

はじめに

地熱・地熱発電とはどんなものか。

太陽光発電や風力発電はイメージしやすく、問題なくすぐ理解できる。しかし、地熱発電は字句どおりならば、地熱を使って電気を起こす。でも何かわかりにくい。多くの人の実感であるようだ。

地熱とは何か。地下に貯まっている熱である。どのように貯まっているのか。そして、それを取り出してどのように発電するのか。本書では、そのところをフィールドデータに基づいて、できるだけわかりやすく説明したい。地熱の最大の利用分野が地熱発電である。

地熱発電はほかの再生可能エネルギーによる発電に比べ、季節や日々の天候の影響がなく、極めて安定しており、使い勝手が良い。それだけでなく、火山国日本は発電のための地熱資源量が世界第3位と恵まれており、まさに日本向きである。さらに、地熱発電所の心臓部である「地熱蒸気タービン」の供給は、日本の三大電機メーカー（東芝・富士・三菱日立）が世界の70%を占めており、技術的に見て圧倒的に優勢である。

しかし、残念ながら、地熱資源が多いにもかかわらず、発電技術も極めて優れているにもかかわらず、現在わが国で利用されているのは地熱資源の約3%（地熱発電設備容量に換算して約50万kW）で世界10位に甘んじている。その状況が近年（いわゆる2011年3.11以降）急激に変わりつつある。その状況も本書では紹介し、多くの方に地熱発電に関心をもっていただき、さらに地熱・地熱発電のファン・応援団になっていただければありがたい。とくに若い人には地熱発

電の分野（理工系だけではなく、地域合意形成・経済性の評価等の人文系の人にも活躍の場がある）に参加していただき、日本のエネルギー問題、広くは地球温暖化問題に是非とも貢献してほしいと思っている。

2019年5月 著者記す

1 地熱ってなあに

1.1 地熱発電とは？

地熱発電とはなにか。地熱を使って電気を起こす方法である。それでは地熱とはなにか。地熱とは地球内部に貯まっている熱である。地球内部は太陽のように熱いのか？ 実はそれほど熱くはないが、球状中心部（深さ約6 370 km）で約6 000 °C（鉄も簡単に溶ける）であり、太陽だけでなく、地球も火の玉である。ただし、数千kmもの深い熱は現在取り出す技術はなく、当面地下10 km深以内程度が想定されている。それでも無尽蔵ともいえるべく大な熱量がある。現在、実際には深さ1~3 kmから熱が取り出されている。地下から取り出された蒸気や熱水のもつ熱エネルギーは、地熱発電所で機械エネルギー（タービンの回転力）に変換され、最終的には電気エネルギーに変換される。つくられた電気は送・配電線で運ばれ、利用場所（家庭や工場など）まで運ばれ、電気器具や電灯などで消費されるのである。さて、地下の熱はどのようにつくられ、どのように貯まっているのだろうか。そして、どのように地上に取り出され、それを使ってどのように発電するのであろうか。本書ではまず、「地下での熱にかかわるプロセス」と、「地上で熱から電気に変換されるプロセス」に分けて説明しよう。

1.2 地球の中はどうなっている？

(i) 地球の中の構造

地球の中はどうなっているのか。これまで多くの地球科学者の取り組みにより、かなりの程度わかってきている。もちろん未解明な部分も多いが。みなさんは、中学校、高等学校、大学教養課程などで、「理科」、「地学」、「地球科学」あるいは「地質学」などの科目で、地球内部について学んだことがあると思う。また、日本列島では地震や火山噴火がしばしば起こり、多くの災害が発生していることから、地球内部はどうなっており、どんなことが起こっているのか、思いをめぐらせたことは多いのではないかと。しかし、地球内部の「熱」や「温度」がどうなっているのかはあまり考えたことはないかもしれない。実は地下の温度は、地震発生とも関係しており、火山噴火とは直接的な関係がある。さらには、45億年を超える地球の長い歴史とも大いに関係がある。それではまず、地球内部の構造から始めよう。

これまでの研究から、地球はほぼ球体で、その内部は大きく分けて三つの層に分かれている(図1・1)。地表から30 km深くらいまでは地殻と呼ばれ、硬い岩石(主に花崗岩や玄武岩)からなっている。その下はマントルと呼ばれる岩石(かんらん岩)の層が深さ2 900 km程度まで続いている。さらにその下は、核(コア)と呼ばれ、地球の中心(深さ約6 370 km)まで続いている。この核は上下二層に分かれており、外側の浅い部分は外核と呼ばれ、深さ約5 100 kmまで続いており、この部分は液体になっている(大部分は鉄で、それに硫黄、ニッケル、ケイ素などが少量含まれている)。5 100 km以深の内核は再び固体であり、成分は外核と同様と考えられている。

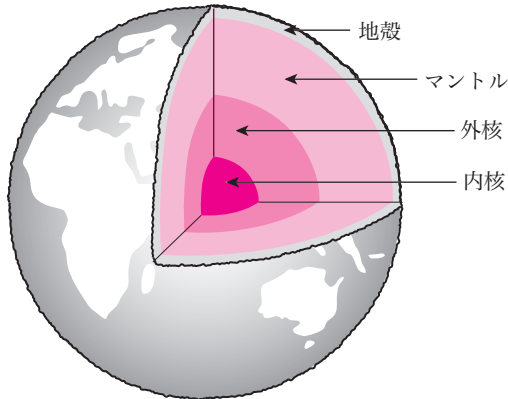


図1・1 地球の三層構造 地殻・マントル・核（外核・内核）

このように地球は大きくみて三層構造をしている。そこで、よくゆで卵に例えられる。ゆで卵の殻の部分が地殻、白身の部分がマントル、黄身の部分が核というように。

このような地球の構造はどうやってわかったのか。実は地球の内部を伝わる地震波を使う。地震波は地下を伝わる時、地震波の速度が速い層（硬い層といってもよい）と遅い層（軟らかい層といってもよい）との境界では直進せず、曲げられる。曲げられる程度は境界の地層の地震波の速度比による。地震波を地球上のいろいろな場所で観測すると、地球の内部は一様ではなく、基本的にはより深部ほど地震波速度は速く（物質は硬く）、また、地震波速度の異なる多くの層に分かれているのがわかる。地震波から地球内部の層構造（大きくは、地殻、マントル、核の三層で、必要に応じてさらに細かく分けられる）を決める方法をもっと知りたい場合は、地震学の教科書を開いていただくことにしよう。地熱発電を理解する目的では、「地震波を使っ

1 地熱ってなあに

て地球内部の層構造が決まる」と知っておけばよい。

(ii) 地球の中の動きとマグマ溜り

さて、地球内部の構造は大きくは地殻、マントル、核の三層（いずれも構成する物質が異なっている）に分かれているが、実は地殻（その厚さは、大陸下では30 km程度、海底下では5 km程度）とマントル上部の一部（70~150 km程度）は硬さからみると一体の構造と考えられ、この一体化した部分をプレート（岩板）あるいはリソスフェアと呼び、現代の地球科学では重要な構造と考えられている⁽¹⁾（図1・2）。その下の軟らかい部分はアセノスフェアと呼ばれる。実は、このプレートは、大洋（太平洋や大西洋など）中央部にあるマントル深くから、熱くて融けた岩石のものが上昇してきて、海底に噴出し、冷えながら固まった部分はプレートとなり左右に分かれていく。冷えるにしたがって固化が進行し海洋プレートは次第に厚くなり、最終的に70 km程度になる。地球表面にはプレートが敷き詰められ（大きいものは10枚程度で小さいものを含めると50枚以上ともいわれる）、この冷えて固まり重くなったプレートはまたマントルに沈み込む。この沈

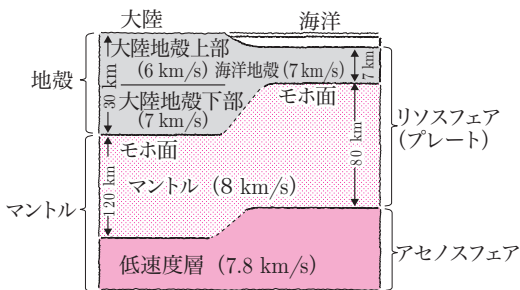


図1・2 プレートの構造、図中の数値はP波速度（酒井，2003）