

## 人工衛星による輝度温度情報を使用した雲分類手法の開発 Development of a cloud classification method by using satellite-observed brightness temperature

渡部 大和<sup>1\*</sup>, 山田 朋人<sup>1</sup>, デューイ プラボウオス セノ ユガ<sup>1</sup>  
WATANABE, Yamato<sup>1\*</sup>, Tomohito Yamada<sup>1</sup>, Suseno Dwi Prabowo Yuga<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学大学院工学院

<sup>1</sup>Division of Fluid Engineering for the Environment, Hokkaido University

Recently, there are some extreme meteorological phenomena such as heavy rain and drought all over the world. One of the extreme phenomena is 2011 Thailand floods which is used as the background of this study. There are some factors influencing the 2011 Thailand floods that are related to dynamic hydrological circulation and land-atmosphere-ocean system. To figure out the extreme phenomena such as heavy rain, the precipitation data is needed. However, there is a considerable shortage of meteorological stations in developing country and there is no precipitation forecasting models which work accurate enough both spatially and temporally. This is the reason why we need remote sensing observation that can comprehend rainfall data shortage. The reappearance of dynamic hydrological circulation is important for the resolution of extreme phenomena but -ship-observation is intermissive and it only cover some parts of the world. In general, cumulonimbus causes heavy intensity of rainfall. The convection cools down the moisture which remain lower layer and it becomes convective cloud. Furthermore, heavy rainfall is related to the cloud type distribution. This study is suggesting the cloud classification method which uses the infra-red data from remote sensing satellites. In this study we utilize meteorological satellite which is well known as Multi-functional Transport Satellite (MTSAT). The area of observation is from 80.02 degrees of east longitude to 160.02 degrees of west longitude and is from 59.98 degrees of north latitude to 59.98 degrees of south latitude. The MTSAT data as well as their calibration coefficient are downloaded from the database of Kochi University. MTSAT data has 4-5km spatial resolution and 1 hourly temporal resolution. When compared with the existing cloud classification method such as International Satellite Cloud Climatology Project (ISCCP), which has 200 to 300 km spatial resolution, and 3 hour temporal resolution. MTSAT has advantage for providing cloud type information in higher resolution. The method of analysis is by performing cloud type classification based on 10.8 micro-meter Infra-red (IR1) and 12 micro-meter Infra-red (IR2). The IR1 and IR2 are sometimes called split window and these are well known that they have different absorbing characteristics for water and ice particle. There are 6 cloud types used in the cloud classification, namely Cumulonimbus (Cb), Mature Cumulonimbus (MCb), Thick Cirrus (TkCi), Thin Cirrus (TiCi), Middle level cloud (MC) and Low level cloud (LC). We compared those of cloud type data with rainfall intensity derived from Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) information. Result shows that Cb corresponds with high rainfall intensity over Bangkok in Thailand during flooding periods. We also perform the same analysis over larger coverage and time duration. The trend of heavy rainfall is also found not only in Southeast Asia but also in more global scale.

キーワード: 雲分類手法, MTSAT, 積乱雲

Keywords: cloud classification method, MTSAT, cumulonimbus

## ナイルデルタの異なる灌漑条件下の農地における渦相関法による蒸発散量評価 Eddy correlation approach to determine evapotranspiration in three crop fields with different irrigation methods

福田 敬広<sup>1\*</sup>, 杉田 倫明<sup>1</sup>, Rushdi M. M. El-Kilani<sup>2</sup>  
FUKUDA, Takahiro<sup>1\*</sup>, SUGITA, Michiaki<sup>1</sup>, Rushdi M. M. El-Kilani<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 筑波大学大学院 生命環境科学研究科, <sup>2</sup>Faculty of Agriculture, Cairo University (Giza, Egypt)

<sup>1</sup>Life & Environ. Sci., Uni.Tsukuba, <sup>2</sup>Faculty of Agriculture, Cairo University (Giza, Egypt)

Three fields covered with maize within the Nile delta were the target of the study. In 2010 summer, two fields employed conventional fallow irrigation while one uses drip irrigation method. Also one of the conventional fields was covered with mulching. In 2011 summer, one field employed conventional fallow irrigation, one drip irrigation method, and last one newly developed narrow ditch irrigation. At three fields, an eddy correlation system with relevant meteorological, hydrological and vegetation measurements has been operation. Also made were two intensive measurements in the summer of 2010, 2011, in which various data were obtained in order to allow model application to separate evapotranspiration into transpiration and soil evaporation during growing season of maize.

As a result of the measurement, annual evapotranspiration was found to be in the range of 649-983mm, and the amount of evapotranspiration during summer growing season accounted for 43-48% of the annual totals. They are about the same among fields with different irrigation methods. Some results derived from the model analysis will also be presented.

キーワード: 蒸発散量, 渦相関法, トウモロコシ, ナイルデルタ, 灌漑, 強制復元法

Keywords: evapotranspiration, eddy correlation method, Maize, Nile Delta, irrigation, Force Restore method

## エジプトナイルデルタにおけるカジュアリナの樹液流の季節変化とその防風林としての蒸発散抑制効果の推定

Seasonal change of Casuarina sap flow and its use for windbreak trees to reduce evapotranspiration in the Nile-delta.

清水 達輝<sup>1\*</sup>, 杉田 倫明<sup>1</sup>, Rushdi M. M. El-Kilani<sup>2</sup>  
SHIMIZU, Tatsuki<sup>1\*</sup>, SUGITA, Michiaki<sup>1</sup>, Rushdi M. M. El-Kilani<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 筑波大学大学院・生命環境科学研究科, <sup>2</sup>Faculty of Agriculture, Cairo University (Giza, Egypt)

<sup>1</sup>Life & Environ. Sci., Univ. Tsukuba, <sup>2</sup>Faculty of Agriculture, Cairo University (Giza, Egypt)

農業における節水対策のひとつとして防風林が挙げられるが、その効果の検証には農地の蒸発散を蒸発と蒸散に分離した上で、蒸発と蒸散のそれぞれに対する防風林の抑制効果の検証が必要であり、抑制された蒸発量と防風林自体が発する蒸散量の比較が不可欠である。このため防風林の蒸散量を樹液流速・辺材面積の現地観測により長期的に推定した。その結果、樹液流速に明瞭な季節変化が見られ、それに伴って蒸散量も季節変化を持つことが確認された。また、辺材の樹皮側と心材側の2深度において樹液流速の季節変化に差が見られ、心材側では樹液流速の季節変化は比較的小さく、夏秋冬を通してほぼ一定であることも明らかとなった。これを用いて Penman-Monteith 式から群落抵抗を決め、任意の期間の蒸散量を推定出来るようにした。これから、1年間の蒸発抑制効果を推定したところ、空隙率50%程度の防風林は年間で40%程度の蒸発散量を抑制する推定結果を得た。また防風林自体の蒸散量は10%程度と、抑制した蒸発散量の4分の1程度となる試算を得た。

キーワード: 防風林, カジュアリナ, 蒸散, 蒸発抑制

Keywords: Windbreak tree, Casuarina, Transpiration, Evaporation decrement

## 熱慣性を用いた土壌水分条件の推定とその応用

### An estimation of soil moisture conditions using thermal inertia and its application

松島 大<sup>1\*</sup>, 木村玲二<sup>2</sup>

MATSUSHIMA, Dai<sup>1\*</sup>, Reiji Kimura<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 千葉工業大学, <sup>2</sup> 鳥取大学乾燥地研究センター

<sup>1</sup>Chiba Institute of Technology, <sup>2</sup>ALRC, Tottori University

熱慣性は体積熱容量と熱伝導率の積の平方根として定義される熱物理量である。土壌の体積熱容量、熱伝導率はともに土壌水分量の増加に伴って増加するので、熱慣性も土壌水分量の関数となる。この性質を利用して、熱慣性の値から土壌水分量を推定できる可能性がある。一方、熱慣性は地表面温度を推定するためのモデルである強制復元法のパラメータであることから、地表面温度値を強制復元法に適用することで、熱慣性値を導出することが理論的に可能である。以上のことから、衛星による広域の地表面温度分布等のデータを用いることで、熱慣性を介して地表面付近の土壌水分条件を推定することが可能であると考えられる。本発表では、上記のような熱慣性法による土壌水分条件推定方法とその可能性について示す。さらに、土壌水分条件に強く依存する地表面からのダスト発生条件推定、空間解像度が粗い衛星マイクロ波放射計による土壌水分量推定値のダウンスケール等の応用可能性について解説する。

キーワード: 熱慣性, 土壌水分, 広域推定, ダスト発生, ダウンスケール

Keywords: thermal inertia, soil moisture, regional estimation, dust emission, downscaling

AHW29-05

会場:101A

時間:5月21日 10:45-11:00

## 堆積岩流域の湧水における量と質の時空間変動特性

### Spatial and temporal variation of spring water in a headwater catchment underlain by sedimentary rock

辻村 真貴<sup>1\*</sup>, 若林 森彦<sup>1</sup>, 恩田 裕一<sup>1</sup>, 川口 晋平<sup>1</sup>

TSUJIMURA, Maki<sup>1\*</sup>, Morihiko Wakabayashi<sup>1</sup>, ONDA, Yuichi<sup>1</sup>, KAWAGUCHI, Shimpei<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 筑波大学

<sup>1</sup>University of Tsukuba

堆積岩からなる山地源流域における地形面上の流域界を越えた流動を検討することを目的とし、栃木県佐野市東京農工大学唐沢山演習林の10か所の湧水地点において湧水の採水と流量観測を行うとともに、水試料の溶存CFCs濃度から滞留時間の推定を行った。その結果、チャート地域と砂岩地域とで地質条件の違いによる水質組成の違いが見られたと同時に、湧水の平均滞留時間は7~20年程度と推定された。

キーワード: 湧水, 堆積岩, 滞留時間, 地下水流動

Keywords: spring water, sedimentary rock, residence time, groundwater flow

## 硝酸態窒素同位体比による急流河川の栄養塩輸送状況の解明 ~ 富山県東部河川を例として

### Clarification of Nutrient Transport in Rapid Flow River by Nitrogen Isotopes Ratio

佐野 和広<sup>1\*</sup>, 張勁<sup>1</sup>

SANO, Kazuhiro<sup>1\*</sup>, ZHANG Jing<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 富山大院理工学教育部生物圏環境科学専攻

<sup>1</sup> Graduate School of Science and Engineering, University of Toyama

Aquatic plants need many types of nutrients for growth, including nitrogen, phosphorus, and silica. A significant proportion of silicate, nitrate and phosphate in the river systems are derived mainly from anthropogenic. The purpose of this work is the determination of nutrients sources in the rivers water.

Total of 18 sites were selected from three rivers. From November 2009 to October 2011, total of 200 samples were collected from three rivers. Water samples were collected in new polyethylene bottles, which were rinsed in water three times prior to sample collection sealed cork. The physical parameters of water samples were measured in the field for temperature, pH and electrical conductivity. Major ions (Na, K, Ca, Mg, Cl, SO<sub>4</sub>, and NO<sub>3</sub>) were analyzed by ion chromatography. Alkalinity was determined by titration with HCl (0.01N). Ionic balance was computed for each sample and all samples exhibited imbalances lower than 5%. Silica was determined by the molybdenum-yellow method. A mass spectrometer was used for O and H isotope analysis of water samples. Analytical accuracy of plus minus 0.1 permil for delta<sup>18</sup>O and 1.0 for delta D.

Rivers water was characterized by Ca-HCO<sub>3</sub>, Na-SO<sub>4</sub> and Na-Cl type. Water isotopes compositions were compared with the local meteoric water lines. All samples were plotted between local meteoric water lines. d-excess values data indicates rivers were recharge by spring season precipitation, but Kado and Katagai rivers recharge rate was slower than Hayatsuku river. Due to slow recharge rate, sources of recharge water mixed with other season of precipitation. Recharge areas were calculated to trace the sources of water.

NO<sub>3</sub><sup>-</sup> concentrations were not varied with seasons in Hayatsuki, but Kado and Katagai rivers showed variation in NO<sub>3</sub><sup>-</sup> concentrations, especially in the downstream. To trace the sources of NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, nitrogen isotope (<sup>15</sup>N) was measured. Nitrogen isotope (<sup>15</sup>N) did not show seasonal variation whereas Kado and Katagai rivers showed variation especially in the downstream in the same manner as NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. <sup>15</sup>N values suggested that source of NO<sub>3</sub><sup>-</sup> from forest. The amount of NO<sub>3</sub><sup>-</sup> fluxing through Hayatsuki, Katagai, and Kado into Toyama bay are 1.6 x 10<sup>3</sup> t/yr, 1.7 x 10<sup>3</sup> t/yr and 0.5 x 10<sup>3</sup> t/yr, respectively. The total amount of NO<sub>3</sub><sup>-</sup> from these rivers is approximately 25% of the entire rivers discharging into Toyama bay.

キーワード: 硝酸態窒素, 同位体, 急流河川, 栄養塩, 扇状地, 伏流水



## 能登半島の熊木川における溶存有機物の特徴と移行挙動

### Characteristics and behavior of dissolved organic matter in the Kumaki River in Noto Peninsula, Japan

鈴木 智代<sup>1\*</sup>, 長尾 誠也<sup>2</sup>, 倉光 英樹<sup>3</sup>, 西村 周作<sup>2</sup>, 落合 伸也<sup>2</sup>, 徳成 武勇<sup>1</sup>, 山本 政儀<sup>2</sup>

SUZUKI, Tomoyo<sup>1\*</sup>, NAGAO, Seiya<sup>2</sup>, HIDEKI Kuramitsu<sup>3</sup>, SYUSAKU Nishimura<sup>2</sup>, OCHIAI, Shinya<sup>2</sup>, TAKEO Tokunari<sup>1</sup>, MASAYOSHI Yamamoto<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 金沢大学 自然科学研究科, <sup>2</sup> 金沢大学環日本海域環境研究センター, <sup>3</sup> 富山大学 理工学研究部

<sup>1</sup>Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa University, <sup>2</sup>Institute of Nature and Environmental Technology, Kanazawa University, <sup>3</sup>Graduate School of Science and Engineering for Education (Science), University of Toyama

#### [ はじめに ]

日本では近年、農村の後継者不足や里山の管理放棄等により、これまで循環的に維持されてきた農村・里山の自然が荒廃する問題が生じている。里山の植生管理は里山の物質循環に作用する重要な役割を担っており、里山つまり森林や耕地が放棄され自然が荒廃すると土壌の化学的性質や湧水の水質に影響を及ぼすという報告もある。このことは同時に森林から河川へ流出する有機物の濃度や構造特性が変化すると考えられる。沿岸域の生物生産には森林から流出する有機物、特に高分子有機物の腐植物質が関与しているとの報告もあり、里山環境の変化によって沿岸域の環境が変化しうる可能性がある。里山の荒廃が沿岸域へ及ぼす影響を把握するためには、局所だけでなく流域スケールでの有機物の移行挙動を解明する必要がある。

本研究では、沿岸域の生物生産性が高くかつ里山放棄がみられる能登半島の熊木川に着目した。この里山放棄が及ぼす有機物の濃度・構造特性の変化や有機物の移行挙動を解明し、里山の荒廃が里海の生態系に与える影響を評価することを目的とする。本発表では2009年6月～11月に採取した熊木川河川水の結果を用い、平水時に流出する溶存有機物の濃度・構造特性の季節変動について報告する。

#### [ 試料採取および分析方法 ]

河川調査は2009年6月～2011年8月の期間に七尾西湾流域河川の熊木川・日川川・二宮川で行い、河川水・水田水・水田排水・河床堆積物試料を採取した。また、2011年8月に七尾西湾で4点、堆積物を採取した。熊木川では、里山の管理と放棄による寄与を比較するため、人工林の管理放棄が目立つ熊木川上流、比較的人工林が管理されている支流の西谷内川で、またそれらの河川水が合流する熊木川中流、中流から下流域に広がる水田からの排水が流入している熊木川下流でサンプリングを行った。採取した試料はGF/Fフィルターでろ過し分析まで冷凍保存した。河川水試料は、溶存有機物の濃度・構造特性を明らかにするため、三次元蛍光スペクトル測定・高速液体サイズ排除クロマトグラフィーにより分析した。七尾西湾流域の降雨量・水位データは石川県河川総合情報システム(石川県土木部河川課)よりご提供いただいた。

#### [ 結果と考察 ]

熊木川河川水の三次元蛍光スペクトルを測定した結果、腐植様物質ピーク(励起波長 Ex / 蛍光波長 Em : 300 ~ 340 / 430 ~ 465nm) が検出された。腐植様物質の濃度を反映する相対蛍光強度(RFI)は下流に行くに従い増加する傾向が見られ、中流から下流にかけて河川へ腐植様物質が流入していると考えられる。蛍光スペクトルを上流から下流まで比較すると、腐植様物質ピーク(Peak H1 ~ H4)の中で最もRFIが高いピークの波長位置が、上流と下流で異なる場所に検出された。上流・中流ではPeak H1のRFIが高く、下流ではPeak H2のRFIが高い。

さらに流出する物質の特徴を把握するため、腐植様物質の傾向ピークに相当する検出波長(Ex.320/ Em. 430 nm)で高速液体サイズ排除クロマトグラフィー分析を行った。その結果、保持時間9.5分付近(Peak 1)と9.8分付近(Peak 2)、10.4分付近(Peak 3)にシャープなピークが得られた。Peak 1とPeak 2の強度比は上流に比べて中流・下流で低くなる傾向が認められた。ピーク強度比の減少は低分子分画の割合が大きいことを示しており、中流・下流にかけて広がる水田から低分子分画の物質が流入していることが考えられる。これらの結果は、中流から下流の間で異なる性質の腐植様物質が負荷されていることを示している。

キーワード: 能登半島, DOM, 腐植物質, 三次元蛍光スペクトル分析, HPSEC

Keywords: Noto Peninsula, DOM, Humic substances, 3D EEM spectroscopy, HPSEC

## 貯水池堆積物に基づく能登半島の流域環境変動の推定 Catchment environmental changes inferred from reservoir sediments in Noto Peninsula

落合 伸也<sup>1\*</sup>, 長尾 誠也<sup>1</sup>, 米林 甲陽<sup>2</sup>, 福山 泰治郎<sup>3</sup>, 山本 政儀<sup>1</sup>, 柏谷 健二<sup>1</sup>, 中村 浩二<sup>1</sup>

OCHIAI, Shinya<sup>1\*</sup>, NAGAO, Seiya<sup>1</sup>, YONEBAYASHI, Koyo<sup>2</sup>, FUKUYAMA, Taijiro<sup>3</sup>, YAMAMOTO, Masayoshi<sup>1</sup>, KASHIWAYA, Kenji<sup>1</sup>, NAKAMURA, Koji<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 金沢大学 環日本海域環境研究センター, <sup>2</sup> 石川県立大学 生物資源環境学部, <sup>3</sup> 信州大学 農学部

<sup>1</sup>Institute of Nature and Environmental Technology, Kanazawa University, <sup>2</sup>Faculty of Bioresources and Environmental Sciences, Ishikawa Prefectural University, <sup>3</sup>Faculty of Agriculture, Shinshu University

This study aims to reveal the sedimentation records and the transport processes of organic matter and sediment in the reservoir-catchment systems in Noto Peninsula, Japan. This area confronts the catchment environmental changes (vegetation and land use changes, etc.) related to change in human activities (population decrease and ageing, etc.) expected to affect the material transport. Small reservoir-catchment system is suitable for clarifying material transport processes and responses to the natural and artificial environmental changes because of its sensitivity.

Study sites are two small reservoirs (Bishaguso-ike and Shin-ike) located in Noto peninsula in the central Japan. Surface sediment cores (26 cm and 31 cm length, respectively) were collected from these reservoirs using a HR type core sampler (Rigo, Japan) in October, 2009. The contents of total organic carbon (TOC) and total nitrogen (TN), carbon and nitrogen isotope ratios (delta <sup>13</sup>C and delta <sup>15</sup>N), and grain size were analyzed for 1 cm interval. Vertical profiles of radionuclide activity concentration (<sup>210</sup>Pb and <sup>137</sup>Cs) were also measured to estimate sedimentation rate and age of the cores.

In Bishaguso-ike, the age of the core was estimated at about 40 years based on the <sup>210</sup>Pb dating method. It also indicates that sedimentation rate of the reservoir decreased to 25 % of previous value in 1980s. The C/N ratio of reservoir sediment decreased from 13 to 10 corresponding to the change in sedimentation rate. The delta <sup>13</sup>C and delta <sup>15</sup>N and the grain size also decrease since 1980s. These changes suggest that the contribution of catchment-derived organic matter and sediment has decreased since 1980s. These results suggest that catchment environmental changes which decrease sediment erosion occurred in the Bishaguso-ike catchment.

In Shin-ike, the age of the core were estimated at about 90 years based on the <sup>210</sup>Pb method. The delta <sup>13</sup>C and delta <sup>15</sup>N has decreased with some fluctuations since 1960s, implying the change in organic matter sources of reservoir sediment. The sedimentation rate (five times higher than other period), C/N ratio and grain size increased during about 1970s. These results suggest that the shift of organic matter source with some erosion events has occurred in the Shin-ike catchment. These changes in organic matter in both reservoirs may be attributed to the vegetation and land use changes in Noto Peninsula from 1960s to 1980s.

キーワード: 貯水池堆積物, 有機物, 炭素・窒素同位体比, 能登半島

Keywords: reservoir sediment, organic matter, carbon and nitrogen isotope ratios, Noto Peninsula



## 気候変動によるダム湖水質への全国的影響評価

### Assessment of water quality changes in reservoirs in Japan affected by global warming

梅田 信<sup>1\*</sup>, 落合雄太<sup>1</sup>

UMEDA, Makoto<sup>1\*</sup>, OCHIAI, Yuta<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院工学研究科

<sup>1</sup> School of Engineering, Tohoku University

我が国において、ダム湖は水道水源の約半分を担っている。そのため、ダム湖の水質は、湖水としての自然環境的な観点だけでなく、浄水コストや飲料水の安全性などの工学的な面からも重要な水環境要素である。一方、湖沼に対する温暖化の影響として、水温上昇や水質悪化などの変化が見られるという種々の報告が見られるようになった。本研究では、我が国における温暖化の水源水質への影響を評価することを目標として、全国的な範囲から抽出した多数のダム湖を対象とした水質変化の検討を行った。

対象としたダム湖は、国土交通省及び水資源機構が管理する多目的ダムから、地理的（全国的に分布した抽出）および水理的（貯水容量と湖水の回転率）な諸元を考慮して選定した37ダム湖である。解析は、鉛直一次元の水温解析モデルを用いた水温構造の計算を中心に行った。解析で用いた気象条件は、代表的なGCMの一つであるMIROC3.2(hires)の出力結果から、気温と日射量を用いた。対象とした排出シナリオはSRES-A1Bとした。その他の気象条件は、対象ダム湖に最も近い気象台またはアメダスのデータから、各日に対する20年分の平均値を与えた。

水質の評価は、藍藻の過剰増殖による水質障害（アオコなど）の発生に関する水温条件を用いて行った。既往研究では、表層水温が20℃以上になり、表層水温勾配が0.5℃/m以上のときに、水質障害が発生しうることが指摘されている。そこで、この2つを指標に用いた。これらに加え、流入河川の総リン濃度の実績値を加味して、クロロフィルa濃度の推定式を作成して、ダム湖水質の富栄養化度を評価した。

計算を実施した各年代（現在1980-1999年、近未来2046-2065年、世紀末2080-2099年）について、それぞれのダムにおける年平均クロロフィルa濃度を推定した。OECDの栄養度区分に基づいて、年平均クロロフィルaが8.0mg/m<sup>3</sup>を富栄養湖として評価した。その結果、対象37ダム中、現在において富栄養湖と評価されるのは10ダムだったのに対し、世紀末には21ダムにまで富栄養湖が増加するという結果となった。

キーワード: ダム湖, 気候変動, 水質, 水源

Keywords: reservoir, climate change, water quality, water resources

### 3次元雨量計と富士山頂雨量観測

### 3D Rain Gauge and rainfall observation at the summit of Mt.Fuji

松田 益義<sup>1\*</sup>, 島村 誠<sup>2</sup>

MATSUDA, Masuyoshi<sup>1\*</sup>, Makoto Shimamura<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 株式会社M T S 雪氷研究所, <sup>2</sup> 東日本旅客鉄道株式会社防災研究所

<sup>1</sup>MTS Institute Inc., <sup>2</sup>Disaster Prevention Research Laboratory, East Japan Railway Company

#### 1. はじめに

雨水の飛来方向と飛来量(雨量)を計測できる「3次元雨量計」を開発し(図1)、2010年と2012年の夏季に富士山頂に試験設置した(図2)。富士山頂測候所には過去に気象庁によって雨量計が設置されたが、雨水が斜面に沿って下方からも飛来することから、計測不適を理由にその後撤去された経緯がある。世界屈指の強風吹走地である富士山頂で、様々な風向・風速条件下の降雨に対し、「3次元雨量計」の計測性能と有効性を検証することが本観測の目的であった。

#### 2. 観測項目、観測地点、器機仕様

3次元雨量計は雨水の飛来方向と量を計測できるように、12方向に開口した受水口を有している。各受水口で捕獲した雨水量は個別に計測し、受水口の方向と捕獲水量の幾何学的関係から雨水の飛来方向を計算する仕組みになっている。3次元雨量計の仕様を表1に示す。

富士山測候所測風塔の最高点(標高3785m、図2)に、「3次元雨量計」と、比較のために転倒マス雨量計と3次元風向風速計も併置し、ソーラー電源による自動観測と携帯電話による定期的なデータ回収を行った。

#### 3. 観測結果

観測結果の概要は、以下の通りである。

(1) 2夏季(7~8月)で、合計22回の降雨を観測し、22回中15回が斜め上方からの落下型降雨であり、7回が斜め下方からの吹上型降雨であった(図3)。

(2) 3次元雨量計は転倒マス雨量計よりも多量の雨水量を計測し、転倒マス雨量計刃計測できない微量な雨や吹上型の降雨を計測した。

(3) 3次元雨量計の雨水飛来方位は、卓越風向と整合的であった。

3次元雨量計の有効性について検証しえた基本的事項を列記する。

(1) 既往の雨量計とは異なり、雨水の飛来量だけでなく飛来方向という新しい降雨情報を提供しうる

(2) 富士山頂のような強風吹走地でも設置可能で、上記降雨情報を提供しうる

(3) 微量の雨水(霧雨を含む)を検知でき、正確な降雨開始時刻の情報を得られること

(4) 雨水の捕捉率は、転倒マス雨量計よりも大幅に高い

(5) 雨水の飛来量と飛来方向から、近傍斜面の雨水地表衝突量の情報を提供できる

本試験観測出得られたデータの詳細な時系列的分析は、現在継続中である。また、3次元雨量計は若干の改良を行って製品化し、降雨観測の進展と斜面災害の防止などへの有効活用に供したい。

キーワード: 3次元雨量計, 雨水飛来方向, 雨量観測, 富士山頂

Keywords: 3D Rain Gauge, Rainfall direction, Rainfall observation, Mt.Fuji summit

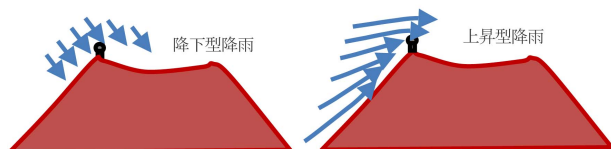


図3 降下型降雨と上昇型降雨の模式図

表-1 3次元雨量計の仕様

部位	項目	仕様
受水部	受水口(セル)数	12 (4方位×3傾斜)
	受水可能な雨水の飛来傾斜角	天頂から135°
	計算可能な雨水の飛来傾斜角	天頂から90°
計測部	解像度	1 drop
	最少計測雨水重量	0.1g
	分解能	20 drops/sec
	計測時間間隔	1sec以上、自由設定
	感応時間の長さ	2sec以内(降雨開始直後を除く)

## 大気密度成層における擾乱の発達過程

### The development of disturbance on the atmospheric density stratification

北野 慈和<sup>1\*</sup>, 山田朋人<sup>2</sup>, 泉典洋<sup>3</sup>

KITANO, Yoshikazu<sup>1\*</sup>, Tomohito Yamada<sup>2</sup>, Norihiro Izumi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学大学院工学院環境フィールド工学部門, <sup>2</sup> 北海道大学大学院工学院環境フィールド工学部門, <sup>3</sup> 北海道大学大学院工学院環境フィールド工学部門

<sup>1</sup>Division of Fluid Engineering for the Environment, Hokkaido University, <sup>2</sup>Division of Fluid Engineering for the Environment, Hokkaido University, <sup>3</sup>Division of Fluid Engineering for the Environment, Hokkaido University

There are many unknown issues about line-shaped rainbands (LRBs) which is one of the meso-scale meteorological phenomena making torrential rainfall events in Japan. The LRBs caused severe floods and landslide disasters such as the Fukui heavy rainfall 2004, the Hokkaido heavy rainfall 2010 and the Niigata-Fukushima heavy rainfall 2011. For disaster prevention, it is very important to reveal the formation mechanism of LRBs. To know the mechanism, the authors try to examine the stability of the density stratification using the small amplitude wave theory. In this study, the rainfall and thermodynamic effects are not considered. To simplify the discussion, this theory notes only the up/down motion of disturbance in the stratified atmosphere.

It is considered that LRBs are generated by disturbance of the unstable stratified atmosphere. Here, the authors apply the ship wave theory to explain the LRBs. Ship wave is the water surface wave generated by moving ships or waterfowls, and we can regard this ship as the origin of disturbance in the stratified water and air. Thus, this phenomenon is similar to the LRBs formation mechanism in the disturbance of stratified fluid.

However, the disturbance form of ship wave is different from the LRBs. On the one hand ship wave is formed by diverging waves and transverse waves, on the other hand LRBs is the long linear cloud. Therefore, we have to explain that these two phenomena are not completely different, so the authors have decided to observe ship waves in detail. As the observation objects, the authors use the satellite images of lee waves which are known to make the cloud shapes like ship waves. Observing more than 500 lee waves images, the authors found some lee waves which are like LRBs. So we can say that ship wave may become the line-shaped disturbance if it satisfies some conditions.

Based on the above, the authors attempt to give an origin of disturbance to the piecewise linear boundary layer which have a density interface using ship wave theory. This theory is based on the fundamental equation such as Navier-Stokes equation, continuity equation and invariant density equation, using small amplitude wave theory and method of stationary phase. These equations finally result in the dispersion relation and vertical direction velocity by disturbance. Calculating the disturbance amplitudes for all the wave numbers, the authors find three disturbance development forms. These forms are determined by the density difference and the internal Froude number as follow: 1) The stratification is stable. 2) The stratification is unstable and the internal Froude number is more than 1. 3) The stratification is unstable and the internal Froude number is less than 1. Among those three cases, the first case makes the form of ship wave. It is not important for the formation mechanism of LRBs which occur in the unstable atmosphere. The unstable stratification cases are the time development disturbance and change the horizontal existence region of disturbance by the base flow parameters. Especially, the second case changes its disturbance region significantly with the Froude number. The authors consider that this disturbance region is important for the form of LRBs.

キーワード: 線状降水帯, 安定性, 航跡波, 山岳波

Keywords: line-shaped rainbands, stability, ship wave, lee wave

## 夏季における石狩～苫小牧間の海陸風循環

## Land-Sea Circulation between Ishikari and Tomakomai in boreal summer

福島 大輝<sup>1\*</sup>, 山田 朋人<sup>1</sup>

FUKUSHIMA, Taiki<sup>1\*</sup>, Tomohito Yamada<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学大学院工学研究院

<sup>1</sup> Faculty of Engineering, Hokkaido University

This paper deals with the horizontal scale land and sea breeze circulation (LSBC) between Ishikari and Tomakomai and sea surface temperature (SST). The diurnal variation of LSBC during August of 1985-2008 is investigated using the data from the Automated Meteorological Data Acquisition System (AMeDAS) and Sapporo City Multisensor(MULTI) and analysis data of sea condition.

Area from Ishikari to Tomakomai has a unique topography. This area lies between Japan sea and Pacific ocean and it is not known whether it is affected by Japan sea's LSBC or that by Pacific ocean's LSBC. This area accounts for 30 percent of the total population of Hokkaido. Therefore, it is important to understand the characteristic of climate in this area. To discuss the LSBC effect, this area is divided into three regions: The first plain is from Ishikari city to Sapporo city (hereafter abbreviated as IS) and second plain from Ebetsu city to Chitose city (EC), and third is from Atsuma city to Tomakomia city (AT).

LSBC was observed between Ishikari and Sapporo. When Japan SST was higher than climatological temperature by 1 degree celsius, LSBC appeared clear because sea breeze's sojourn time increased. On the other hand, when Japan SST was 1 degree celsius lower than climatological temperature, sea breeze's sojourn time decreased. Therefore, it can be considered that LSBC over this area and SST have interactions.

Area between Tomakomai and Atsuma could have LSBC, too. When Pacific SST increased by one degree or decreased by one degree compared with climatological temperature, Tomakomai and Atsuma's sea breeze's sojourn time increased.

Between Ebetsu and Chitose, regardless of Japan or Pacific SST, southerly wind could be observed all day long and wind speed is not changed. It was presumed that area between Ebetsu and Chitose didn't have LSCB. Therefore, it can be concluded that wind direction was not related to SST.

These results suggest that the climate characteristics over Hokkaido region may change if global warming continues.

Keywords: topography, thermal balance, horizontal scale

## 湖面バルク輸送係数に対する湖流、波、局地スケールの大気循環の影響 Influence of lake current, wave and local atmospheric circulation on bulk transfer coefficient over a lake surface

魏 忠旺<sup>1\*</sup>, 杉田 倫明<sup>1</sup>

WEI, Zhongwang<sup>1\*</sup>, SUGITA, Michiaki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 筑波大学

<sup>1</sup>Life & Environ. Sci., Uni.Tsukuba

The turbulence and atmospheric data have been collected at the center of Lake Kasumigaura since 2007, in order to develop an improved lake-atmosphere fluxes parameterization. To estimate the fluxes more accurately, the bulk transfer method which incorporates the water surface status including the effect of wave, wave age and lake current was considered. Also the atmosphere status such as atmosphere stability and gustiness induced by the convective circulations under calm mean winds were investigated. Considering above parameters, the roughness length for momentum, sensible heat, latent heat were calculated. These results were used to determine the factors affecting the bulk coefficients. The estimated fluxes with a bulk method were compared with measured fluxes.

Keywords: flux, bulk transfer coefficient, roughness, wave, lake current



## 異なる灌漑条件下のとうもろこし畑における蒸発散成分分離 Separation of evapotranspiration into soil evaporation and transpiration over three maize fields of different irrigation

松野 晃大<sup>1\*</sup>, 杉田 倫明<sup>1</sup>, Rushdi. M.M. El KILLANI.<sup>2</sup>  
MATSUNO, Akihiro<sup>1\*</sup>, SUGITA, Michiaki<sup>1</sup>, Rushdi. M.M. El KILLANI.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 筑波大・生命環境・地球環境, <sup>2</sup> カイロ大学農学部

<sup>1</sup>Life & Environ. Sci., Uni. Tsukuba, <sup>2</sup>Faculty of Agriculture, Cairo University (Giza, Egypt)

ナイルデルタの耕作地の異なる灌漑条件下の圃場において、渦相関法において蒸発散量 ( $ET$ ) を測定し、その成分をチャンバー法と酸素・水素安定同位体比を用いて地面蒸発量 ( $E$ ) と蒸散量 ( $T$ ) に分離した。結果は慣行灌漑において日中の  $ET$  に占める  $E$  の割合 ( $E/ET$ ) は土壌水分量が灌漑直後の湿潤状態の時はほぼ 100% に近くなった。一方乾燥が進むにつれて、 $E/ET$  は低くなっていき、灌漑直前に  $E/ET$  はほぼ 50% となった。一方点滴灌漑の  $E/ET$  はほぼ 60% となった。またマルチングを施した圃場の乾燥している時、 $E/ET$  は 40% となり、細畝灌漑の灌漑後の湿潤時には、 $E/ET$  はほぼ 100% であることがわかった。しかし、このままでは各圃場 LAI の結果が異なるため、比較・検証することはできない。そこで LAI の影響をなくすために、先行研究のモデル (Kang, 2003 など) を用いて、 $E/ET$  を推定したところ、LAI=1 のとき、慣行灌漑では乾燥が進むにつれて、 $E/ET$  が 79%, 57%, 41% となった。一方点滴灌漑では、40~50% となった。また一方細畝灌漑では 64%、慣行灌漑にマルチを加えた場合は 80% となり、これらの灌漑条件の中では点滴灌漑の蒸発抑制効果が大きいことがわかった。

キーワード: 渦相関法, チャンバー法, 酸素・水素安定同位体比, LAI, 土壌水分量

Keywords: Eddy correlation method, Chamber measurements, Oxygen and hydrogen stable isotope ratio, LAI, Soil moisture content



## 武蔵野台地東部における浸水発生箇所への地形・地理的特性からみた内水災害危険地域の評価

### Assessment of areas at risk of inside water inundation by topographical and geographical characteristics

佐藤 李菜<sup>1\*</sup>, 林 武司<sup>2</sup>

SATO, Rina<sup>1\*</sup>, HAYASHI, Takeshi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 秋田大学大学院教育学研究科, <sup>2</sup> 秋田大学教育文化学部

<sup>1</sup> Akita University, <sup>2</sup> Akita University

日本の典型的な都市域である東京都では、内水災害に対する対策が進行している一方で、小規模な浸水や、繰り返し浸水が発生する箇所が見受けられており、下水道や雨水の浸透貯留対策に目を向けるだけでなく、浸水箇所の地形や土地被覆といった特性から内水災害の危険性を把握することも必要であると考えられる。武蔵野台地東部にある新宿区および豊島区、文京区では、区内でたびたび豪雨による浸水が発生し、繰り返し浸水が発生する箇所も多く存在する。そこで、本研究ではこれらの地域を対象に、過去に浸水が発生した箇所の地形・地理的特性を分析し、地形・地理的特性からみて内水災害に対する危険性を抱える地域を評価することを目的とする。

本研究では地形・地理的特性から内水災害を捉えるため、下水道等は考慮せず、地表面のみに注目した。対象とした範囲における1989年～2008年までの浸水実績は107箇所であった。この浸水箇所を、その発生箇所によって現河道沿いの低地（以下、低地）、台地、台地上の谷（以下、谷）の3つに分類し、地形・地理的特性に関わる項目を抽出した。すべての地形で共通に抽出した項目は、くぼ地の深さ、くぼ地の容積、集水域、集水域内の被覆されている面積、集水域の平均勾配、流域出口までの平均勾配（以下、出口までの勾配）、集水域内の平均勾配と出口までの勾配の差、集水域の最上流～浸水箇所までの距離（以下、上流の距離）、浸水箇所～流域出口までの距離（以下、出口までの距離）、上流の距離と出口までの距離の差である。谷に含まれる浸水箇所のみ谷の深さ、谷幅を計測した。すべての項目の抽出にArcGIS10を使用した。これらの項目を変数とした主成分分析を行なって、浸水箇所における地形・地理的特性を把握した。

主成分分析の結果、固有値が1以上となる主成分が低地では2つ、台地では3つ、台地上の谷では4つ抽出された。その累積寄与率は低地で76.62%、台地で84.56%、谷で85.57%であり、これらの主成分で浸水箇所における地形・地理的特性を捉えることは可能であると考えられた。低地・台地・谷の第1主成分は、集水域と距離の差の大きさを表す主成分である解釈され、主成分得点が大きくなるほど地表上の集水域が大きく、上流の距離と出口までの距離の差も大きいと考えられた。低地では、第1主成分はくぼ地の深さ・容積の大きさも表す主成分であり、主成分得点が大きくなるほどくぼ地の大きさが大きくなると考えられた。台地および谷の第2主成分・谷の第4主成分では、くぼ地の深さ・容積が大きな正の主成分負荷量を示していたため、この3主成分はくぼ地の大きさを表していると解釈された。くぼ地の深さ・容積以外にも、台地の第2主成分では集水域・被覆されている面積が、谷の第4主成分では出口までの距離が、ともに大きな正の主成分負荷量を示していた。低地の第2主成分・台地および谷の第3主成分は、共通して集水域の平均勾配、勾配の差が大きな正の主成分負荷量を示していた。よって、主成分得点が大きいほど集水域の平均勾配が大きく、出口までの勾配との差も大きいと解釈された。

本研究では、これらの主成分の主成分得点を浸水箇所および対象地域全体について計算し、浸水箇所の得点の最低値を超える地域を、地形・地理的特性からみて内水災害に対する危険性を抱える地域として評価した。

キーワード: 内水災害, 都市域, 地形・地理的特性, 主成分分析, GIS, 東京

Keywords: inside water inundation, urban area, topographical and geographical characteristics, principal component analysis, GIS, Tokyo

## 森林土壌の浸透能と透水性の関係について

### Investigating on the relationship between subsurface infiltration rate and hydraulic conductivity of forest soil

小松 義隆<sup>1\*</sup>, 恩田 裕一<sup>1</sup>, 小倉 晃<sup>2</sup>

KOMATSU, Yoshitaka<sup>1\*</sup>, ONDA, Yuichi<sup>1</sup>, Akira Ogura<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 筑波大学大学院生命環境科学研究科, <sup>2</sup> 石川県林業試験場

<sup>1</sup>Graduate school of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, <sup>2</sup>Ishikawa -Ken Forest Experiment Station

森林土壌の地表面付近の浸透に関する現象を把握するために、浸透能および地表面から0.1m程度までの透水係数に着目して、石川県全域において樹種および間伐施工年度の異なる38地点で人工降雨散水実験および土壌採取をおこなった。

散水実験結果を降雨強度と最終浸透能の関係式から算出した最大最終浸透能で評価すると、スギ林において142~562(mm/h)、アテ林において93~641(mm/h)といった所定の降雨強度よりも高い値が示された。飽和透水試験結果によると、表層から5cmで(スギ林:1~1651(mm/h)、アテ林:458~2170(mm/h))および、5cmから10cmで(スギ林:2~1799(mm/h)、アテ林:192~944(mm/h))といったように浸透能と同様に高い値が示された一方で、実験の最中には表面流の発生が確認された。表層から採取したサンプルの1点は難透水層のような小さな値を示したが、この地点の最大浸透能は300mm/h以上あり、植生は少ないがリターは堆積している地点であった。最大最終浸透能や飽和透水係数においては、間伐施業経過年による違いは確認されず、また各々の地点の条件となる斜面勾配や林床被覆物量や土壌特性値とも明瞭な関係は示されなかった。林床被覆物が雨滴衝撃を防ぐことで目詰まりを抑制したことで、最大最終浸透能は高い値を示したと考えられ、飽和透水係数についてもほぼ同様のことがいえると考えられる。森林土壌における雨水浸透現象は、表層土壌の透水性および林床被覆量や土壌特性値と関連性が小さい場合もあること、また樹種により林床被覆物が浸透能および透水性の差異を確認した。

キーワード: 浸透能, 飽和透水係数, 振動ノズル式散水装置, スギ林, アテ林

Keywords: Infiltration rate, Hydraulic conductivity, Oscillating nozzle rainfall simulator, Japanese cedar, Hiba arborvitae

## 中国華北平原白洋淀流域における地下水・地表水の交流関係 Interaction between Surface water and Groundwater in Baiyangdian Lake Watershed, North China Plain

榊原 厚一<sup>1\*</sup>, 辻村 真貴<sup>1</sup>, 宋 献方<sup>2</sup>, 張 杰<sup>1</sup>

SAKAKIBARA, Koichi<sup>1\*</sup>, TSUJIMURA, Maki<sup>1</sup>, Xian-fang Song<sup>2</sup>, Jie Zhang<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 筑波大学大学院生命環境科学研究科, <sup>2</sup> 中国科学院地理科学資源研究所

<sup>1</sup>Grad. Sch. Life Env. Sci., Univ. Tsukuba, <sup>2</sup>Ins. of Geo. Sci. and NRR, CAS

中国華北平原では、水資源を地下水に依存しており、近年の進展する工業化や人口増加による過剰揚水が主な原因として地下水位低下や水質悪化などの問題が顕在化している。また近年の研究の進歩により、地表水と地下水は水質・水量ともに相互作用していることが明らかになった。そのため持続可能な水利用を考えるうえで、水質の空間分布特性と地表水も含めた地下水の流動系を把握することは重要である。そこで本研究では、中国華北平原西部に位置する白洋淀流域を対象とし、水質の空間分布特性と地下水・地表水の交流関係を明らかにすることを目的に研究を行った。

白洋淀流域において、2011年6月に現地調査を行った。採取した水サンプルは実験室に持ち帰り、主要無機溶存イオンならびに水素・酸素安定同位体比を測定し分析を行った。さらに統計解析の手法を加えることで以下のことが明らかになった。

唐貯水池においては、ナトリウムイオンおよび硫酸イオン濃度が他の地表水に比較し、顕著に高いという水質特性がみられ、また白洋淀では水素・酸素安定同位体比が高く蒸発の影響を強く受けているという特徴がみられた。府河においては、硝酸イオン濃度が他のそれに比較し顕著に高いという特徴がみられた。以上のことから、各地表水は異なる水質形成プロセスからなっているものと考えられる。

さらに、水質および安定同位体組成の空間分布等に基づき、地表水と浅層地下水の交流について検討した結果、以下の特徴が明らかになった。すなわち、<sup>1)</sup> 唐貯水池地域では、唐貯水池により涵養された浅層地下水が北東方向へ流動しているものと考えられる、<sup>2)</sup> 白洋淀地域では、白洋淀の強い蒸発の影響を受けた水が浅層地下水を涵養しているものと判断される、<sup>3)</sup> 府河地域においては、唐貯水池や白洋淀地域に比較し、地下水と地表水の交流は卓越していないものと思われる。また府河地域において、深度300～400mの深層地下水から比較的高い硝酸イオン濃度が検出されたことから、浅層地下水と深層地下水の交流がある可能性が示唆されたが、今後のさらなるデータの収集が必要である。

キーワード: 華北平原, 地下水涵養, 水質形成, 安定同位体比, クラスタ分析

Keywords: North China Plain, recharge of groundwater, water quality formation, stable isotope, cluster analysis

## 山地流域におけるフロン類を用いた湧水の滞留時間と水の貯留量の推定 Age dating of spring water and estimation of water storage in mountainous watersheds using chlorofluorocarbons

吉澤 鮎美<sup>1\*</sup>, 辻村真貴<sup>1</sup>

YOSHIZAWA, Ayumi<sup>1\*</sup>, Maki Tsujimura<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 筑波大学大学院生命環境科学研究科

<sup>1</sup> Grad. Sch. Life Env. Sci., Univ. Tsukuba

資源としての地下水を持続的、かつ有効的に利用する際に、地下水流動系を質的・量的に把握することは重要であり、その指標となる滞留時間、貯留量は、有用な情報を提供する。しかし、従来の研究では、地質の異なった広範囲を対象とした地下水の滞留時間を推定した研究や、滞留時間とともに貯留量を推定した研究は少ない、というのが現状である。本研究では、フロン類を用いて滞留時間を推定し、涵養量と得られた滞留時間から水の貯留量を求め、その空間分布を示すことにより、山地流域における地下水流動系を明らかにすること、また地質条件などから地下水流動系を比較することを目的とした。本研究では、釜無川流域右岸側の甲斐駒型・鳳凰型花崗岩、第三紀層、古生層地域の湧水を対象に、2010年3月、4月、8月、11月の計4回、無機溶存成分、水素・酸素安定同位体比による水質分析を行い、フロン類を用いて湧水の滞留時間と水の貯留量を推定した。

湧水中のフロン類の濃度から滞留時間を推定したところ、完全混合モデルにより良好に再現されたことから、この地域の地下水は年代の異なる地下水の混合が生じやすい環境下にあるといえる。また、滞留時間は、甲斐駒型・鳳凰型花崗岩地域では約11～36年、第三紀層地域では約6～22年、古生層地域では約28～31年と見積もられ、第三紀層地域に比べ、花崗岩地域において滞留時間が長い傾向がみられた。

花崗岩地域では、水質や滞留時間の違いから、風化マサ部分の比較的浅い地下水による寄与が大きい流域と、未風化の硬い岩石中の節理や破碎体内を選択的に流動する地下水による寄与が大きい流域が存在すると考えられる。また、比較的流域面積が小さく滞留時間が長く推定された流域は、山体のより深部を流動する地下水の涵養域として機能している可能性があることが示唆される。一方、第三紀層地域では、未固結堆積物などの透水性のよい地質や不均質な構造により、大規模かつ流動の速い地下水流動系が示唆される。流域の水貯留量は $10^5 \sim 10^7 \text{ m}^3$  オーダーと推定され、花崗岩地域で高く、第三紀層地域で低い傾向がみられた。したがって、水源涵養能力は花崗岩地域で高く、第三紀層地域で低いものと考えられる。

キーワード: 地下水流動系, 滞留時間, フロン類 (CFCs), 貯留量

Keywords: groundwater flow system, residence time, chlorofluorocarbons (CFCs), water storage



## 3次元励起蛍光マトリクス法による堆積岩地域深部地下水の流動履歴評価 Flow history of deep groundwater in a sedimentary basin by fluorescence EEM spectroscopy

伊藤 由紀<sup>1\*</sup>, 宮川 公雄<sup>1</sup>

ITO, Yuki<sup>1\*</sup>, MIYAKAWA, Kimio<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(財)電力中央研究所

<sup>1</sup>CRIEPI

近年、深部地下水の温泉・工業用水としての利用が進んでおり、地盤や周辺環境に与える影響評価の観点から、また将来的な地下空間利用の観点から、流速の小さい深部地下水流動評価がますます重要となってきた。このような地下水流動の指標として、従来主要元素や同位体比等を用いた検討がなされてきたが、指標が多ければ多いほど、より正確な流動履歴が推定できると考えられる。著者らは既存の手法に加え、試料量や有機物量が少ない場合にも高感度で分析可能な3次元励起蛍光マトリクス(EEM)分光法に着目し、本研究では十勝堆積盆地東部の地下水を対象にEEM法を用いて溶存有機物の起源を調査した。地下水および地下水から分離したフミン酸(HA)とフルボ酸(FA)について、分光蛍光光度計にてEEMスペクトルを測定し、PARAFAC解析を行って得られた各成分の強度比について主成分分析を行ったところ、地下水は、土壌・泥炭起源HA様成分、地下微生物起源FA様成分、HA様成分の分解生成物と考えられる3つの端成分をもつ分布を示した。この有機物の性質の違いは地下水の胚胎する地層が陸成・海成かに依存しており、岩石との相互作用の結果を表わしている可能性がある。これらの結果は既存の主要元素・同位体比等を用いた地下水流動とも矛盾しないことから、有機物を含む深部地下水においては本手法を流動履歴評価に利用できると考えられた。

キーワード: 3次元励起蛍光, 堆積岩, 地下水流動, 溶存有機物, 腐植物質

Keywords: EEM spectroscopy, sedimentary rock, groundwater flow, DOM, Humic substances

## 長野県北部野尻湖の湖水位変動と人間生活への影響 Lake-level change history of Nojiriko and its impact to human society

井内 美郎<sup>1\*</sup>, 中村 祐貴<sup>1</sup>, 公文 富士夫<sup>2</sup>, 井上 卓彦<sup>3</sup>, 近藤 洋一<sup>4</sup>

INOUCHI, Yoshio<sup>1\*</sup>, NAKAMURA, Yuki<sup>1</sup>, KUMON, Fujio<sup>2</sup>, INOUE, Takahiko<sup>3</sup>, KONDO, Yoichi<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 早稲田大学人間科学部, <sup>2</sup> 信州大学理学部物質循環学科, <sup>3</sup> 産業技術総合研究所地質情報研究部門, <sup>4</sup> 野尻湖ナウマンゾウ博物館

<sup>1</sup>Faculty of Human Sciences, Waseda University, <sup>2</sup>Department of Environmental Sciences, Faculty of Science, Shinshu University, <sup>3</sup>National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Institute of Geology and Geoinform, <sup>4</sup>Nojiri-ko Museum

野尻湖は新潟県との県境に近い長野県上水内郡信濃町に位置する山岳湖沼で、その特有の位置のために日本海側気候の下にある湖沼や貯水池の気候変動に起因する水収支動向の予測を行う際のモデルフィールドとしての可能性を有している。また、野尻湖の湖底堆積物は頻繁（約千年間隔）にテフラを挟在し、それが音波探査記録の格好の反射面となっており、高い時間分解能を備えた記録復元が可能となっている。音波探査記録解析の結果、以下のことが中村他（今回報告）によって明らかにされている。1. 野尻湖では過去約4.5万年間に最大15m、8回の湖水位の上昇・下降があった。2. 湖水位は野尻湖内および地球規模のプロクシー（古環境指標）との比較によれば、急激な寒冷化イベント（Bond et al., 1997; Heinrich, 1988 など）発生時期に上昇傾向にある。3. 湖水位上昇の要因として、急激な寒冷化に伴う冬季モンスーンの強化による降雪量増加の可能性が高い。

以下では湖水位高度の変動速度に示される水収支の変化が人間生活に及ぼす影響について検討する。IPCC第四次報告書では今後100年間は「急激な寒冷化」を引き起こす海洋大循環の停止は考えにくいとされている。よって近未来に想定される現象は、現在問題とされている地球温暖化ということになる。野尻湖の研究結果（中村ほか, 2011）は、温暖化の進行に伴ってこの地域では夏季降水量の増加を上回る冬季降雪量の低下が生じ、水収支がマイナス側に偏り、その結果として湖水位が低下する可能性が高いことを示している。

野尻湖の湖水位変動で示される水収支の変化量は上昇期・下降期ともそれぞれ5mm弱/年である。このような変化でこの地域の水収支に顕著な影響が出るとは一見考えにくい。しかし、最近数十年間をとってみても各地で渇水が問題となっている。湖水位の異常低下や渇水は現在でも琵琶湖などで発生しており、今後平均的な年降水量がわずかでも減少すれば、特定の時期に渇水が生じる確率は確実に増えていくものと考えられる。今後日本海側の各地で降雪量が異常に減少することがあれば、各地の湖沼や貯水池において発電や水田耕作などの水利用に支障が生じる可能性もある。さらに、降雪量の低下は融雪期を早める効果があり、雪解け水に頼っている日本海側各地の田植え（代掻き）に影響を及ぼす可能性がある。すでに述べたように、降雪量の低下は徐々に進むわけではなく、大きな変動幅の中でたまたま降雪量がまれな低下を示した際に「異常渇水」として現れる可能性が高い。しかし、温暖化の進行とともにその頻度は増加してゆくと考えられる。

キーワード: 湖水位, 変遷史, 堆積物, 野尻湖

Keywords: lake-level, history, sediment, Lake Nojiri



## 窒素および硫黄安定同位体比による水質汚染源の特定 千葉県利根運河の例 - Nitrogen and sulfur isotope analyses of river water in the Northwestern Chiba Prefecture

村松 容一<sup>1\*</sup>, 福本 亜紀<sup>1</sup>, 千葉 仁<sup>2</sup>  
MURAMATSU, Yoichi<sup>1\*</sup>, FUKUMOTO, Aki<sup>1</sup>, CHIBA, Hitoshi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京理科大学理工学部教養科, <sup>2</sup> 岡山大学理学部地球科学科

<sup>1</sup>Faculty of Science and Technology, Tokyo University of Science, <sup>2</sup>Department of Earth Science, Okayama University

### 1. 目的

都市部における河川の硝酸態窒素汚染は主として生活雑排水と工業排水によってもたらされる。この窒素汚染源を特定する手段として、従来窒素安定同位体比が用いられているが、正確に特定できていない。利根運河の水質汚染は、江川と立山用水路から流入する生活雑排水と工業排水によってもたらされており、本研究では、両用水路における主成分と窒素・硫黄安定同位体比の特徴を把握し、これらの同位体比を併用することによって生活雑排水と工業排水の違いを明らかにすることを目的とした。

### 2. 試料採取および分析方法

利根運河3箇所、江川8箇所、立山11箇所で500mlポリエチレン容器に3本ずつ採水し、現地にてpH、水温、水深、電気伝導度を測定した。全リン、全窒素はモリブデン青吸光度法、主要イオンはイオンクロマトグラフィとHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>-硫酸酸性標準溶液による滴定法、窒素・硫黄安定同位体比は安定同位体比質量分析計でそれぞれ分析した。

### 3. 結果および考察

土地利用形態によれば、江川周辺には梅郷団地という大きな住宅街、立山用水路周辺には野田南部工業団地・野田工業団地がそれぞれ広がっており、江川と立山用水路の水質汚染は生活雑排水と工業排水によってそれぞれもたらされていると考えられる。両用水路の大まかな水質汚染の現状を掴むため、主成分分析を行った結果、立山のSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、Cl<sup>-</sup>、Na<sup>+</sup>イオン濃度は江川に比べて2~3倍高いが、両用水路でNO<sub>3</sub><sup>-</sup>イオン濃度の差は認められなかった。

利根運河の汚染源である生活雑排水と工業排水の窒素・硫黄安定同位体比を分析した結果を表1に示す。生活雑排水(洗剤を除く)は窒素安定同位体比+12.6‰以上、硫黄安定同位体比+5.8‰以上を示す。江川の水質汚染は生活雑排水(洗剤を除く)と生活雑排水(台所洗剤)がさまざまな割合で混合することによってもたらされている。主成分のNa<sup>+</sup>とCl<sup>-</sup>濃度はこの結果を支持している。

次に、工業排水は2種類存在し、工業排水Aは窒素安定同位体比+11.5‰、硫黄安定同位体比-1.0‰、工業排水Bは窒素安定同位体比+6.4‰、硫黄安定同位体比-0.5‰をそれぞれ示す。立山の水質汚染はこれらの両工業排水によってもたらされているが、上流域と下流域では住宅地(理科大学方面を含む)からの生活雑排水の影響を受けている。

キーワード: 窒素汚染, 窒素安定同位体比, 硫黄安定同位体比, 河川水, 利根運河

Keywords: nitrogen pollution, nitrogen isotope, sulfur isotope, river water, Tone canal

## 群馬県榛名山周辺に分布する温泉の流動機構と水質形成機構 Flow system and hydrochemistry of hot springs around Mt.Haruna, Central Japan.

片山 秀雄<sup>1\*</sup>, 村松 容一<sup>2</sup>, 千葉 仁<sup>3</sup>, 奥村 文章<sup>4</sup>

KATAYAMA, Hideo<sup>1\*</sup>, MURAMATSU, Yoichi<sup>2</sup>, CHIBA, Hitoshi<sup>3</sup>, OKUMURA, Fumiaki<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 東理大・科教研, <sup>2</sup> 東理大・理工, <sup>3</sup> 岡山大・理, <sup>4</sup> 石油資源開発

<sup>1</sup>Gra.Sch.Sci.Edu., Tokyo Univ.Sci., <sup>2</sup>Fac.Sci.and Tech., Tokyo Univ.Sci., <sup>3</sup>Fac.Sci., Okayama Univ., <sup>4</sup>Japex

1. 目的 温泉は地域振興など重要な役割を果たしている。温泉の新規開発、維持・管理を行う上で、温泉水の流動機構、水質形成機構を解明することは不可欠である。群馬県の北部には火山性温泉が多数存在する。このうち、武尊山や草津白根山周辺の温泉(谷川、水上、草津など)を対象とした成因的研究は多数報告されているが(酒井,1989)、榛名山周辺の温泉については研究数も少なく、化学的特徴(群馬県温泉協会,2008)に止まっている。本研究では、この地域を対象に温泉水及び湧水を採水・分析し、得られた結果をもとに温泉水の流動機構、水質形成機構を解明する。さらに、水-鉱物相互作用の化学平衡論によって検証する。

2. 研究方法 温泉水(深度200~1400m)16カ所、湧水7カ所の計23カ所を採水した。pH、電気伝導度、温度を現地にて測定した後、ポリエチレン容器に採水し実験室に持ち帰り分析を行った。主成分の測定は、イオンクロマトグラフィー(Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, F<sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)、原子吸光光度法(K<sup>+</sup>, Fe)、分光光度法(Al<sup>3+</sup>, Si<sup>4+</sup>, B)、硫酸酸性標準溶液の滴定(HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)を使用した。また、質量分析計を使用し、水素・酸素安定同位体比(<sup>2</sup>D, <sup>18</sup>O)を全試料、硫黄安定同位体比(<sup>34</sup>S)を10試料測定した。さらに、鉱物の飽和指数の計算は、水-鉱物平衡計算プログラム SOLVEQ(Reed, 1982)を用いた。

3. 結果と考察 水温は13.1~56.6℃、pHは5.8~8.3である。Na<sup>+</sup>とCl<sup>-</sup>濃度の関係は海水と天水を結ぶ混合線上にあることから、温泉水及び湧水は両者の混合によって形成されたと考えられ、海水混合比は殆どが天水に極めて卓越することを示唆する。この地域で最もCl<sup>-</sup>濃度(13393mg/L)の高い相間川温泉は、現海水に比べMg<sup>2+</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の濃度に著しく乏しいことより、この海水は化石海水である。温泉水の<sup>2</sup>Dと<sup>18</sup>Oの関係は、世界の天水線(<sup>2</sup>D=8<sup>18</sup>O+101))上に分布することから、水の起源は天水であることがわかる。ただし、相間川温泉の<sup>18</sup>Oは天水線のプラス側にシフトしており、鉱物との同位体交換反応が行われたことを示唆する。

温泉水の大部分は天水に起源を持つことから、同位体の高度効果を利用して天水の涵養標高を推定した。高度効果の算出には標高368~1096mで採取した湧水7カ所における<sup>18</sup>O値を使用した。この結果、7カ所中6カ所で相関が認められ、標高と<sup>18</sup>Oの関係は式(1)に示す通りである。

$$\text{標高 (m)} = -80.8 \times \text{<sup>18</sup>O (‰)} - 4432.9 \text{ (m)} \quad (1)$$

ここで、海水混合比0.00から海水の影響を全く受けていないと思われる温泉水の<sup>18</sup>Oを式(1)に代入すると、涵養標高はほとんどが750m以上となった。これより、榛名山周辺の温泉水は榛名山の上部で涵養した天水により構成されていると考えられる。

温泉水に含まれるSO<sub>4</sub>の<sup>34</sup>Sは10カ所中8カ所で+17.1‰~+25.8‰を示し、硬石膏(CaSO<sub>4</sub>, 約+20.0‰)に近いことから、Ca<sup>2+</sup>とSO<sub>4</sub>の濃度は硬石膏の溶解に規制される。他の2ヶ所では+11.1‰、+12.4‰と低い値を示した。これについては、火山ガスの影響が考えられるが、詳しくは今後の課題である。

### 参考文献

- 1) 松葉谷ほか、温泉科学、第36巻、第1号、1-11(1985)

キーワード: 榛名山, 温泉, 水-鉱物相互作用

Keywords: Mt.Haruna, hot spring, water-rock interaction

## 山梨県における非火山性温泉の形成機構

## Hydrochemical study of non-volcanic hot springs in Yamanashi Prefecture, Central Japan.

谷口 無我<sup>1\*</sup>, 村松 容一<sup>2</sup>, 千葉 仁<sup>3</sup>, 奥村 文章<sup>4</sup>MUGA, YAGUCHI,<sup>1\*</sup> MURAMATSU, Yoichi<sup>2</sup>, CHIBA, Hitoshi<sup>3</sup>, OKUMURA, Fumiaki<sup>4</sup><sup>1</sup> 東理大・科教研, <sup>2</sup> 東理大・理工, <sup>3</sup> 岡山大・理, <sup>4</sup> 石油資源開発<sup>1</sup>Gra.Sch.Sci.Edu., Tokyo Univ.Sci., <sup>2</sup>Fac.Sci.and Tech., Tokyo Univ.Sci., <sup>3</sup>Fac.Sci., Okayama Univ., <sup>4</sup>Japex

[目的] 我が国における温泉は、地域振興や福祉など重要な役割を果たしている。近年、掘削技術の進歩に伴って非火山性地域での温泉開発が容易になったことも一因となり、1890年頃には数カ所とかつて温泉資源に乏しいとされてきた山梨県下にも、現在では431本の源泉が広く分布するようになった。これらの温泉についてはこれまでに地域別の泉質の特徴などについて多くの研究がなされている(例えば、相川、1995)が、泉質形成機構や流動機構を詳細に検討した例は少ない。温泉資源の保護や環境保全、新たな温泉の開発には降水の涵養機構や温泉水の泉質形成機構の解明が不可欠である。そこで本研究では非火山性の温泉水を採取し分析するとともに、水-鉱物相互作用の化学平衡論によって検証し、温泉水の起源、涵養機構、泉質形成機構を考察することを目的とした。

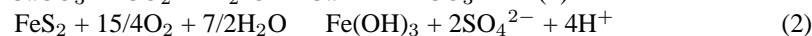
[方法] 試料水の採取は地下水・湧水を含め60カ所で行われ、温度、pH、電気伝導度は現地にて測定した。主要な陰イオン・陽イオンの分析にはイオンクロマトグラフ法、Siはモリブデン黄法、AlはECR法、Feは原子吸光光度法、またHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度はpH4.8アルカリ度から換算した。水素安定同位体比(<sup>2</sup>D)、酸素安定同位体比(<sup>18</sup>O)、硫黄安定同位体比(<sup>34</sup>S)の測定には安定同位体質量分析計を使用した。岩石片の分析にはXRD法、方解石の同定には塩酸添加を使用し、鉱物の飽和指数は水-鉱物平衡計算プログラムSOLVEQ(Reed,1982)を用いた。

[結果・考察] 温泉水(地下水等含む)の温度は、5.9~48.8℃、pHは6.4~10.2であった。泉質は浅部では殆どがCa-HCO<sub>3</sub>-型に属す。深部の温泉水は対象地域を甲府盆地囲む山系に基づき3分割すると、関東山地南部にあたる山梨県東部ではNa-HCO<sub>3</sub>-型、富士山北麓にあたる県南部でCa-SO<sub>4</sub>-型、糸魚川-静岡構造線に近い西部(盆地部を含む)でNa-Cl型が特徴的な泉質であった。

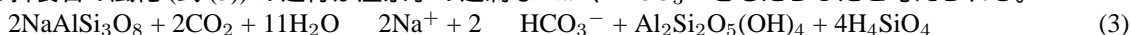
温泉水のNa<sup>+</sup>とCl<sup>-</sup>濃度の関係は降水と海水を結び混合線上にあることから、温泉水は降水と海水を端成分とする両者の混合によって形成され、Cl<sup>-</sup>イオンを指標とした海水混合比は殆どの温泉水で降水に卓越することを示唆する。高塩化物泉は現在の海水と比較して著しくMg<sup>2+</sup>とSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>を欠き、Ca<sup>2+</sup>に富むことから、化石海水であることが示唆され、これらを除く殆どの温泉水の<sup>2</sup>D値、<sup>18</sup>O値が天水線(Craig, 1961)付近に分布する。

県東部では<sup>18</sup>Oの高度効果を利用して降水の涵養標高を見積もった結果、当該地域では標高1000m程度の花崗岩類の縁辺部で涵養されたと予想された。

温泉水に含まれる各種成分のうち海水起源の成分量を差し引いた過剰な成分量を値とすると、浅部のCa-HCO<sub>3</sub>型泉では地域に関らずCa<sup>2+</sup>とHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>に正相関が認められる。これらの温泉水の方解石に対する飽和指数を計算した結果、温泉水はこの鉱物に対して不飽和ないし飽和な状態であることから、方解石の溶解(式(1))が泉質形成の主因となったと考えられる。このうち、-14.4~-4.1‰と比較的軽い<sup>34</sup>S値を示す温泉水が湧出する周辺地層にはいずれも黄鉄鉱が存在しており、地表近くでの酸素の供給が黄鉄鉱の酸化を進行させていると考えられる(式(2))。



深部の温泉水の泉質形成機構を検討すると、Na-HCO<sub>3</sub>型泉(一部のNa-Cl型泉、Ca-SO<sub>4</sub>型泉を含む)では、Na<sup>+</sup>=HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>の関係にある。これらの温泉水はカオリナイトに対して飽和ないし過飽和な状態であったことから、Naに富む斜長石の風化(式(3))の進行が温泉水の過剰なNa<sup>+</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>をもたらしたと考えられる。



Ca-SO<sub>4</sub>型泉(一部のNa-Cl型泉を含む)ではCa<sup>2+</sup>=SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の関係にあること、硬石膏に対して不飽和であることから、硬石膏の溶解が温泉水の泉質形成の主因になっていると考えられる。これらの温泉水の<sup>34</sup>S値は8.2~20.7‰であり、高い<sup>34</sup>S値は丹沢山地のグリーンタフ中の硬石膏(20.0‰; 村松, 2010)と同程度であった。<sup>34</sup>S値は富士山に近いほど低い値を示す傾向があり、富士山近傍ではH<sub>2</sub>Sガスの酸化に由来する軽い<sup>34</sup>S値を持つSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>が硬石膏の生成に関与したと考えられる。

Na-Cl型泉の形成には化石海水が寄与していると考えられるが、Mg<sup>2+</sup>の減少量と(Ca<sup>2+</sup>+SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)増加量に明瞭な相関があることから、ここでの化石海水は、玄武岩質母岩の熱水変質に伴うMg<sup>2+</sup>の固定とCa<sup>2+</sup>の溶出、硬石膏の沈殿によるSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の固定などによって現在の海水と異なる組成へと変化したと考えられる。

キーワード: 山梨, 温泉, 非火山性, 水-鉱物相互作用

# Japan Geoscience Union Meeting 2012

(May 20-25 2012 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2012. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



AHW29-P14

会場:コンベンションホール

時間:5月21日 13:45-15:15

Keywords: Yamanashi, hot spring, non-volcanic, water-rock interaction



## 糸魚川 静岡構造線活断層系・松本盆地東断層周辺に分布する温泉の水質形成機構の解明

### Hydrochemistry and isotopic composition of hot springs the East Matsumoto Basin Faults, Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line

村松 容一<sup>1</sup>, 山野 恭<sup>1\*</sup>, 千葉 仁<sup>2</sup>, 奥村 文章<sup>3</sup>

MURAMATSU, Yoichi<sup>1</sup>, YAMANO, takashi<sup>1\*</sup>, CHIBA, Hitoshi<sup>2</sup>, Okumura fumiaki<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東京理科大学理工学部, <sup>2</sup> 岡山大学理工学部, <sup>3</sup> 石油資源開発株式会社技術研究所

<sup>1</sup>Faculty of Science and Technology, <sup>2</sup>Faculty of Science, Okayama, <sup>3</sup>Japan Petroleum Exploration Co.,Ltd.

【目的】東日本大震災後に活発化したとされる長野県松本西縁部に位置する牛伏寺断層に着目した。本研究では、糸魚川静岡構造線断層帯に沿って存在する温泉と牛伏寺断層に周辺に存在する温泉を対象に主化学成分、酸素・水素安定同位体比 ( $D \cdot 18O$ ), 硫黄安定同位体比 ( $34S$ ) を分析するとともに、水 - 鉱物相互作用の化学平衡計算を実施し、水質形成機構を考察する。

【方法】長野県松本市西部、諏訪湖周辺、牛伏寺断層周辺の温泉施設 11 箇所にて 2011 年 9 月に採水を行った。pH, 電気伝導度, 温度は現地にて測定した。主要な陽・陰イオン分析にはイオンクロマトグラフ, Si はモリブデン黄法, Al は ECR 法, B はカルミン法, Fe と K は原子吸光度法をそれぞれ使用し, また  $D$ ,  $18O$ ,  $34S$  分析には安定同位体質量分析計を使用した。さらに, の掘削時に回収された岩石片の構成鉱物を, X 線粉末回折法 (XRD) で同定した。

【結果・考察】温泉水の温度は 12.5 ~ 59.5 °C, pH は 2.53 ~ 9.02 である。温泉水の  $Na^+$  と  $Cl^-$  濃度の関係は降水と海水を結ぶ混合線上のほぼ  $Na$ -rich であるものの, 温泉水及び湧水は両者の混合によって形成されたと考えられる。その海水混合比は 0.1 程度であり, 天水に極めて卓越する。 $18O$  と  $D$  値の関係によれば, 殆どの温泉水は天水線 ( $D=8 \cdot 18O+10$ ) に沿って分布する。本地域の温泉水は降水と化石海水が混合したものと考えられるが,  $18O$  値と  $Cl$  濃度の関係によれば, 海水と降水の混合線上にプロットされず,  $18O$  値は若干軽い側へシフトする。このような例は新潟水溶性ガス田 (加藤・梶原, 1986) で認められており, 温泉貯留層周辺の岩石の変質によってもたらされたと考えられる。

$18O$  と  $D$  値の関係において, 天水線 ( $D=8 \cdot 18O+10$ ) にのらない例外として, 毒沢鉱泉の  $18O$  値は天水線のプラス側にシフトしており, 鉱物との同位体交換反応が進んでいると考えられる。

温泉水に含まれる化学成分のうち海水起源の成分量を差し引いた値をとすると,  $Na^+$  と  $HCO_3^-$  間に正の相関が認められる。これらの温泉水のカオリナイトに対する活動度積を計算した結果によれば, この鉱物に対して過飽和状態にあることから,  $Na$  に富む斜長石 ( $NaAlSi_3O_8$ ) の風化に伴ってカオリナイトが生成することによって  $Na^+$  と  $HCO_3^-$  濃度が規制されている。この推論は, 天徳温泉の地下に斜長石, が広く分布していること, 及び温泉水のこの鉱物に対する飽和指数が過飽和を示すことと整合する。 $34S$  値は - 7.1 ~ + 19.6 % であり, 大きな変動幅をもつ。硬石膏の  $34S$  値は + 10 ~ + 20 % 程度とされていることから,  $34S$  値が + 11.9 ~ + 19.6 % である温泉水の  $SO_4^{2-}$  は硬石膏の溶解によってもたらされたと判断される。黄鉄鉱  $34S$  値は 10 % 以下であることから,  $34S$  値が + 1.2 ~ 3.0 % である温泉においては, 黄鉄鉱の溶解によって持たされたと考えられる。以上の結果から, 泉質の形成には, 主として黄鉄鉱, 硬石膏の溶解, 斜長石の風化がそれぞれ寄与している。

キーワード: 糸魚川 - 静岡構造線断層系, 温泉水

Keywords: Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line Active Fault System, hot springs