

東京電力 正会員 安田 登
鳥取大学 正会員 白木 渡
㈱ソニー 伊藤 則夫
東京電力 正会員 篠原 俊彦
東電設計 野々口 稔

1. まえがき

従来、地熱資源有望地域の選定は、地下の温度や割れ目の分布、流体流動等に関連する比抵抗調査、重力探査等の地表調査結果を多岐の分野に亘る専門家が、それぞれの経験から得た知識に基づいて行っている。しかし、調査が多項目に及ぶばかりでなく、調査結果の数も膨大であること、また、地熱発電の歴史が浅い上に、評価者により経験も異なることから、統一された選定手法は確立されていない。本研究では、瞬時に多量のデータを判断でき、あいまい性を持つデータにも適用可能で、自ら学習する能力を持つというニューラルネットワークの特徴を利用して、地表調査結果から地下の温度等を推定するシステムを構築するとともに、そのシステムを用いた感度解析により地表調査結果と地下の温度との相関を求めた。この結果、ニューラルネットワークは地熱資源有望地域選定に適用可能であるとの見通しが得られた。また、感度解析より得られた相関の幾つかは既往の地熱に関する経験則と異なる結果となった。

2. 地熱資源有望地域選定システムの概要

システム構築に使用したデータは、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)が実施した地熱開発促進調査のデータとした。データの総数は149個であり、このうち、126個を学習用データ、残りの23個を検証用データとした。地熱開発促進調査においては、地表調査とともに坑井調査が実施されており、地下の温度が判明している。

入力項目は表-1に示す25項目であり、このうち、番号に網掛けをした9項目は非数値データ、残りの16項目は数値データである。出力項目は最高温度および林ダイヤグラムとし、そのセル数は表-2に示すように6個および4個とした。林ダイヤグラムとは、深度と温度との関係から求め、A Aに近いほど地熱資源の有望度は高い。

表-1 入力項目とした調査項目

1 地質	6 変質帯からの距離	11 土壌ガス中のCO ₂ 濃度	16 温泉水の泉質	21 中部比抵抗
2 岩層	7 変質帯規模	12 1 m深地温	17 温泉水のCl濃度	22 深部比抵抗
3 断層からの距離	8 変質分帯	13 近隣温泉からの距離	18 温泉水による地下温度	23 比抵抗不連続線からの距離
4 火山からの距離	9 変質の強度	14 温泉水の温度	19 温泉水のアニオンデグrees	24 重力異常
5 火山の年代	10 土壌ガス中のHg濃度	15 温泉水のpH	20 浅部比抵抗	25 重力傾度

3. システムの作成

表-2 出力項目および出力セル数

本研究にて作成した3つのシステムの概要および学習状況を表-3に示す。各システムとも学習は、教師

出力項目	出力層のセル					
最高温度(℃)	300以上	250~300	200~250	150~200	100~150	100未満
林ダイヤグラム	A A、A		B	C、D		E、F

信号とシステムの出力信号との絶対誤差が0.1以下（認識率90%以上）になるよう行った。ただし、学習回数は3万回を上限とした。また、中間層の層数およびセル数は、いずれのシステムも2層×25個とした。

誤学習数は表-3に示すように、システム2→1→3の順で高かった。システム3が最も低かったのは、出力層のセル数が他のシステムよりも少ないためと考えられる。システム2がシステム1よりも高かったのは、一部の生データの値が0~数千の幅に及ぶことなどが考えられる。

学習を終了したシステムを検証した結果を表-4に示す。なお、正解率の検証において、出力項目を最高

温度としたシステム1、2は出力層のセル数6個のうち、200℃以上、150～200℃、150℃未満の3区分に含まれる回答も正解(△)とした。いずれの段階の検証においても、正解率はシステム2の方が高かった。これは、入力データを生データとすることにより、学習状況は多少悪くなるものの、微妙なパターンの違いを見分けることが可能になるためと考えられる。また、出力項目を林ダイアグラ 表-3 システムの概要および学習状況

システム番号	概要	学習状況
1	ラング値 最高温度	1
2	生データ 最高温度	4
3	生データ 林ダイアグラム	0

地熱資源の有望度別に正解率を比較すると、いずれのシステムも本来的
中が望まれる有望度の高い坑井では正解率は低い。これは、学習データの
中に地熱資源の有望度が高い坑井が少なく、この領域の学習が十分出来て
いないためと考えられる。

4. 感度解析

表-4 システムの検証結果

感度解析は、検証データの正解率が最も高かったシステム
2の出力層を3段階としたものを用いて行った。なお、感度
解析の対象とする入力項目以外の入力データは、最高温度が
200℃以上の全データの平均値とした。感度解析結果のうち、
図-1は変質帯規模が最高温度に及ぼす影響を示したもので
ある。変質帯規模が大きくなるに従い、最高温度150～200℃
が卓越しており、既往の知見と一致している。また、図-2
は温泉水のアニオンインデックスが最高温度に及ぼす影響を
示したものである。アニオンインデックスが小さくなるに従
い、最高温度150～200℃が卓越しており、既往の知見とは逆
の現象である。25項目の入力項目に対する感度解析の結果
温泉水のアニオンインデックス以外にも既往の知見と逆の相
関と考えられる調査項目が10項目程度現れた。

番号	正 解 システム 1			システム 2			正 解 システム 3		
	最高1)	1)	2)	1)	2)	林タイ7 گرام 3)	3)		
	選 度	出 力	正 誤	選 度	正 誤		出 力	正 誤	
1	II	V	×	V	×	I	III	×	
2	II	IV	×	VI	×	I	III	×	
3	II	V	×	VI	×	I	I	○	
4	III	IV	×	V	×	II	I	×	
5	IV	IV	○	II	×	III	I	×	
6	IV	IV	○	IV	○	III	III	○	
7	IV	IV	○	IV	○	III	III	○	
8	V	IV	×	VI	△	III	III	○	
9	V	IV	×	VI	△	III	III	○	
10	V	IV	×	IV	×	III	IV	×	
11	V	IV	×	VI	△	III	III	○	
12	VI	VI	○	VI	○	III	IV	×	
13	VI	VI	○	VI	○	III	III	○	
14	VI	IV	×	VI	○	IV	IV	○	
15	VI	III	×	III	×	IV	III	×	
16	VI	VI	○	VI	○	IV	IV	○	
17	VI	VI	○	VI	○	IV	IV	○	
18	VI	V	△	VI	○	IV	IV	○	
19	VI	V	△	VI	○	IV	III	×	
20	VI	V	△	VI	○	IV	III	×	
21	VI	IV	×	VI	○	IV	III	×	
22	VI	V	△	VI	○	IV	III	×	
23	VI	V	△	VI	○	IV	IV	○	
正解率	○のみ 正 解	30.4	-	56.5	-	-	-	52.2	
(%)	△ も 正 解	52.2	-	69.6	-	-	-	-	

5. あとがき

ニューラルネットワークの地熱資源有望地域選定システム
への適用性を確認するため、地熱開発促進調査のデータを用
いて、各種地表調査結果から地下の温度等を推定するシステ
ムをニューラルネットワークにより作成した。この結果、入
出力項目を適切に定めることにより、ニューラルネットワー
クは地熱資源有望地域選定システムに十分適用可能であるこ
とが分かった。ただし、感度解析の結果と従来の経験則とは
必ずしも一致しないことから、地表調査と地熱資源との関係
については経験則も含め再評価する必要があると考えられる。

また、今回構築したシステムは坑井データという点データを推定させるものであったが、今後は面データ

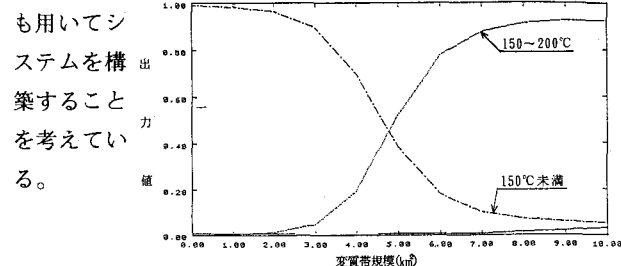


図-1 変質帯規模が最高温度に及ぼす影響

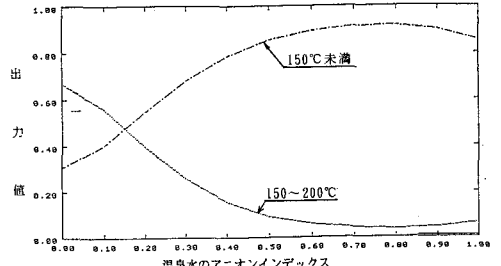


図-2 温泉水のアニオンインデックスが最高温度に及ぼす影響