

# 地すべり水脈の把握の調査研究

末峯 章<sup>\*1</sup> 日浦啓全<sup>\*2</sup> 王功輝<sup>\*3</sup>

## 1. 調査目的

四国における結晶片岩地すべり地の一つである釣井地すべり地における地下水の状況を調べ、対策工の施工のための基礎資料をえる為の調査を行った。

## 2. 研究の方法

行った調査は湧水とボーリング地点における地すべり面附近の水質分析と地下水の年代推定である。平成28年度は図1に示す様に釣井地すべり地で採水を行った。

## 3. 得られた結果

### 3.1-1 水質分析

水質分析結果の一部を図2に示している。平成19年11月に引き続き、平成20年6月、平成21年8月に引き続き、平成22年8月に、平成23年7月、平成24年3月と平成24年7月、平成25年7月、平成26年8月、平成27年8月、平成28年7月に地すべり地内および周辺で採水を実施し、溶存成分濃度の分析を行った。これらの水が一年を通して同じ水質を示しながら地すべりの挙動に影響を与えるのか、季節変化があるのか、あるいは地すべり活動により水の型が変化するのか、という問題意識の元に再度、採水・分析を行った。

釣井地すべり地区で水質調査を開始してから10年目である。これまでに解ってきたことと本年度の結果を総合して溶存成分の多い水の分布を基本として地下水の経路に関連して考察した。

2016年度が渇水であったことで、湧水点では4か所の採水点で水が枯渇してしまった。排水ボーリング (BH) では5か所で採水ができなかった。これらの地点では水量が著しく減少している。これ以外にも排水量が顕著に減少した例としては、BH①の3つの排水孔、BH 23 では昨年度まで年代測定に供していた孔：N6からの排水が枯渇しN7からの採水に切り替えるな

---

<sup>\*1</sup>京都大学防災研究所准教授 <sup>\*2</sup>高知大学名誉教授 <sup>\*3</sup>京都大学防災研究所助教

どのが起きた。地すべり地において顕著な地すべり変動が起きたという報告もないことから、これらの現象については湧水によるものと考えた。湧水に溶存成分の組成にどのような変化が生じるかを以下のように総括した。溶存成分組成の変化は本年度（2016年）のようにサンプリングの2週間程度以前から極端に少雨あるいは無降雨が続くことが条件と思われる。ある程度降雨があり体感的にも無降雨であると思ったり、サンプリングの前日まで雨があたり台風直後の時には、採水地点には地表面からの浸透によって供給される水と地下を流下してきた水が混じり合っている。このような状態で地表面からの供給が制限されると、地層を構成する鉱物と接触し溶脱しながら地下を流下してきた水の性質に戻らざるを得なくなる。分析時に水の希釈する（ $\text{SO}_4$ イオンや $\text{Mg}$ イオンなど）必要があった採水地点はHブロックの斜面の下部に集中しているが、この付近の地下には泥質片岩が分布し濃度の高い水を生成することと呼応している。昨年度推定した地下の水ミチ沿いにあるBH⑩の3つの排水孔で流量が減少したことは湧水のために供給減で流量が減少したと考える。BH 19 では水量が著しく少ないが、全サンプリング資料の中で最も溶存成分が多く、しかも上述のBH 23との距離は僅か20m程度しか離れていない。大量の水が流下していると推定している水ミチとの関連も不明であり、3次元的に見ても非常に複雑な分布をする測点である。水質の変化傾向が1年後（あるいは一定量の降雨後）に元に戻るのか、このまま変化し続けて別の段階（新たな地すべり運動の予兆？）に移るのかは今後の調査によって明らかとなる。

### 3. 2 地下水年代の推定

#### 1. はじめに

地すべり地の地下水、特に結晶片岩地すべり地の地下水については不明なことが多い。これは構造が複雑なことと、地すべり地が一般に広いことが大きく寄与している。

国内の地すべり地における地下水の起源についての研究は、地下水の年代分析や水質分析などによって行われている。例えば鈴木ら（2002）は福島県滝坂地すべり地において採水した試料の酸素同位体、トリチウム分析を用いて地すべり地の地下水の起源を推定している。また古谷ら（2005）は新潟県東頸城地域の地すべり地において見られる高濃度Na-Cl型地下水の起源について水質分析および酸素同位体比の測定によって推定を行っている。

ここでは放射性同位元素でなく、溶存ガスのトレーサーとして、化学的に安定しているCFCs（フロン類）やSF<sub>6</sub>（六フッ化硫黄）、希ガス（ヘリウムなど）を用いる。これらは近年の工業化による生産量の増加に伴い、過去数十年で大気中の濃度が増加しているため、特に滞留

時間50年未満の若い地下水の年代推定に適している。

## 2. 観測地

観測地としては、徳島県の伊良原地すべり地と釣井地すべり地で行った。伊良原地すべり地では2010年8月8日に排水ボーリングNo. 3から、伊良原地すべり地の尾根を越えたところに存在している須貝瀬では2011年8月22日に排水ボーリングNo. 9からCFCs・SF6を分析するために、それぞれ2サンプルずつ採水した。また釣井地すべり地では2011年7月28日にNo. 23・No. 15・No. 22から、2011年7月29日にNo. 16・No. 25からそれぞれ2サンプルずつ採水した(図3参照)。また試料採水時に水温を計測した。降雨の影響を見るために2012年3月14日と2012年7月9日と12日に同じ地点で採水した。2013年には7月20日に同じ地点で1サンプル採取した。2014年には8月11日と13日に採水を行った。2015年には8月1日と2日採水を行った。2016年には7月31日に採水を行った。最近ではSF6の方が、分解能が高いので、今回も1サンプルにした。

大気サンプルは伊良原では2011年8月20日および8月23日の計2回、伊良原の同一地点(標高457m地点)で採取した。釣井では2012年3月14日に2地点で採取した。また池田と釣井で2012年6月20日と、釣井で7月9日に池田で7月16日に採取した。2013年には釣井で7月20日に採取した。2015年には8月2日に釣井で採取した。2016年には7月31日に行った。

分析の結果、現在の徳島県での大気におけるSF6濃度は、北米大気中のSF6濃度の1.2倍であった。この補正值を使用して年代測定を行った。

昨年度にも述べたが、年代測定用の採水と同時に地下水分析用の採水も行ったので、排水ボーリングからの排水では水質の大きな違いは見られていない(図3参照)。なおここでは示していないが、調査ボーリング地点での地下水の分析結果からは、少なくとも2種類の地下水が存在していることが明らかになっている。また地下水温の観測からは、排水ボーリングのNo. 25の地点では地表面の温度の影響を一番受けた地下水であることが判明している。

## 3. 観測結果

2012年度までは、フロン類と六フッ化硫黄の2種類のガスの分析を行ったが、フロン類は環境破壊が指摘されてから、工業的に使用が制限されたため分解能が最近では低くなった(図4参照)。それに対して六フッ化硫黄は一貫して使用が増加しているため、分析結果の精度が高いというバックグラウンドがある(図5参照)。したがって地下水の年代決定には、六フッ化硫黄を使用する分析結果のほうが、信頼性が高い。また地下水の流れとしては、ピストン流モデルと指数関数モデルがある。今回は指数関数モデルを採用した。地すべり地の降雨がピストン流モデルに沿って流れるというのは、少し違っていると解釈した。

表1に採水した地下水の年代測定結果を示している。この解析条件としては採水した地下水の温度が、涵養時の温度であると仮定している。したがって涵養時の温度と違う場合には誤差が生じることになる。1度違った時誤差解析を行ったところ約1年以下という結果が得られた。特に釣井の排水ボーリング25No.4は地下水の温度の年変化が大きいということが解っている。したがってここの地点で流出している地下水の年代には大きな誤差が含まれている

表から明かのように、釣井では六フッ化硫黄では地下水年代では1年から12年前の地下水が流出していることが解った。特に一昨年度と一昨年度の地下水年代が古い地下水年代となっていた。これは採取された時の地下水の温度が例年より低いことが影響している。伊良原と須貝瀬の地下水は9年と7年前の地下水が流出していることが解った。また地すべり地において流出している地下水は、空間による違いがあることが判明した。この7年間の地下水年代の観測結果から、常に同じ所の地下水が新しいということではなく、同じ所は常に古いということはないので、確定的なことは言えないが経年変化があるのかもしれない。

また涵養条件を徳島県阿波池田の年平均気温と斜面の高度から推定した温度とすると、釣井では4年から9年前の地下水が流出していることが解った。

2011年の採水時は、約10日前に3日間で310mmの降雨があった。降雨の影響があるかどうかを判定するために2012年3月14日に採水を行った。このときは、採水時の前の10日間で約50mmの降雨があった。2012年7月の採水前には10日間で94.5mmの降雨があった。2013年7月には44.5mm、2014年8月には1033mmの降雨があった。2015年7月には、採水時前の1週間には降雨がなかった。2016年7月の採水前の10日間では25mmの降雨があった。涵養条件を採水時の地下水として、指数関数モデルを仮定すると、釣井では2年から5年前の地下水であることが判明した。確定的には言えないが、降雨の過多による変動はあまりないような結果となっている。しかし涵養条件を池田の平均気温と斜面の標高から推定する方法では、釣井の地下水の年代は1ヶ所では判定不能であり、他は3年から8年という結果となった。

またこの7年間の地下水の年代測定結果の平均を求めると、表2のようにになっている。この表からわかるように約5年前から7年前の地下水となっている。当たり前であることだが、測定数が少ないので標準偏差は大きい。従ってこのような単純平均をとるのは、あまり正しくないかもしれない。真の地下水の年代はそれぞれ観測された年代の可能性が高いと思っている。地すべり地では地すべり活動が起こり、“みずみち”が変わっている可能性が高いと推定している。その結果として、地下水の年代が変化していると、推察している。

したがってこれから地下水の涵養条件をどのようにしたら、本当の地下水の年代が決定できるかこれからの課題は大きい。しかし地すべり地を流れている地下水は、かなり前に斜面に降った降雨が流出していることは、かなりの確度で真実らしい。このことが本当なら地すべり対策工事について、もう一度原点に立ち返って検討する必要があるのではという結論が導かれる。

#### 4. 謝辞

最後に調査にあたりましては、地元の方々並びに徳島県砂防課と徳島県西部総合県民局県土整備部の方々に大変お世話になりました。ここに記して感謝いたします。

#### 参考文献

- 日浦啓全・笹原克夫・山田直人・古谷元・末峯章他(2006)：水質指標を基にした地下水の経路推定の試み、第45回日本地すべり学会研究発表会講演集。pp. 245-248
- 徳島県西部総合県民局・株式会社基礎建設コンサルタント(2008)：H19三土 釣井地すべり/三好市東祖谷釣井S”地すべり調査業務(2)、成果報告書
- 徳島県西部総合県民局・株式会社基礎建設コンサルタント(2009)：H20三土 釣井地すべり/三好市東祖谷釣井S”地すべり調査業務(2)、成果報告書
- 徳島県西部総合県民局・株式会社基礎建設コンサルタント(2010)：H22三土 釣井地すべり/三好市東祖谷釣井S”地すべり調査業務(2)、成果報告書
- 徳島県西部総合県民局・株式会社基礎建設コンサルタント(2011)：H23三土 釣井地すべり/三好市東祖谷釣井S2地すべり調査業務(1)、成果報告書
- 徳島県西部総合県民局・株式会社基礎建設コンサルタント(2012)：H24三土 釣井地すべり/三好市東祖谷釣井S2地すべり調査業務(1)、成果報告書
- 前田寛之(2012)：膨潤性粘土鉱物の成因と地すべり、第51回日本地すべり学会研究発表会講演集。pp. 44-49
- 鈴木将之・佐藤修(2002)：同位体からみた福島県滝坂地すべり地における地下水の起源。地すべり vol. 39、No. 3、pp. 319-325.
- 古谷元・渡部直樹・小松原岳史・佐藤修・丸井英明(2005)；新潟県東頸城地域の地すべり土塊内における高濃度Na-Cl形地下水の分布とその起源、応用地質、vol. 45、No. 6,

pp. 281-290.

- 末峯章・日浦啓全・浅井和由・柳楽祐平・王功輝（2012）：結晶片岩地すべりの地下水年代測定、日本地すべり学会研究発表講演集、pp. 61-62.
- 日浦啓全・田中昭雄(2014)：広域の水系網と地すべり地の水 —釣井地すべりを例として—、地すべり学会関西支部現地討論会資料、pp. 29-38.
- 末峯章・柳楽祐平・浅井和由・日浦啓全（2012）：結晶片岩地すべり地の地下水の年代について、（公社）日本地すべり学会関西支部現地討論会論文集、pp.39-51.

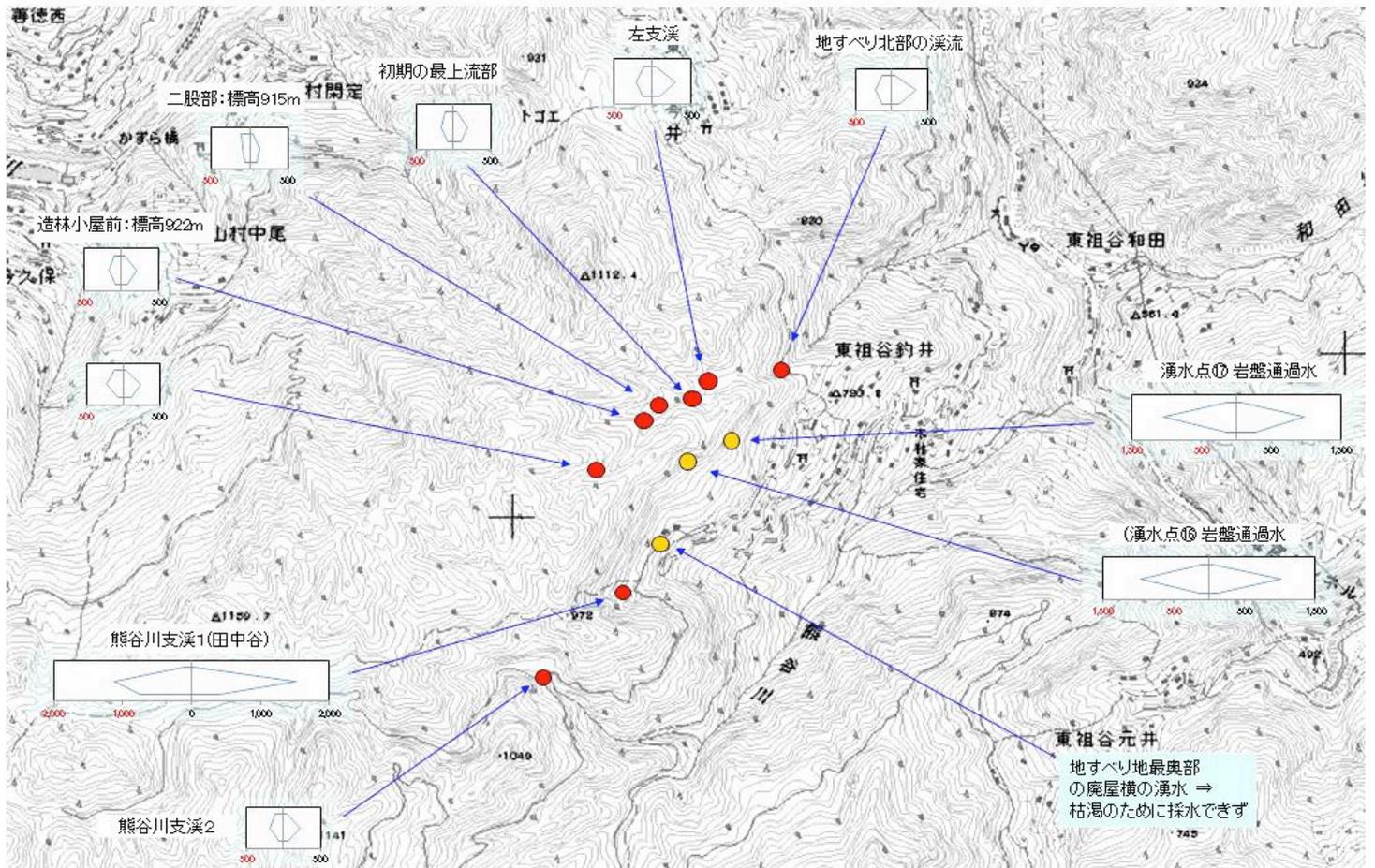


図4 釣井地すべり周辺の広域的に見た渓流水および湧水点から採水した水のヘキサダイアグラム(2016年)

図1 広域の水質分析結果

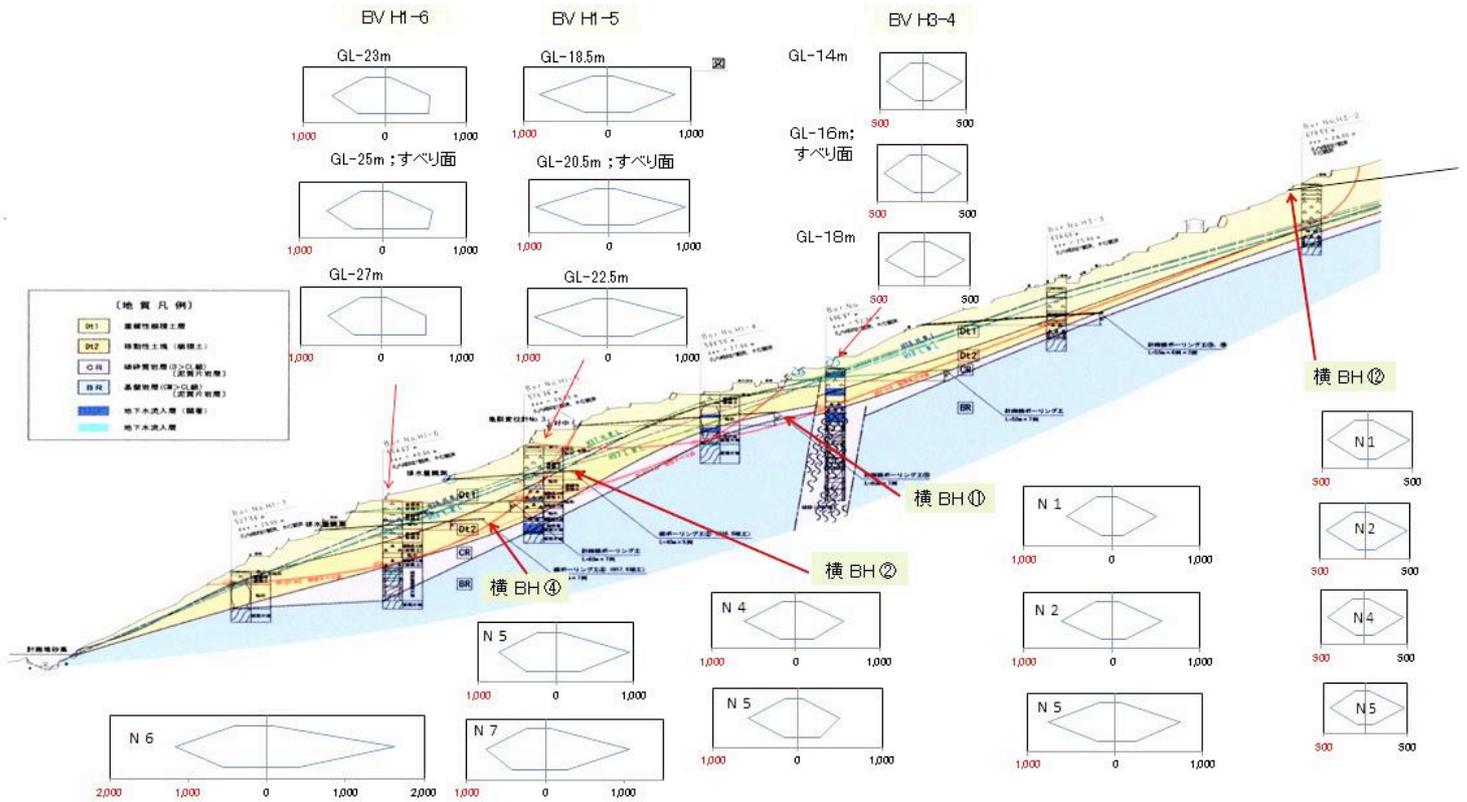


図8 縦断測線①沿いの水平(BH)および鉛直(BV)ボーリングから採水した水のヘキサダイアグラム(2016年度)  
 注)鉛直ボーリングのヘキサダイアグラムの中段はすべり面付近の深さからの採水した水の分析結果

図2 斜面の水質分析結果

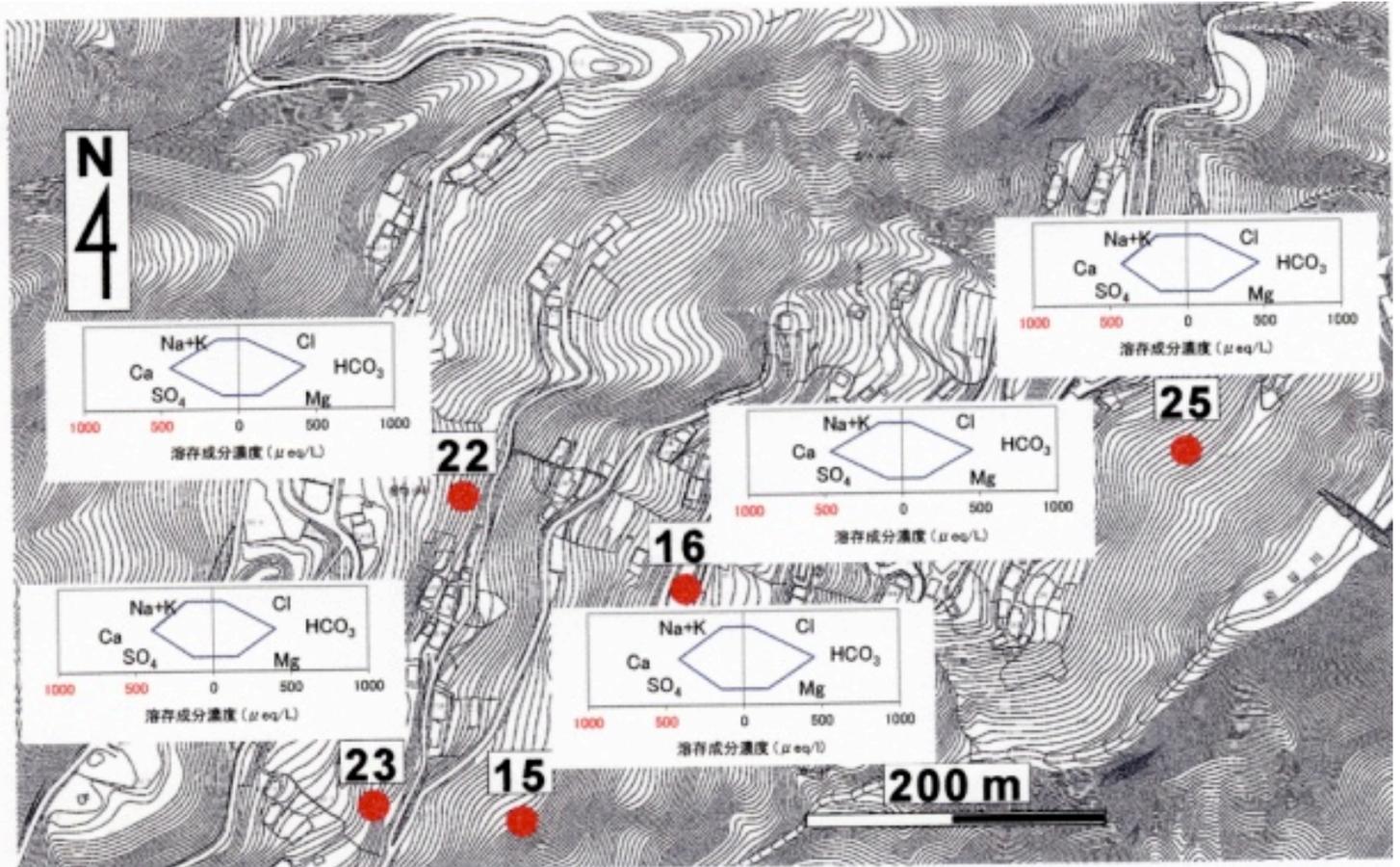


図3 釣井での採水地点（年代測定）

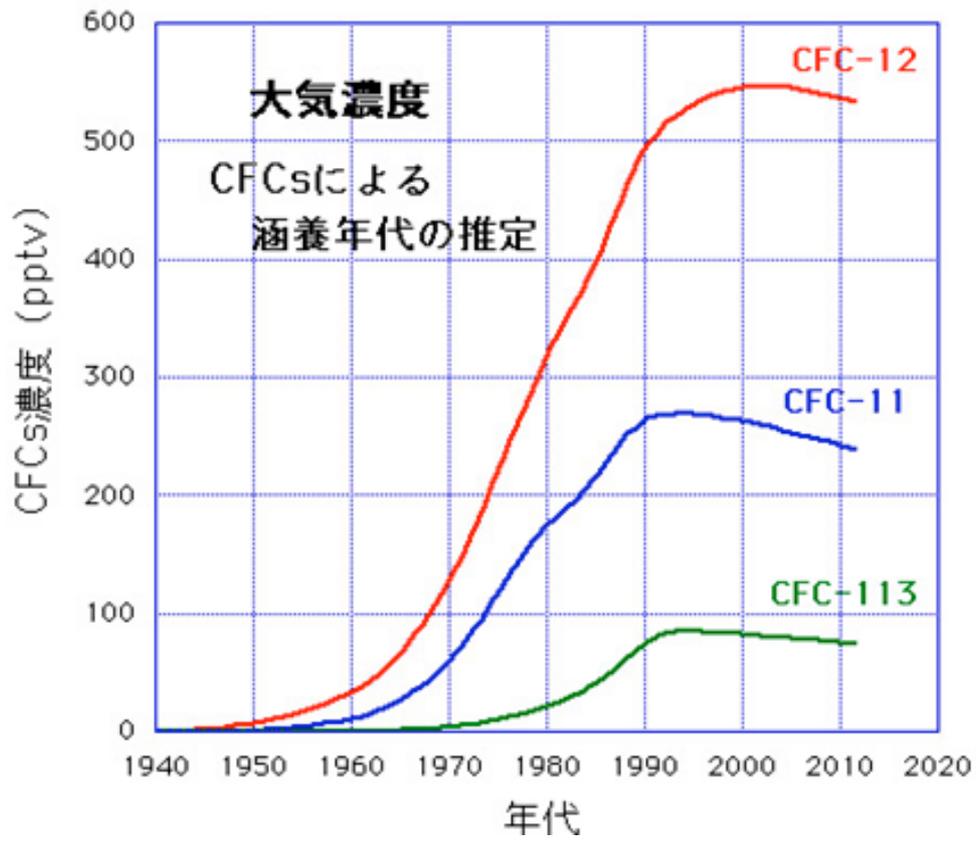


図4フロン濃度

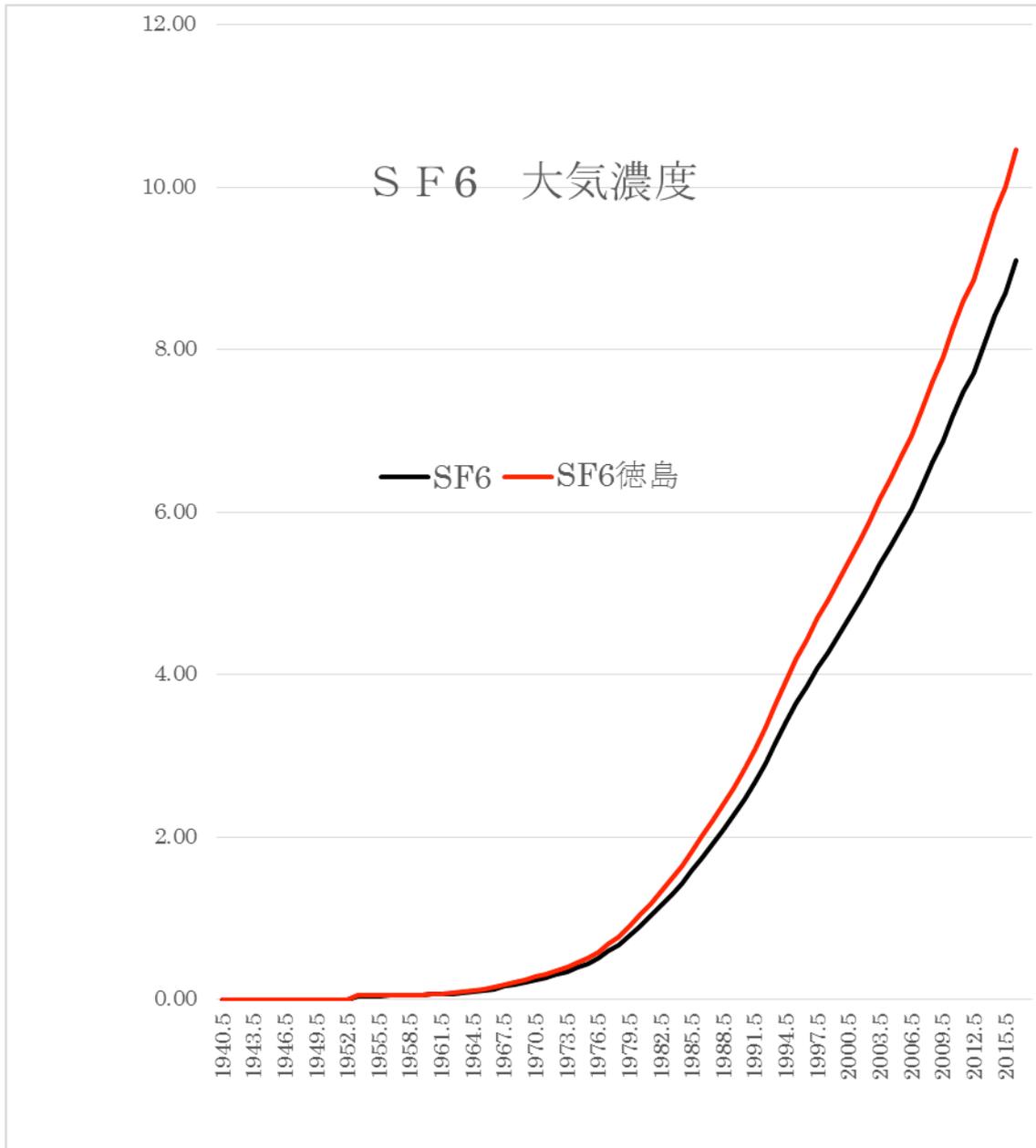


図5 六フッ化硫黄濃度