

地下水流動と地下温度構造の関係

Groundwater flow and subsurface thermal regime

内田 洋平 [1]

Youhei Uchida [1]

[1] 地調・水文地質

[1] Hydrogeology, G.S.J.

地下の温度場は、主に熱伝導と地下水流動に伴う熱移流の二つの効果によって形成されている。本研究では揚水が盛んに行われている濃尾平野に着目し、観測結果と3次元有限差分モデルとで地下温度場の形成機構を非定常三次元的に明らかにした。

現在の地下温度場を形成したものは主として平野内の広域流動系である。一方、35年間に及ぶ揚水の影響は小さく、その影響はまだ明確には現れていないと考えられる。また、近年の地表面温暖化によって、主として平野の涵養域に地温逆転現象が現れることが明らかになった。一方、流出域では地下水流動に伴う熱輸送によって地下の温度が地表面の温度よりも高くなっており、温度逆転現象は現れない。

一般に、地下の温度場は熱の伝導だけではなく、地下水の流れによる熱移流の影響も受けている。地下水温を測定する場合、観測井内の地下水温と周辺の地温は平衡になっている。地下温度プロファイルは一本の連続データであるため、地域的な温度プロファイルデータから三次元の地下温度構造を知ることが出来る。また、地下の温度場には地下水流動の影響ばかりではなく、近年の大きな気候変化である1880年から1940年の地表の温暖化現象によって、北アメリカ、ヨーロッパやオーストラリアの多くの場所で地下50mから100mの間で地温の逆転現象を生じさせている。濃尾平野では、1950年代から地下水揚水に伴う地盤沈下が大きな社会問題となっていた。濃尾平野には50ヶ所以上に地盤沈下対策の深度50mから400mの観測井が設置されている。本研究では、地下の温度場の形成に影響を及ぼす主な要因として、地下水の広域流動系・揚水・地表面温暖化の3つに着目し、それぞれの地下温度分布に与える影響を観測結果と地下水流動・熱輸送に関する3次元有限差分モデルを用いて定量的に評価することが目的である。

水理水頭分布より、平野内の地下水は平野北部で涵養され、中心部へ向かって流れていき伊勢湾へ流出することがわかる。水理水頭の観測結果は、揚水の影響を含まないシミュレーション結果と比較すると非常に複雑な形態を呈しているが、地下水の広域流動系は流域の地形・地質に支配されているため、観測結果・シミュレーション結果ともに似ている。濃尾平野の地下温度場は、平野北部・東部の涵養域で温度が低く、南下するに従い温度が高くなる。そして、揚水井の集中している平野中心部で温度が最も高くなっている。しかし、観測結果のみでは、平野中心部で温度が高くなる要因を広域流動系による熱輸送の影響か、揚水の影響か区別することは出来ない。そこで、3次元有限差分法による地下水流動・熱輸送シミュレーションを行った。

シミュレーション結果より、平野内の地下水流動には揚水の影響が大きく現れているのに対して、地下温度場に対しては影響が小さいことが明らかになった。揚水の効果を組入れない定常計算結果でも、平野中心部で地下の温度が高くなった。このことから、地下の温度は、揚水の影響をほとんど受けていない、ということが推定される。

地下水流動と比較して、地下温度場に揚水が明確な影響を与えるには、長い期間を要する。現在の地下温度場を形成したものは主として平野内の広域流動系であり、35年間に及ぶ揚水の効果は小さく、その影響はまだ明確には現れていないと考えられる。揚水が地下温度場に与える影響を詳細に見ると、揚水による誘発的地下水涵養により、地表面の温度が下方へ輸送され、揚水の盛んな平野中心部から南部にかけて、揚水井が多数分布する深度より浅層では温度がわずかに下がる。しかしながら、現在までのところ温度の変化は非常に小さいため、現地観測において揚水の影響は検出できないと思われる。地盤沈下の増大に伴い、揚水規制が始まり揚水量が減少すると、それに伴う誘発的地下水涵養量も変化するため地下温度の低下の割合も小さくなることが確認された。地下温度場の将来予測より、揚水を始めてから100年経過すると、平野北部で0.6℃、平野中心部で1.8℃温度が低下し、揚水の地下温度場への影響が明確に現れてくることが予測される。

濃尾平野では、1890年から1990年の100年間で年平均気温が約2℃上昇している。この地表面の温暖化は、主として平野の涵養域浅層に大きな影響を及ぼしている。涵養域では、地下水の下向きの流れにより地下の温度が低いいため、地表面の温度上昇によって地下温度逆転が生じる。一方、流出域では、地下水流動に伴う熱輸送によって地表面温度が上昇する以前から地下温度が高くなっている。そのため、地表面温度の変化は、地下へ影響を与えず、温度逆転現象は現れない。