

# Groundwater flow systems in eastern half of Fukushima prefecture and its surrounding

~ calculation of mean residence time based on CFCs and SF<sub>6</sub> ~

\*村崎 友亮<sup>2</sup>、益田 晴恵<sup>2</sup>、山野 翔馬<sup>1</sup>、井上 凌<sup>2</sup>、坂本 裕介<sup>2</sup>、新谷 毅<sup>2</sup>、平井 望生<sup>2</sup>、近岡 史絵<sup>2</sup>、後藤 葵<sup>2</sup>、中屋 眞司<sup>3</sup>、丸井 敦尚<sup>4</sup>、小野 昌彦<sup>4</sup>

\*Yusuke Murasaki<sup>2</sup>, Harue Masuda<sup>2</sup>, Souma Yamano<sup>1</sup>, Ryo Inoue<sup>2</sup>, Yusuke Sakamoto<sup>2</sup>, Tsuyoshi Shintani<sup>2</sup>, Nozomu Hirai<sup>2</sup>, Fumie Chikaoka<sup>2</sup>, Goto Aoi<sup>2</sup>, Shinji Nakaya<sup>3</sup>, Atsunao Marui<sup>4</sup>, Masahiko Ono<sup>4</sup>

1. 大阪市大学理学部地球学科、2. 大阪市立大学理学院理学研究科生物地球系専攻、3. 信州大学工学部水環境・土木工学科、4. 独立行政法人 産業技術総合研究所

1. Osaka city University Faculty of Science Department geosciences, 2. Department of Geosciences, Faculty of Science, Osaka City University, 3. Department of Water Environment and Civil Engineering, Faculty of Engineering, Shinshu University, 4. Geological Survey of Japan, AIST

## Introduction

The tsunami occurring at the time of Tohoku Pacific Ocean earthquake on March 11, 2011, caused Fukushima Nuclear Power Plant accident happen to emit radioactive nuclei in the atmosphere. In Fukushima, groundwater has been used as not only agriculture but daily purposes. Since the radioactive nuclei move slowly in the groundwater system, it is necessary to continue observing groundwater for a long term to understand movement process and residence time. For that reason, it is important to understand groundwater flow system. The purpose of this study is to document the groundwater flow systems of the eastern half of Fukushima prefecture and its surrounding i.e. south of Miyagi and north of Tochigi prefectures. Here, the residence time of groundwaters collected in November, 2016 in July and October, 2015 and discussed based on the result of CFCs and SF<sub>6</sub> analyses.

## Results

The study area was divided into three areas; area A (Hamadori and eastern slope of Abukuma mountains), area B (between the ridges of Abukuma and Echigo mountains included Nakadori), and area C (the southernmost part of Sendai plain).

The groundwaters from area A contained CFC-12 60-5000ppt, CFC-11 10-8000ppt and CFC-113 5-300ppt. The concentrations were lower in the groundwaters from the plains along the seashore than those from mountain area Those from area B contained CFC-12 100-10000ppt, CFC-11 10-10000ppt and CFC-113 8-500ppt. The concentrations were lower in those from the northern plain than the others. Although the concentrations of SF<sub>6</sub> were obtained only for the samples collected only from the central to southern part of the plain of this area, most of these waters contained excess SF<sub>6</sub> over the atmospheric one. The groundwaters from area C contained CFC-12 190-1000ppt, CFC-11 50-2000ppt and CFC-113 10-60ppt. Although the ranges of those value were overlapped with those of area A, only a few samples had the high concentrations.

Combination of the obtained concentrations suggest the four different models of groundwater flow i.e. Piston flow(PFM), Exponential mixing(EMM), the intermediate of PFM and EMM(PFM/EMM), Binary mixing(BMM). Some data could not be explained by these models. Most groundwaters can be explained EMM, BMM or PFM/EMM. Therefore, most of the studied groundwaters, especially from the plains, have more than two origins. However, the groundwaters from the mountain area had a single origin. Calculated mean residence times were 6-82 years and about 70% these were 15-40 years old. Groundwaters having short residence time within 15 years were concentrated from the slope to the foot of mountains over

areas A and C. Many groundwater were 15-30 years old in the area B, while those older than 31 years were concentrated on foot of the mountains and in the plains. The residence time of areas A and C was generally longer than area B.

#### Discussion

Samples dissolving excess SF<sub>6</sub> were concentrated on the plain of area B probably because factories near the sampling sites discharged it in the 1990s, which was calculated recharge ages. According to Fukushima prefecture prevention of global warming promotion center, the amount of SF<sub>6</sub> discharge in Fukushima would reach the peak to cause the dissolution of the excess SF<sub>6</sub>.

In the plains between Abukuma Mountains and Echigo Mountains (Nakadori), precipitations recharged on these mountains and the plain part were mixed in the aquifer. It must be the reason why many groundwaters can be applied to mixing model. The mixing model can explain the groundwater flows especially at the foot of mountains because there is meeting of groundwaters originated from the different recharge areas.

The shorter residence time of groundwater from the areas A and C than those from B would be due to the elevations of recharge areas. Groundwaters in areas A and C were mainly recharged on the lower Abukuma mountains and those in area B did mainly on the higher Echigo mountains; i.e., paths to the sampling sites at the lower altitudes are comparatively short from the Abukuma mountains than Echigo mountains.

## 地下水揚水規制後の関東平野南西部の地下水流動の変遷

### Groundwater flow transition in the southwestern Tokyo Metropolitan Area after restriction of groundwater abstraction

\*林 武司<sup>1</sup>、宮越 昭暢<sup>2</sup>、川合 将文<sup>3</sup>、川島 眞一<sup>3</sup>、国分 邦紀<sup>3</sup>、濱元 栄起<sup>4</sup>、八戸 昭一<sup>4</sup>

\*Takeshi Hayashi<sup>1</sup>, Akinobu Miyakoshi<sup>2</sup>, Masabumi Kawai<sup>3</sup>, Shin-ichi Kawashima<sup>3</sup>, Kuniyuki Kokubun<sup>3</sup>, Hideki Hamamoto<sup>4</sup>, Shoichi Hachinohe<sup>4</sup>

1. 秋田大学教育文化学部、2. 国立研究開発法人産業技術総合研究所、3. 東京都土木技術支援・人材育成センター、4. 埼玉県環境科学国際センター

1. Faculty of Education and Human Studies, Akita University, 2. Geological Survey of Japan, AIST, 3. Civil Engineering Support and Training Center, Tokyo Metropolitan Government, 4. Center for Environmental Science in Saitama

関東平野の南西部に位置する武蔵野台地から荒川低地・大宮台地にかけての地域における被圧地下水の広域の流動は、かつて「浦和透水帯」、「浦和水脈」、「浦和流動地下水」などと呼ばれた（木野, 1970等）。これらの呼称は、地下水の流束が相対的に大きいこと示したものであり、当時すでに増大・拡大傾向にあった地下水揚水の影響を受けた流動であるが、一般社会に「良質な地下水が豊富に流れている」と誤認された経緯を有する。

この地域では、第二次世界大戦後から高度経済成長期にかけて、地下水の開発域が急速に拡大するとともに地下水揚水量が増大した。この結果、地盤沈下が低地だけでなく台地にまで広く発生したため、1960年代以降に法律（工業用水法、ビル用水法）や地方公共団体の条例が整備され、地下水の揚水量が規制されてきた。この結果、地域全体での地下水揚水量は減少してきたが、この地域は東京都と埼玉県にまたがっており、地区によって地下水の利用と規制の歴史が異なる。また現在も、地方公共団体によって、水道水源としての地下水利用の有無が異なる。

このような地下水の利用ならびに規制の経緯は、「浦和透水帯」や「浦和水脈」などと呼ばれた広域の地下水流動に影響してきたと考えられるが、その変遷や現状については不明な点が多い。その要因として、地下水流動が2都県にまたがり、多くの地方公共団体が関わっていることや、水理地質構造が十分に考慮されていなかったことなどが挙げられる。そこで本研究では、東京都ならびに埼玉県が蓄積してきた地下水位データや水理地質に関する情報、地方公共団体の地下水揚水量データ等を統合し、長期にわたる地下水流動の変遷と現状を把握することを目的とする。この成果は、水循環基本法で求められている河川流域・地下水盆地単位での地表水・地下水の統合管理、すなわち、水循環や地下水流動の保全や地表水・地下水の持続的な利用に資するものである。発表では、水理地質構造と地下水位データの三次元的な分布の経年変化から、地下水流動の変遷の特徴と現状を報告する。

本研究は、東京都土木技術支援・人材育成センター・秋田大学・産業技術総合研究所の共同研究ならびに埼玉県・秋田大学・産業技術総合研究所の共同研究の一環として実施するものである。

キーワード：地下水位変動、地下水開発、地方公共団体、地下水揚水規制、地下水盆地管理、首都圏

Keywords: groundwater level fluctuation, groundwater development, municipalities, restriction of groundwater abstraction, groundwater basin management, Tokyo Metropolitan Area

# 首都圏における地下温度の経年的な上昇とその要因—地下温度の長期変化に認められる地下水開発の影響—

## Evaluation of subsurface warming in the Tokyo metropolitan area, Japan

\*宮越 昭暢<sup>1</sup>、林 武司<sup>2</sup>、川合 将文<sup>3</sup>、川島 眞一<sup>3</sup>、國分 邦紀<sup>3</sup>、濱元 栄起<sup>4</sup>、八戸 昭一<sup>4</sup>

\*Akinobu Miyakoshi<sup>1</sup>, Takeshi Hayashi<sup>2</sup>, Masafumi Kawai<sup>3</sup>, Shinichi Kawashima<sup>3</sup>, Kuniki Kokubun<sup>3</sup>, Hideki Hamamoto<sup>4</sup>, Shoichi Hachinohe<sup>4</sup>

1. 国立研究開発法人産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門、2. 秋田大学教育文化学部、3. 東京都土木技術支援・人材育成センター、4. 埼玉県環境科学国際センター

1. Geological Survey of Japan, AIST, 2. Faculty of Education and Human Studies, Akita University, 3. Civil Engineering Support & Training Center, Tokyo Metropolitan Government, 4. Center for Environmental Science in Saitama

筆者らは、都市域における長期の地下水利用や都市特有の熱環境、地球温暖化に伴う気候変動が地下環境に及ぼす長期的な影響を把握するため、首都圏に属する東京都および埼玉県を対象として、地下温度観測を継続的に実施している。これまでに、両都県に整備されている地盤沈下・地下水位観測井網を活用して、2000年から2016年まで地下温度プロファイルを繰り返し測定するとともに、2007年（埼玉県内4地点）および2012・2013年（東京都内6地点）から地下温度の高精度モニタリングを実施し、地下温度の連続的かつ微細な変化と、深度による変化傾向の差異を調査してきた。本発表では、それらの観測結果と、観測結果から明らかとなってきた地下温度変化の要因に関する検討結果を報告する。

筆者らの先行研究（宮越ほか、2010など）により、両都県の地下温度分布には明瞭な地域差が認められ、都心では郊外よりも相対的に高温であることが明らかとなっている。本研究では、2013～2016年の調査によって得られた地下温度分布と2003～2005年時の地下温度分布の比較により、過去10年間に、地下浅部に広く温度上昇が生じていることが明らかとなった。また、地下温度の上昇量は郊外よりも都心で大きく、両地域の温度差が増大していることが明らかとなった。さらに、地下温度の上昇は時間の経過とともに、より深部でも確認され、地下温暖化が地下深部に向かって拡大していることが示された。

地下温度のモニタリング結果から、これら地下温度の上昇は継続的に生じていることが確認され、温度上昇率は地域や深度により異なることが明らかとなった。埼玉県南東部の低地部に位置する観測地点では、深度30mで0.022°C/年、東京都東部に位置する観測地点では同じ深度で0.018°C/年であり、温度上昇率の変動は比較的小さく、観測期間中を通じて概ね一定した上昇傾向を示した。これらの地点は河川沿いの沖積低地に位置しており、地下温暖化は主に地表面温度の上昇に伴う熱伝導によって形成されたと考えられた。

一方、埼玉県南西部および東京都西部の武蔵野台地に位置する観測地点では、地下温度プロファイルの繰り返し測定結果から地下浅部の継続的な上昇が確認されるものの、温度上昇率は一様でない。また、温度上昇率には経年的な変化だけでなく、深度による変化も認められた。さらに、地下浅部だけでなく深度100m以深においても、温度変化は小さいものの局所的に有意な変化が認められた。これらの複雑な地下温度の変化は、水理水頭分布の経年的な変化の大きい地域や低水頭部で生じており、地下水流動の変化が地下温度分布の経年的な変化に影響を与えていることを示唆している。各観測地点で観測された地下温度の変化を地下地質構造や地下水流動と併せて解析することで、首都圏における地下温暖化の形成メカニズムを明らかにできると考えられる。

本研究は、東京都土木技術支援・人材育成センター、秋田大学、産業技術総合研究所による共同研究、ならびに埼玉県、秋田大学、産業技術総合研究所による共同研究の一部として実施した。

キーワード：地下温度、地下水流動、地下温暖化、地下水開発、都市化、首都圏

Keywords: subsurface temperature, groundwater flow, subsurface warming, groundwater development, urbanization, Tokyo metropolitan area



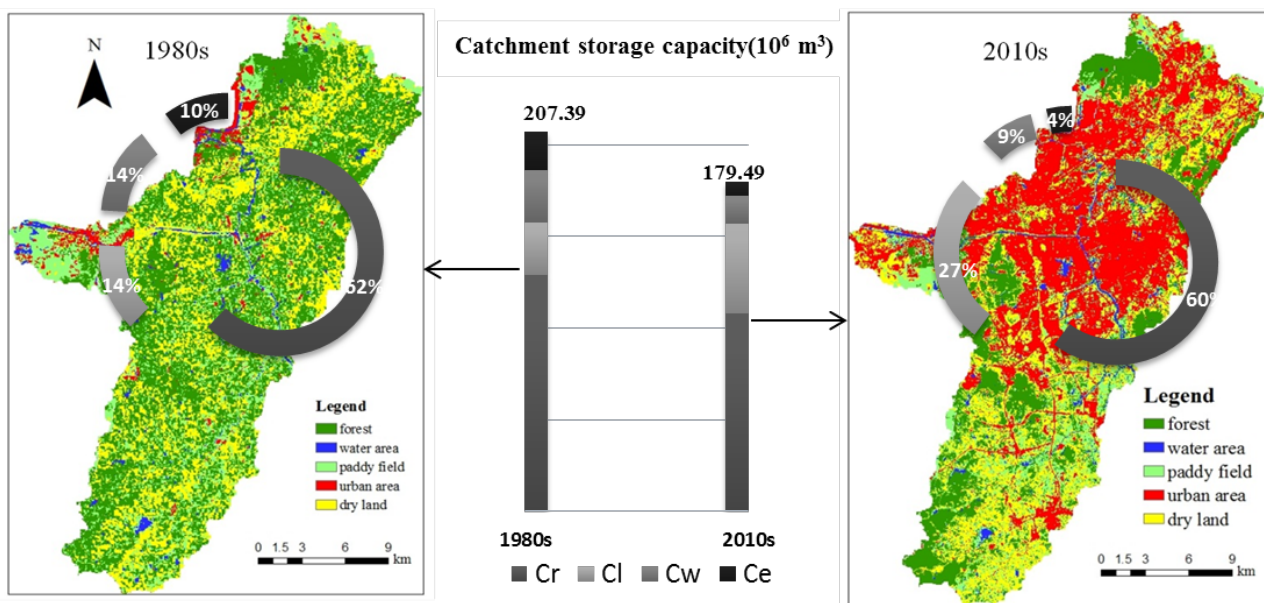
# The effects of urbanization on catchment storage capacity of surface water –a conceptual model in plain catchment in Yangtze river delta

\*Song Song<sup>1</sup>, Youpeng Xu<sup>1</sup>, Liu Yang<sup>1</sup>

1. School of Geographic and Oceanographic Science, Nanjing University, Nanjing, China

Hydrological processes in Yangtze river delta area have been significantly changed due to rapid urbanization in the last 30 years. A conceptual model involving four modules - river network, lakes/reservoir, wetland/floodplain, and ecological land use –was proposed to evaluate the surface water storage capacity, as well as its temporal variation and its structural sensitivity from 1980s to 2010s in Qinhuai River Basin, Yangtze River Delta. The data sources include MSS/TM images, thematic maps, Digital Elevation Model, and gauged hydrological data from 1980s and 2010s. The main findings indicated that, 1) the main driver of the storage variation is the construction land expanded and forest decrease; 2) although the total water area increased, the complexity and stability of river network declined; 3) the surface water storage capacity of Qinhuai river catchment decreased by 13.45%, from  $207 \times 10^6 \text{ m}^3$  to  $179 \times 10^6 \text{ m}^3$  during the study period; 4) the lake/reservoir storage is the most sensitive module to the urbanization, while the river network module serves as main contributor to the total storage. More effects should be made in the protection and restoration of the low-level rivers, forest and wetlands to protect and restore the catchment storage capacity. The results of the study would provide support in policy formulation and intervention strategies.

Keywords: Storage capacity, urbanization, conceptual model, effect analysis, Yangtze River Delta



## Urban flooding risk mapping using hydrodynamic and GIS models

\*Boyu Feng<sup>1</sup>, Chuiqing Zeng<sup>1</sup>, Jinfei Wang<sup>1</sup>, Ying Zhang<sup>2</sup>

1. University of Western Ontario, 2. Canada Centre for Mapping and Earth Observation, Natural Resources Canada

Rapid urbanization and unpreventable climate change have resulted in severe urban flooding events that hit worldwide cities more frequently and heavily. An instructive and up-to-date monitoring and evaluation on the distribution of flooding risks in cities is necessary and valuable for urban planning. This research applied two major approaches in current urban flooding studies: hydrodynamic and GIS models in a case study in London, ON, Canada. From the hydrological view, hydrodynamic models employ a series of hydraulic equations to calculate the motion of water from fluvial/pluvial-based sources. The inputs of such hydrodynamic models are often composed of detailed hydrological parameters (e.g. river crossing section), which need to be inputted by experienced hydrodynamic experts. Besides the high standard of hydrological expertise, hydrodynamic models involve heavy calculation and are often difficult to run with high spatial resolution data. For end-users who do not have hydrological background, the two features impede the easy access to hydrodynamic models. On the other hand, GIS models can be easily equipped with multiple high spatial resolution GIS layers. But in GIS models, hydrodynamic physics does not apply and the key parameters are often generated from historical flooding events or empirical models. Therefore, a bond between hydrodynamic and GIS models needs to be made in urban flooding studies, in order to take advantage of both models strength. This study used the water level result derived from one open-source hydrodynamic model (PCSWMM) as a known flooding event. According to the hydrodynamic model result, the parameters that the GIS model requires were decided. In this way, the GIS model can be considered as a simplification of the used hydrodynamic model. The used GIS layers in this study include DEM (digital elevation model), slope, curvature, landuse/landcover, and road system density. As a result, an urban flooding risk map is generated using the hydrodynamic-model-trained GIS model.

Keywords: Urban flooding, GIS model