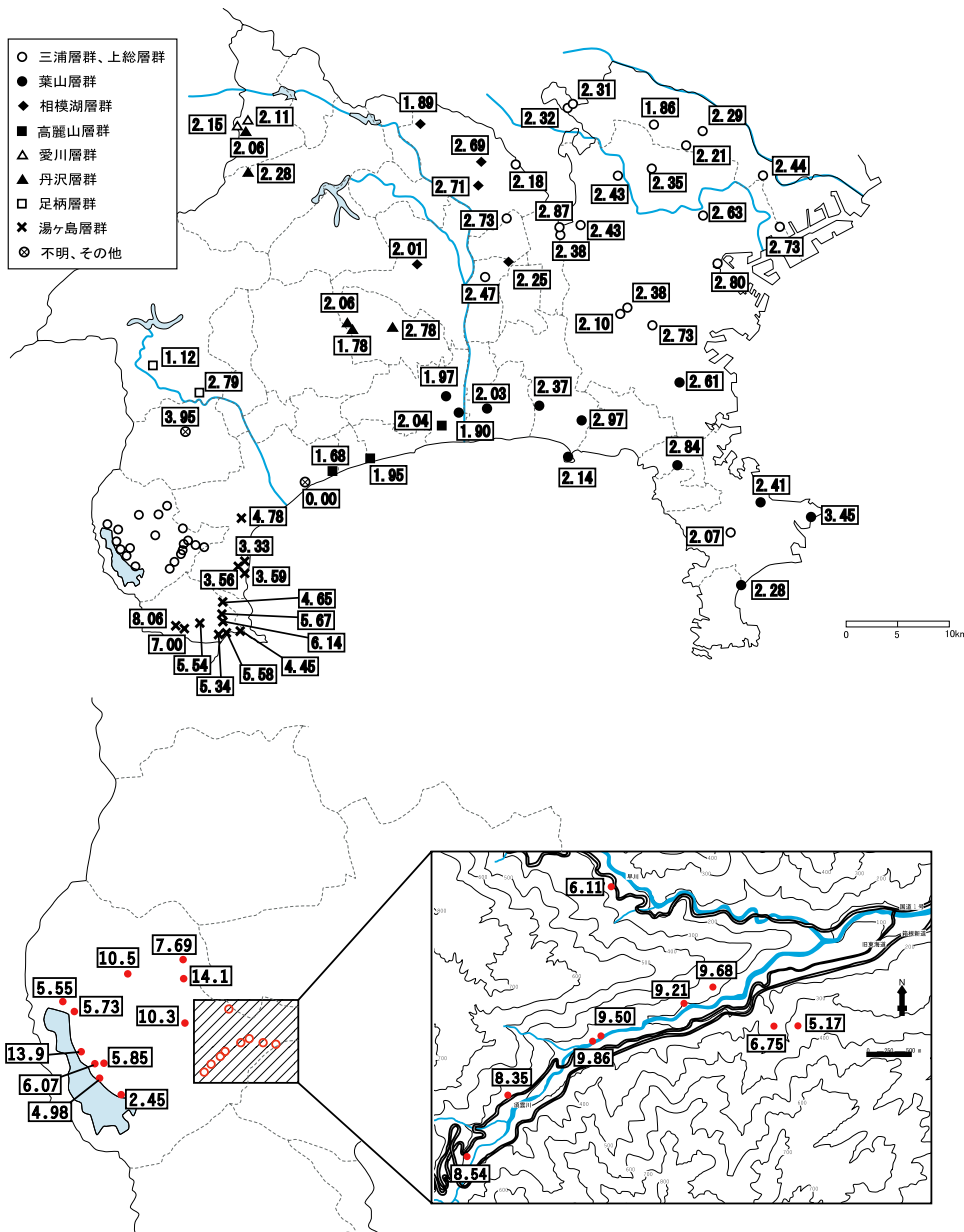


図3 計算により求めた源泉の地温勾配（単位は℃/100m、箱根町の源泉は図4に示した。）

図4 計算により求めた源泉の地温勾配（単位は℃/100m）

る必要がある。

これまで神奈川県内で得られている箱根町、湯河原町以外の源泉の温度検層結果をみると、大部分の源泉において、ほぼ一定の勾配で地温が上昇している。そこで、箱根町及び湯河原町以外に所在する源泉について、直線的に地温が上昇していると仮定して、地温勾配を用いて外挿または内挿計算した海拔 -800 m、-1000m 及び -1500m の地温を図5、図6及び図7に示した。各図は、Surfer8により Kriging 法を用いて出力したグリッドデータから作成した。計算した55源泉のうち、海拔 -800 m では地温が45.0℃以上の源泉は5カ所、50.0℃以上は4カ所、また、海拔 -1000m では地温が45.0℃以上の源泉は14カ所、50.0℃以上は6カ所となった。これに対して海拔 -1500m では45.0℃以上が51源泉、50℃以上が39源泉と大幅に増加した。温泉井から地上に温泉をくみ上げた際に泉温が低下するのは必然である。しかし、

温泉の利用時に加熱せずに使用するためには温泉井内での附存状態でできるだけ高温であることが望ましい。神奈川県内において、いわゆる非火山性温泉を掘削する際には、揚湯時の温度低下も考慮して図5、図6及び図7のデータを利用することにより、より現実的な掘削の計画が立案されるものと考えられる。

3. 孔底温度と深度の関係

図8に、源泉の孔底温度と深度の関係のプロットした。ここでは、源泉を「箱根町」、「湯河原町」、「小田原市、南足柄市」及び「その他地域」に分類してプロットした。また「箱根町」については、須雲川左岸の源泉を「箱根町（須雲川左岸）」、その他の源泉を「箱根町」と2つに分けてプロットした。

神奈川県温泉地学研究所（2000）においては、孔底温度と深度の関係が火山性温泉及び非火山性温泉で大まか

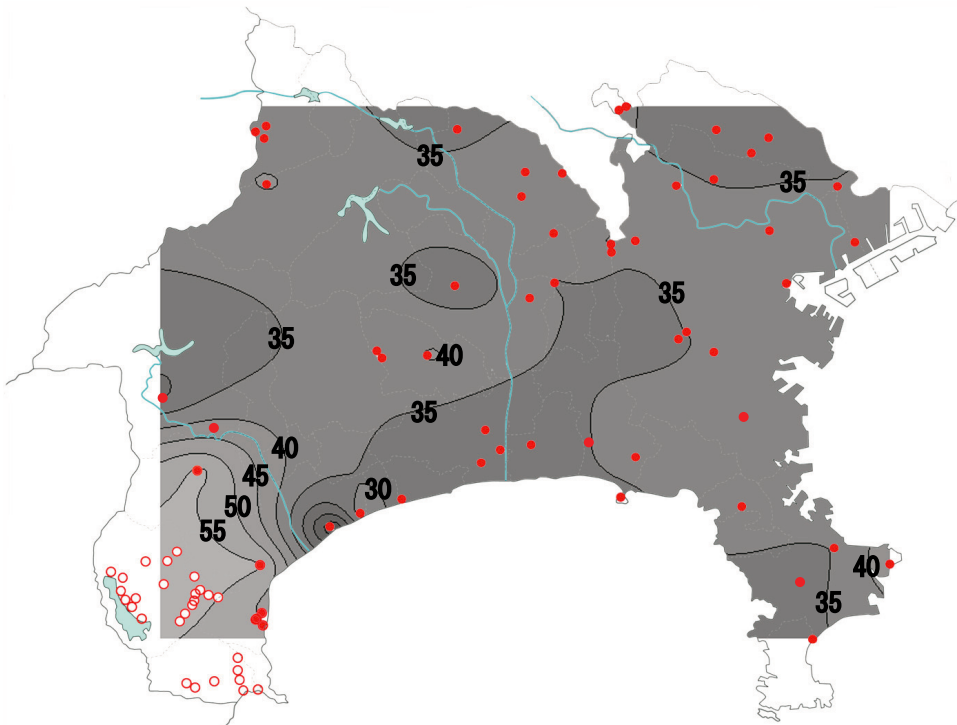


図5 海拔-800 mにおける地温分布

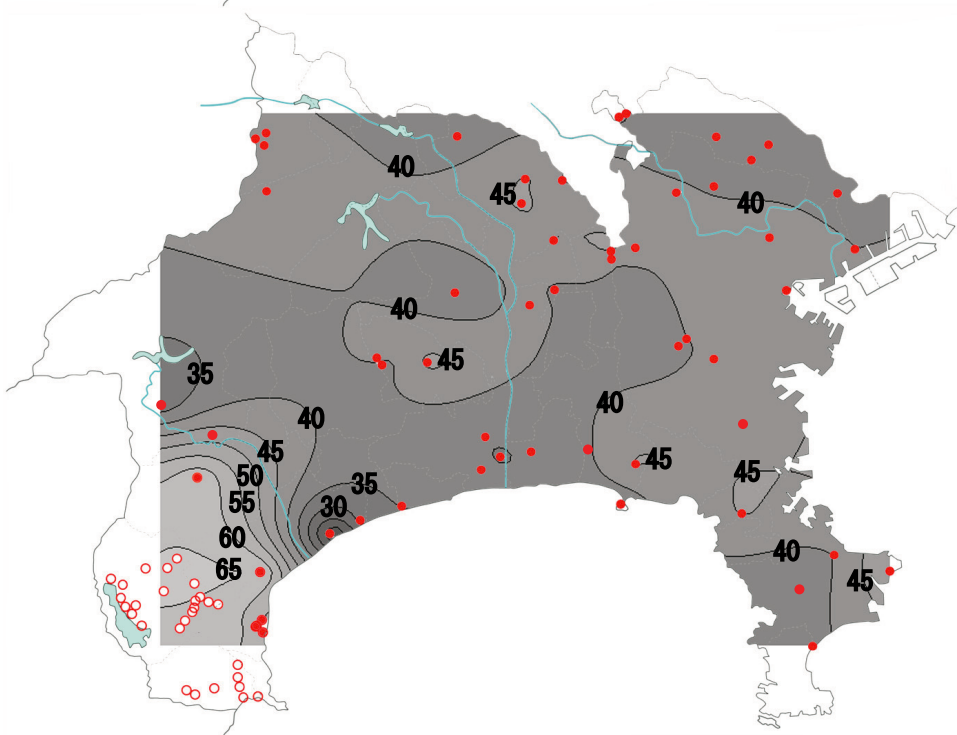


図6 海拔-1000 mにおける地温分布

に区分されると述べられている。図8にプロットされた点は神奈川県温泉地学研究所(2000)と一部重複するデータも含まれているが、深度が同じ場合は、孔底温度は箱根町の源泉が最も高く、次いで湯河原町の源泉が高い。その他地域の源泉は箱根町、湯河原町と比較して同深度でも孔底温度は低いことは、この図からも明らかである。「その他の地域」について、地表の気温を15.5℃と仮定して最小二乗法により回帰計算したところ地温勾配は2.5℃/100mとなった。この値が県西部の地温勾配の高い地域を除いた県内の一般的な地温勾配(いわゆる非火

山性温泉の地温勾配)とみなして差し支えないと思われる。

「小田原市、南足柄市」に着目すると、酒匂川を境として西側の源泉は「その他地域」の近似曲線の高温側にプロットされ、東側の源泉は「その他地域」の低温側にプロットされる。特にOD9は他の源泉と比較して、深度に対する孔底温度が著しく低くなっている。OD9については、板寺ほか(2004)において、基盤深度が1000mを越え、その上に透水性の良好な礫層を主体とする地層が厚く堆積しており、海洋側から流入してくる膨

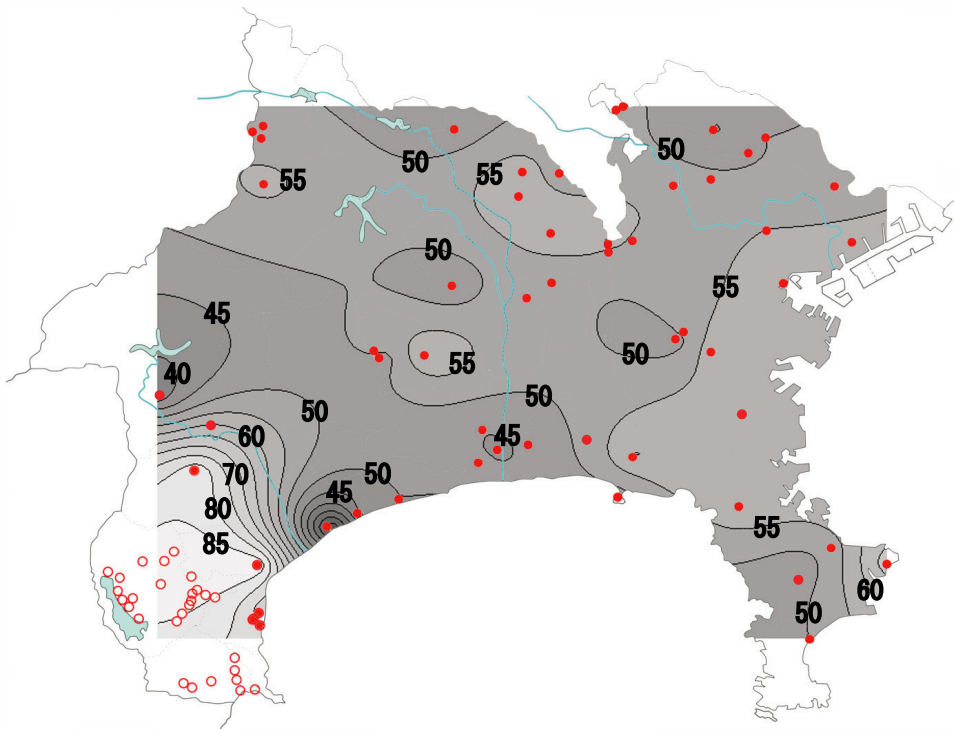


図7 海拔-1500 mにおける地温分布

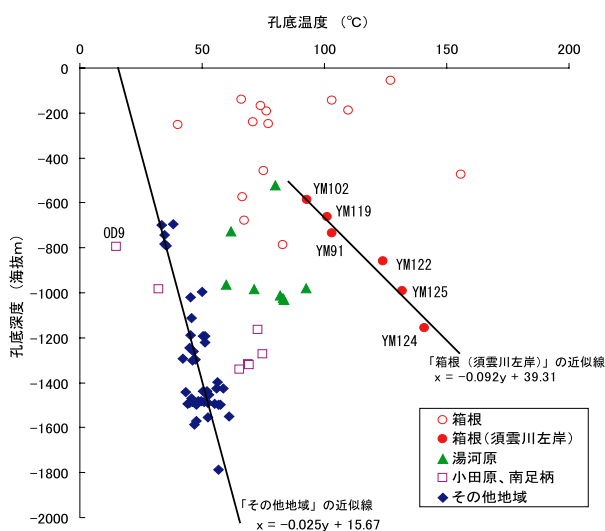


図8 掘削深度800 m以上の源泉の孔底における標高と温度の関係

大な塩水の流動により深部からの熱伝導が妨げられている可能性がある」と指摘されている。

箱根町の湯坂山の南側、須雲川左岸に沿って掘削された6本の源泉(YM91、YM102、YM119、YM122、YM124、YM125)に着目すると、これら源泉の孔底温度と深度は良い相関を示しており、最小二乗法により回帰計算を行うとこの地域の地温勾配は9.2°C/100m程度と見込まれる。

4. まとめ

県内の800 m以内の源泉について地温勾配を見ると、地域によって特徴的である。

酒匂川以西の源泉は、酒匂川以東と比較して地温勾配が高い。これは、箱根火山及び湯河原火山の熱の影響による可能性が考えられる。

酒匂川以東の源泉は、さらに相模川を境にして西側で地温勾配が低く、東側で高くなっている。この要因として温泉帯水層が地質的に異なることが考えられるが、孔底が先新第三系でも高い地温勾配の源泉もあり、今後の検討課題である。

酒匂川以東の平均的な地温勾配は、2.5°C/100m程度である。

箱根町の湯坂山の南側斜面、須雲川に沿った地域の地温勾配は9.2°C/100m程度である。

参考文献

- 地学団体研究会編(1996)新版地学事典, 平凡社, p.800.
- 板寺一洋・菊川城司・代田寧(2004)足柄平野沿岸部の深部塩水の酸素・水素同位体比と水質組成, 神奈川温地研報告, 36, 43-46.
- 神奈川県温泉地学研究所(2000)事業概要 平成11年度, 49-52.
- 小沢清・江藤哲人(2005)神奈川県中・東部地域の大深度温泉井の地質および地下地質構造, 神奈川温地研報告, 37, 15-38.
- 湯原浩三・瀬野錦蔵(1969)温泉学, 地人書館, p.93-94.