



## 兵庫県千種川の河川水の水素・酸素同位体比の特徴 (2015年度)

山本, 雄大 ; 陀安, 一郎 ; 中野, 孝教 ; 藪崎, 志穂 ; 横山, 正 ; 三橋, 弘  
宗 ; 大串, 健一 ; 伊藤, 真之 ; 蛭名, 邦禎

---

### (Citation)

神戸大学大学院人間発達環境学研究科研究紀要, 11(1):105-109

### (Issue Date)

2017-09-30

### (Resource Type)

departmental bulletin paper

### (Version)

Version of Record

### (JaLCD01)

<https://doi.org/10.24546/81010027>

### (URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/81010027>



## 兵庫県千種川の河川水の水素・酸素同位体比の特徴（2015年度）

Characteristics of stable isotopes in stream water at the Chikusa River,  
Hyogo Prefecture, in 2015山本 雄大\* 陀安 一郎\*\* 中野 孝教\*\* 藪崎 志穂\*\* 横山 正\*\*\*  
三橋 弘宗\*\*\*\* 大串 健一\*\*\*\*\* 伊藤 真之\*\*\*\*\* 蛭名 邦禎\*\*\*\*\*Yudai YAMAMOTO\* Ichiro TAYASU\*\* Takanori NAKANO\*\* Shiho YABUSAKI\*\*  
Tadashi YOKOYAMA\*\*\* Hiromune MITSUHASHI\*\*\*\* Ken'ichi OHKUSHI\*\*\*\*\*  
Masayuki ITO\*\*\*\*\* Kuniyoshi EBINA\*\*\*\*\*

**要約：**兵庫県西部を流れる千種川は清流として知られる一方、しばしば大雨による河川氾濫が発生している。2016年まで、災害防止の目的で河川整備工事が行われたが、工事による河川環境の変化や河川生態系への影響が懸念されている。本研究では千種川の水循環や人為改変の環境影響評価の研究に必要な基礎データを得ることを目的として、2015年8月9日に採取された河川水試料83点について、水の水素・酸素同位体比を分析した。分析の結果は地理情報システム（GIS）により流域地図にマッピングした。結果として、千種川流域では、水素・酸素同位体比ともに上流部で低い値を示し、主要支流の佐用川や、千種川下流に流入する支流では高い値を示した。また、上流～中流では高度効果の影響を受けた降水の寄与がみられており、千種川流域全体で蒸発の影響が大きいことが推測される。

## 1. はじめに

千種川は、兵庫県西部を流域圏とする、流域面積754km<sup>2</sup>、幹川河川延長67.636kmの二級河川である（兵庫県, 2012）。本河川は、宍粟市千種町の江浪峠（標高1098m）付近を水源とし、佐用町、上郡町を経由し、相生市を水源とする支流を合流させた後、最下流の赤穂市で播磨灘に注いでいる。また本河川は清流として知られており、1985年には本河川が日本名水百選に選定されている。その一方で、千種川流域では、2009年8月の台風9号による豪雨災害をはじめ、しばしば大雨による河川氾濫が発生している。そのため、2009年の災害以降、河川流下能力の向上による水害の防止軽減を目的とした、河道拡幅、河床掘削、築堤などの河川整備工事が、主に中流域にて進められ（兵庫県, 2012）、2016年に完了した。この工事によって、千種川は中流域を中心に、水深が浅く河道の広い河川となったが、この形状変化により、河川水質、水温といった河川環境の変化や、それによる千種川生態系への影響が懸念されている。

その影響を科学的に評価するために必要な基礎データの1つとして、河川水の水素・酸素安定同位体比（以下、水同位体比と表記）が挙げられる。水同位体比は、水の相変化によって変化するため、河川水の水同位体比を分析することで、河川や流域からの水の蒸発の影響を考えることができる。また、河川への地下水、土壌水、降水の流入・混合程度を求めるためのトレーサーや、流域における水の輸送経路の把握など、水文学的特徴の把握に、水同

位体比を用いることができる（大手, 2008）。このことから、河川における水同位体比の分析は、流域単位における水循環の研究に資するものであり、河川水中に含まれる物質の循環を解明するために重要なことであるといえる。

2015年より、千種川圏域清流づくり委員会、神戸大学、総合地球環境学研究所、兵庫県立大学との共同研究プロジェクトとして、千種川流域住民との協働で得られた水試料の分析を行っている。本稿では、千種川流域における水循環の研究を目的に、2015年8月に行われた「千種川一斉水温調査」で得られた水試料83点（図1）について、水同位体比を測定し、それを流域地図にマッピングした結果を報告する。なお、千種川流域圏の特徴および一斉水温調査については、大串ほか（2017）を参照されたい。

## 2. 研究手法

2015年8月9日の13時～16時に行われた千種川一斉水温調査の際に、本流の源流部から河口部および多くの支流において、流域住民の手によって250mLの水試料が採取された。この試料を、現地で当日中に孔径0.2μmのADVANTEC社製シリンジフィルター（25CS020AN）を用いてろ過し、6mLスクリュウ管瓶1本に、空気が入らないよう一杯に水試料を入れて密閉し、これを水同位体比分析用試料とし、常温保管した。水同位体比の分析は、2015年10月6日～7日および2017年1月30日～31日に、総合地球環境学研究所所有の水同位体分析装置L2120-i, L2130-i（Picarro社製）

\* 名古屋大学大学院環境学研究科（投稿時の所属：神戸大学発達科学部人間環境学科）

\*\* 総合地球環境学研究所研究基盤国際センター

\*\*\* 兵庫県立赤穂特別支援学校

\*\*\*\* 兵庫県立大学自然・環境科学研究所

\*\*\*\*\* 神戸大学大学院人間発達環境学研究科

（2017年3月31日 受付）  
（2017年3月31日 受理）

を用いて、波長スキャンキャビティリングダウン分光 (WS-CRDS) 法によって行った。河川水試料と、標準試料、測定ブランク (超純水) をそれぞれガラス製のスクリュバイアルに約1.5 mL ずつ分注し、セプタムを被せて蓋を閉め、装置にセットした。なお、測定は各試料6回ずつ行い、複数の適切な測定データを選択し、その平均値をその試料の同位体比と定めた。

## 2. 1. WS-CRDS 法の原理

本研究において、水同位体比分析で用いた WS-CRDS 法について、原理を簡単に説明する。

気体分子は近赤外領域に固有の吸収線を持つため、その波長光が気体中を通過する際の減衰程度を測定すると、以下の Beer-Lambert 式を用いて気体のモル濃度  $c$  を求めることができる。

$$-\log(I/I_0) = \epsilon c l$$

ここで、 $I$ : 透過後の光強度、 $I_0$ : 透過前の光強度、 $\epsilon$ : 吸光係数、 $l$ : 光路長である。

水の酸素・水素同位体比の測定では、試料水を気化し、求めた各気体分子のモル濃度を用いて、以下の式から同位体比  $R$  を算出することができる。

$$R_{18} = [H_2^{18}O] / [H_2^{16}O]$$

$$R_H = [^1H^2H^{16}O] / [^1H_2^{16}O]$$

ここで、 $[ ]$  はモル濃度である。

気体濃度が高いほど、透過光の減衰が早い (山中・恩田, 2011) ため、減衰時間の差から、水サンプル中の水素・酸素同位体比を分析することができる。しかし、 $^2H$  や  $^{18}O$  濃度は低いので光吸収が小さく、 $l$  が入射光強度  $I_0$  のふたつきよりも小さくなり、測定精度が落ちてしまう (中野・川崎, 2004)。そこで、今回用いた装置では、キャビティ内において、高反射率のミラーを3枚用いてレーザー光を繰り返し反射させている。この方法で光路長  $l$  を長くとると、光の吸収や散乱のわずかな違いが拡大され、測定精度を向上することができる (Crosson, 2008)。

なお、原理の詳細に関しては、前掲した山中・恩田の論文を参照されたい。

## 2. 2. 同位体比の表記と標準試料に関して

本報告中では、水素・酸素同位体比を、下式において定義される  $\delta$  値を用いて表記する。

$$\delta = (R_{\text{sample}} / R_{\text{standard}}) - 1$$

ここで、 $R$  は同位体比である (水素同位体比の場合:  $^2H / ^1H$ , 酸素同位体比の場合:  $^{18}O / ^{16}O$ )。  $\delta$  の値は小さいので、通常1000分率 (‰) で表現される。

なお、本研究では standard を VSMOW (標準平均海水) とし、同位体比既知の、Los Gatos Research 社のワーキングスタンダード #3C, #4C, #5C を用いて分析を行った。なお、分析精度は  $\delta^{18}O$  で  $\pm 0.03\text{‰}$ ,  $\delta^2H$  で  $\pm 0.1\text{‰}$  である。

## 3. 分析結果・考察

以下に、水素同位体比、酸素同位体比それぞれの分析結果を示す。得られた結果は ArcGIS により流域地図にプロットした。なお、分析結果を流域地図にマッピングしたものは図2 (水素同位体比)、図3 (酸素同位体比) を、各地点の数値は表1をそれぞれ参照されたい。

### 3. 1. 水素同位体比 ( $\delta^2H$ )

最高値は  $-46.33\text{‰}$  (CKS93)、最低値は  $-55.64\text{‰}$  (CKS02)、平均値は  $-51.23\text{‰}$  であった。千種川本流および主要支流である佐用川、志文川のそれぞれ上流部で低い値を示す一方、佐用川に流入する支流や、千種川下流に流入する支流 (特に矢野川、高田川) では高い値がみられた。

### 3. 2. 酸素同位体比 ( $\delta^{18}O$ )

最高値は  $-6.46\text{‰}$  (CKS64)、最低値は  $-9.12\text{‰}$  (CKS01)、平均値は  $-7.85\text{‰}$  であった。水素同位体比の結果と概ね似たような傾向を示した。

### 3. 3. 高度効果

図4は、千種川流域の標高を示す。降水の水同位体比の変化をもたらすものの1つとして、高度効果 (altitude effect) がある (Clark and Fritz, 1997)。これは、水蒸気が凝結する際、レイリー過程に従い、重い安定同位体を含む水分子が優先的に凝結し、軽い安定同位体を含む水分子が気相に留まる (藪崎, 2010) ため、標高の低い地点では降水の同位体比が高くなり、標高が上がるにつれて降水の同位体比が低くなるものである。一方、中流～下流においては標高と水同位体比の間に明瞭な相関が見られず、この地域における水同位体比は標高以外の影響を受けていると推測される。

### 3. 4. $\delta$ -ダイヤグラム

図5は、酸素同位体比を横軸に、水素同位体比を縦軸にとり、各地点の値をプロットしたもの (以下、 $\delta$ -ダイヤグラムと表記) である。

天水の  $\delta^{18}O$  と  $\delta^2H$  は、多くの地点で天水線  $\delta^2H = 8\delta^{18}O + 10(\text{‰})$  上にプロットされる (Craig, 1961)。天水とは天から降ってくる水のことであり、降水、河川水、地下水、湖沼水の総称である。河川水は降水を主な起源としているため、千種川の水同位体比も天水線に近い回帰直線が得られることが期待される。しかし、本分析の結果における回帰直線の式は  $\delta^2H = 3.575\delta^{18}O - 23.155(\text{‰})$  となり、天水線と比べて直線の傾きが非常に小さいものとなった。Craig (1961) は、同位体の関係が蒸発によって支配される閉鎖的水域において、回帰直線の傾きは5程度になると報告しているが、本分析での値はそれよりも小さい。このことから、千種川における河川水の水同位体比は、蒸発の影響を強く受けているものと考えられる。一方、天水線に沿うようにプロットされている地点も存在することから、本流域内においても地点によって蒸発の影響の度合いが異なることが示唆される。こうした特徴については、今後、他の年度に採取した水試料の水同位体比の分布を検討することで、より詳細に把握できると期待される。

## 4. まとめ・今後の課題

本研究では、2015年8月9日に、千種川流域83地点において採

取した水試料について、水同位体比を分析し、その結果を流域地図にマッピングすることで、千種川流域における水同位体比の面的特徴を把握することができた。また、分析結果を用いたδ-ダイヤグラムの作成や、マッピング結果と標高データの比較を通じて、水同位体比の変化の要因に関する推測を行った。今後は、本分析の結果と、溶存イオン濃度、水温、土地利用などの要素との関連についての考察を行うとともに、2016年に採取した試料についても分析、考察を行うことで、千種川流域における水循環の研究をさらに進めていく予定である。

## 5. 謝辞

一斉水温調査の際、水試料の採取にご協力下さった流域住民の皆様、および水同位体比分析にご協力下さった総合地球環境学研究所の申 基澈博士、太田民久博士、草野由貴子博士、神戸大学元学生の野村麻衣さんに心より御礼申し上げます。

本研究は、総合地球環境学研究所の同位体環境学共同研究事業ならびに平成28年度神戸大学教育研究活性化支援経費（地域貢献推進事業）により実施された。

## 6. 文献

- Clark, I. and Fritz, P. (1997) : Environmental isotopes in hydrogeology, Lewis Publishers, 328p.
- Craig, H. (1961) : Isotopic Variations in Meteoric Waters, Science, 133, 3465, pp. 1702-1703.
- Crosson, E. R. (2008) : A cavity ring-down analyzer for measuring atmospheric levels of methane, carbon dioxide, and water vapor, Applied Physics B, 92, 3, pp. 403-408.
- 兵庫県 (2012) : 千種川水系河川整備計画, 81p.  
<https://web.pref.hyogo.lg.jp/ks13/documents/152kchigusa.pdf>,  
 (参照: 2016-11-14).
- 中野幸夫・川崎昌博 (2004) : これまでにない超高感度な光吸収分光ーキャビティーリングダウン分光法, 化学, 59, 1, pp. 78-79.
- 大串健一・中野孝教・陀安一郎・横山正・三橋弘宗・山本雄大・伊藤真之・蛭名邦禎 (2017) : 千種川の水環境に関する共同研究プロジェクトの予察的報告, 神戸大学大学院人間発達環境学研究科研究紀要, 10, 2.
- 大手信人 (2008) : 水の同位体比を利用した水循環の評価, 流域環境評価と安定同位体ー水循環から生態系まで, 永田俊・宮島利宏編, 京都大学学術出版会, pp. 33-55.
- 藪崎志穂 (2010) : 埼玉県熊谷市の降水の酸素・水素同位体比の特徴, 地球環境研究, 12, pp. 121-125.
- 山中勤・恩田裕一 (2011) : 波長スキャンキャビティリングダウン分光法を用いた水同位体分析計の測定精度について, 筑波大学陸域環境研究センター報告, 12, pp. 31-40.

表 1. 地点ごとの分析結果. 空欄の地点は本研究において分析を行っていない点.

| 地点番号    | $\delta^{18}\text{O}$ (‰) | $\delta^2\text{H}$ (‰) | 地点番号  | $\delta^{18}\text{O}$ (‰) | $\delta^2\text{H}$ (‰) |
|---------|---------------------------|------------------------|-------|---------------------------|------------------------|
| CKS01   | -9.12                     | -55.41                 | CKS48 |                           |                        |
| CKS02   | -9.04                     | -55.64                 | CKS49 | -7.09                     | -48.81                 |
| CKS03   | -8.91                     | -55.07                 | CKS50 | -7.30                     | -49.67                 |
| CKS04   | -8.78                     | -54.07                 | CKS51 | -7.49                     | -50.48                 |
| CKS05   | -8.89                     | -53.94                 | CKS52 | -8.16                     | -55.26                 |
| CKS06   | -8.60                     | -53.44                 | CKS53 | -7.90                     | -51.13                 |
| CKS07   | -8.56                     | -53.36                 | CKS54 | -7.62                     | -51.28                 |
| CKS08   | -8.28                     | -52.48                 | CKS55 | -8.19                     | -54.81                 |
| CKS09   | -8.44                     | -53.22                 | CKS56 | -7.04                     | -47.48                 |
| CKS10   |                           |                        | CKS57 | -7.19                     | -47.87                 |
| CKS11   | -8.14                     | -51.08                 | CKS58 | -7.15                     | -47.64                 |
| CKS12   | -8.32                     | -52.48                 | CKS59 | -7.65                     | -49.64                 |
| CKS13   | -8.41                     | -52.79                 | CKS60 | -7.83                     | -50.15                 |
| CKS14   | -8.37                     | -52.67                 | CKS61 | -7.97                     | -51.93                 |
| CKS15   |                           |                        | CKS62 | -7.27                     | -48.98                 |
| CKS16   | -8.31                     | -52.49                 | CKS63 |                           |                        |
| CKS17   | -7.61                     | -50.64                 | CKS64 | -6.46                     | -46.69                 |
| CKS18-1 |                           |                        | CKS65 | -7.65                     | -49.92                 |
| CKS18-2 | -7.64                     | -50.79                 | CKS66 | -7.00                     | -47.38                 |
| CKS19   | -7.75                     | -51.04                 | CKS67 | -7.06                     | -48.46                 |
| CKS21   | -7.66                     | -50.86                 | CKS68 | -7.34                     | -48.72                 |
| CKS22   | -7.87                     | -50.85                 | CKS69 | -7.83                     | -50.52                 |
| CKS24-1 |                           |                        | CKS70 | -7.71                     | -50.27                 |
| CKS24-2 | -7.83                     | -51.38                 | CKS71 | -8.20                     | -52.08                 |
| CKS25   | -8.14                     | -52.56                 | CKS72 | -8.06                     | -51.96                 |
| CKS26   | -8.24                     | -52.75                 | CKS73 | -8.23                     | -52.36                 |
| CKS27   | -8.35                     | -53.14                 | CKS74 | -8.37                     | -53.57                 |
| CKS28   | -8.28                     | -52.41                 | CKS75 | -7.49                     | -50.60                 |
| CKS29   | -8.58                     | -53.94                 | CKS76 | -6.87                     | -47.84                 |
| CKS30   | -8.23                     | -52.33                 | CKS77 | -7.49                     | -50.00                 |
| CKS31   |                           |                        | CKS78 | -7.71                     | -51.04                 |
| CKS32   | -8.14                     | -52.26                 | CKS79 | -7.79                     | -51.06                 |
| CKS33   | -7.74                     | -50.67                 | CKS80 | -7.61                     | -50.12                 |
| CKS34   | -7.97                     | -51.54                 | CKS81 | -7.57                     | -50.19                 |
| CKS35   | -7.94                     | -51.47                 | CKS82 | -7.54                     | -49.92                 |
| CKS36   | -7.94                     | -51.51                 | CKS83 | -7.85                     | -51.01                 |
| CKS37   | -7.68                     | -51.68                 | CKS84 | -7.71                     | -50.67                 |
| CKS38   | -7.75                     | -51.86                 | CKS85 | -8.20                     | -51.98                 |
| CKS39   | -7.80                     | -51.98                 | CKS86 | -7.62                     | -51.36                 |
| CKS40   |                           |                        | CKS87 | -7.81                     | -51.74                 |
| CKS41   |                           |                        | CKS88 | -7.80                     | -51.24                 |
| CKS42   | -7.85                     | -51.19                 | CKS89 | -7.60                     | -50.29                 |
| CKS43   | -7.90                     | -51.47                 | CKS90 | -8.00                     | -52.79                 |
| CKS44   | -7.63                     | -50.24                 | CKS91 | -7.15                     | -48.14                 |
| CKS45   |                           |                        | CKS92 | -7.77                     | -51.48                 |
| CKS46   |                           |                        | CKS93 | -6.59                     | -46.33                 |
| CKS47   | -7.59                     | -50.16                 | CKS94 | -7.59                     | -50.30                 |

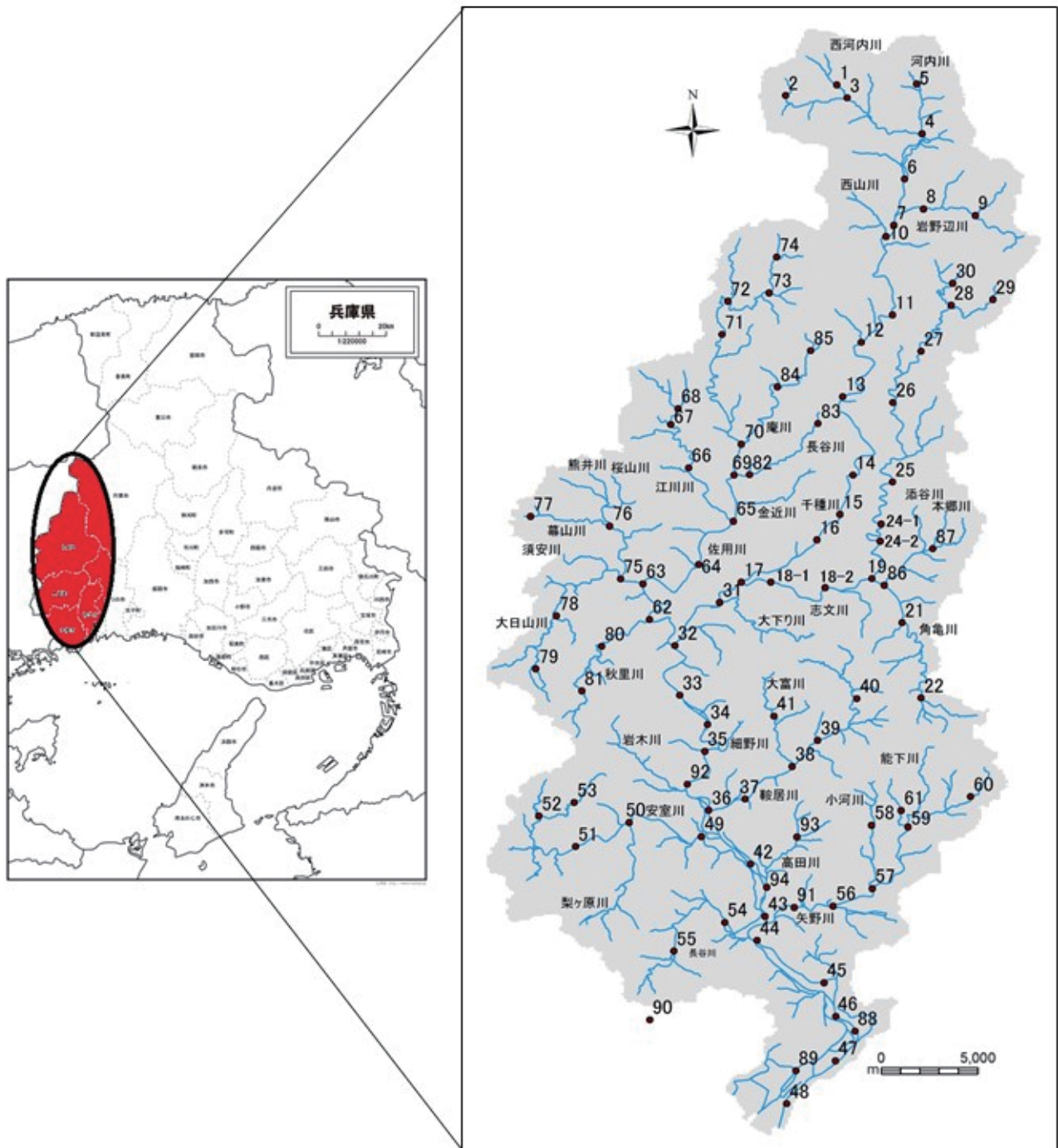


図1. 千種川流域圏の位置と採水地点。白地図は、白地図専門店  
<http://www.freemap.jp/itemFreeDIPage.php?b=hyogo&s=hyogo>  
 のものを筆者が加工したもの。

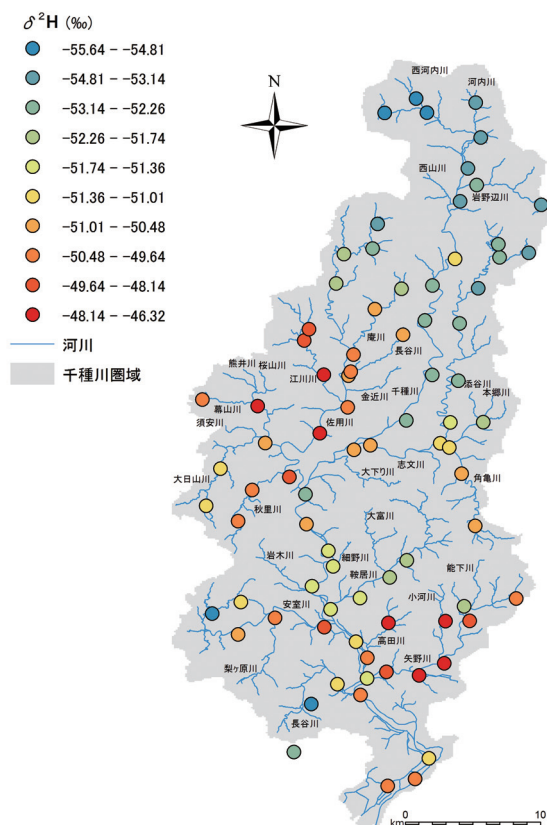
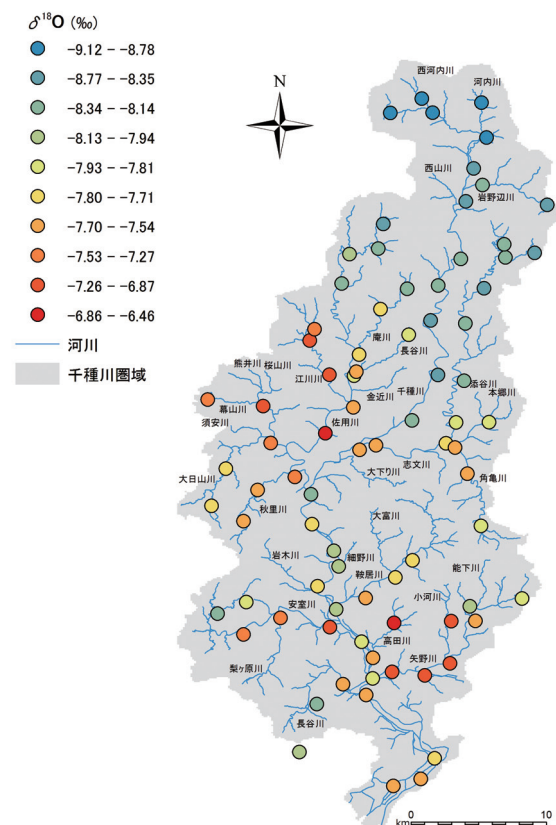
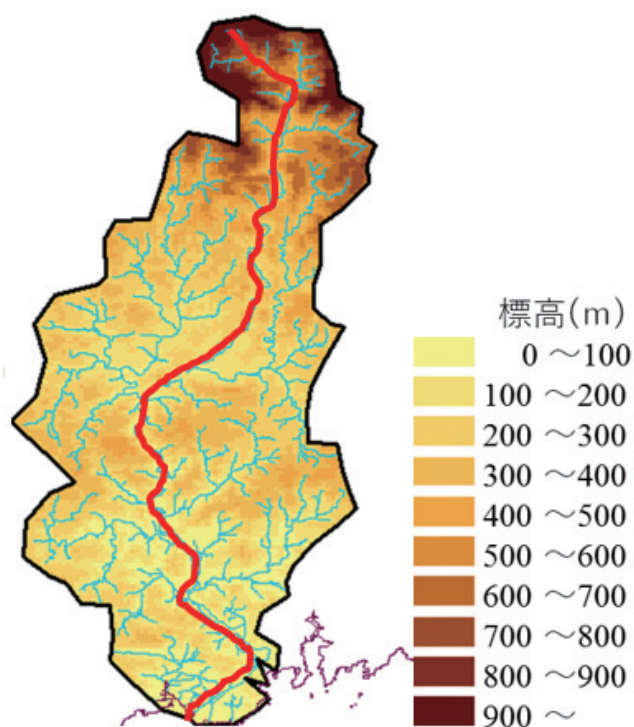
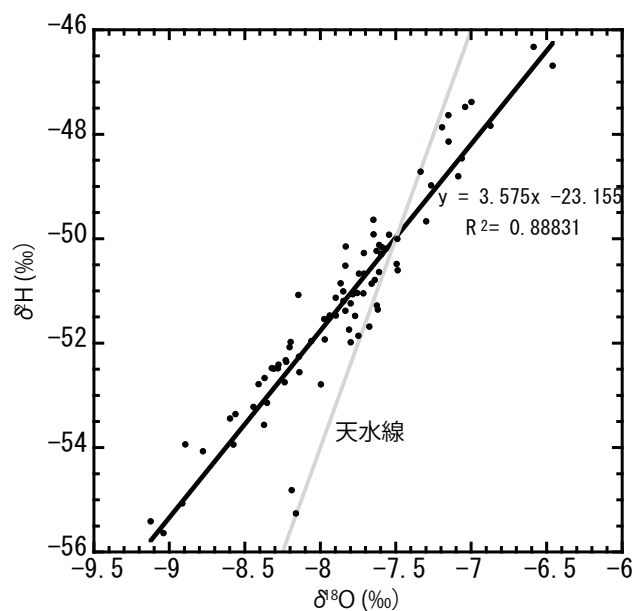
図2. 千種川流域の水素同位体比 ( $\delta^2\text{H}$ ) 分布図.図3. 千種川流域の酸素同位体比 ( $\delta^{18}\text{O}$ ) 分布図.

図4. 千種川流域の標高 (赤線は千種川本流).

図5. 千種川流域における $\delta$ -ダイヤグラム. 黒実線は本分析の結果の帰帰直線, 灰色実線は天水分線 ( $\delta^2\text{H} = 8 \delta^{18}\text{O} + 10$  (‰)).