

地すべり水脈の把握の調査研究

末峯章*1 日浦啓全*2 王功輝*3

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29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、平成29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11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年度が渇水であり、さらに2017年度も上半期は昨年同様の状況であった。採水できなかった4か所の湧水点や5か所の排水ボーリング（BH）では引き続き採水ができなかった。昨年度推定した水ミチと年代測定のための採水を実施している排水量の多い排水ボーリングを含めた排水量の多いと地すべりブロックとの関係を見ていく。BH25のあるDブロックでは他に採水点が無いが、ヘキサダイアグラムからみれば標準的なダイヤモンド型をしている。

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

地下に存在する泥質片岩の分布の指標となる硫酸イオンの影響はない。次に年代測定サンプルを採水しているBH⑩のあるHブロックには、他に排水量の多いBH⑪、BH⑫がある。BH⑪からは3つの排水孔よりの排水をサンプリングしているが、かつて多かった排水量がこの数年減っているように感じられていた。さらに斜面を下ってBH⑦になると排水量は少なくなる。逆に斜面を上に登っていくと、Iブロックになり、ここには年代測定サンプルを採水しているBH22がある。BH22の直下にはBH⑬があるが排水孔をN3からN7に変更するなどしている。地中で何らかの変化が想定される。しかしながらBH⑬の排水量はあまり多くない。さらにブロック内の斜面をさかのぼってBH⑳、BH㉑にまで来ると排水はさらに乏しくなる。このようにIブロックではBH㉒の存在する標高に排水量の多い部分が集中している。次いで年代測定サンプルを採水している

BH㉓、BH⑮はJブロックにある。BH㉓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たためN7からの採水に切り替えた。両者の中間にあるBH⑭からは、施工完了当時はかなりの排水量が見られたが今は乏しくなっている。この部分を少し南西行つたBH⑰は同じJブロックではあるが当初からほとんど水が出ていない。標高から見るとBH㉓ > BH⑰ > BH⑭である。排水量の多いBHと標高を関連させていくと必ずしも一つの標高には限定されない水ミチが想定できる。それらが昨年度も推定したような水ミチの推定になる。地形的に平面的に見ていくと熊谷川の上流部のどこかの地点で断層崖に添う方向性をもって地すべり地に入りNブロック(湧水点⑭があり、BH⑰のすぐ西側)付近で、踏査で確認されている断層崖に直行する方向に曲がる何枚かの水ミチに分岐し幾筋か断層崖の方向に直行する流れとなる。一方で、さらに北東方向に向かった流れが「地すべりの北の溪流」の出口地点までの何処かで合流して、「地すべりの北の溪流の出口」(村道との交差点)で採水した水の型を形成する。BH⑰はNブロックにあり水量が著しく少ないが、年代測定サンプル採水点BH㉓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は全く関連なさそうである。3次元的に見ても非常に複雑な分布をする測点である。今年度は9月以降に雨が多くなっているが水質の変化傾向が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に至るものか、単に水ミチの変遷は地中浸食に起因するものか、あるいは両方の影響下になるのかどうかということは今後のデータの積み重ね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SF₆（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。2017年には7月29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16年前の地下水が流出していることが解った。特に今年度と一昨年度と一昨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かもしれない。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8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8年間の地下水の年代測定結果の平均を求めると、表2のようになっている。この表からわかるように約6年前から8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.

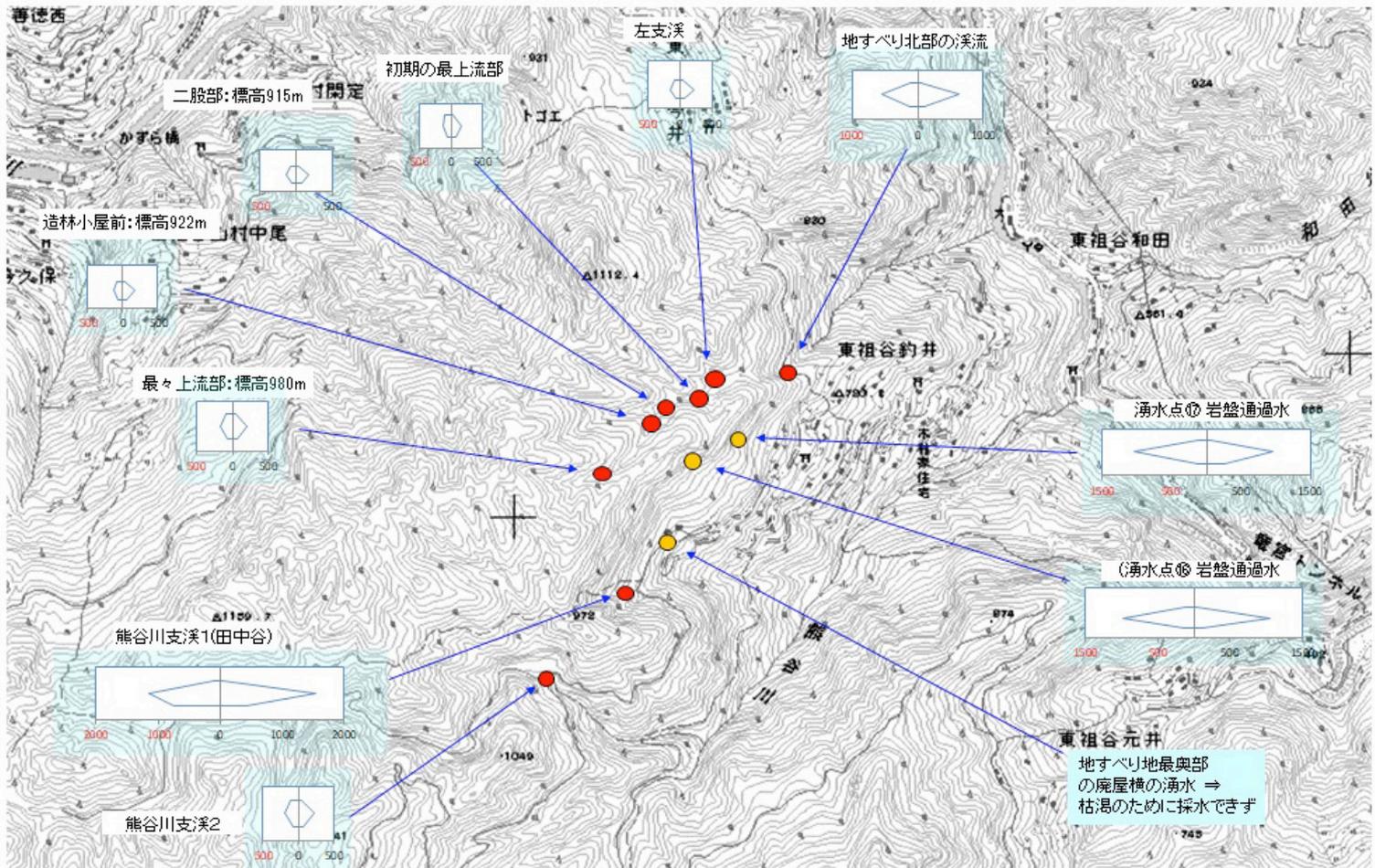


図4 釣井地すべり周辺の広域的に見た渓流水および湧水点から採水した水のヘキサダイアグラム(2017年)

図1 広域の水質分析結果

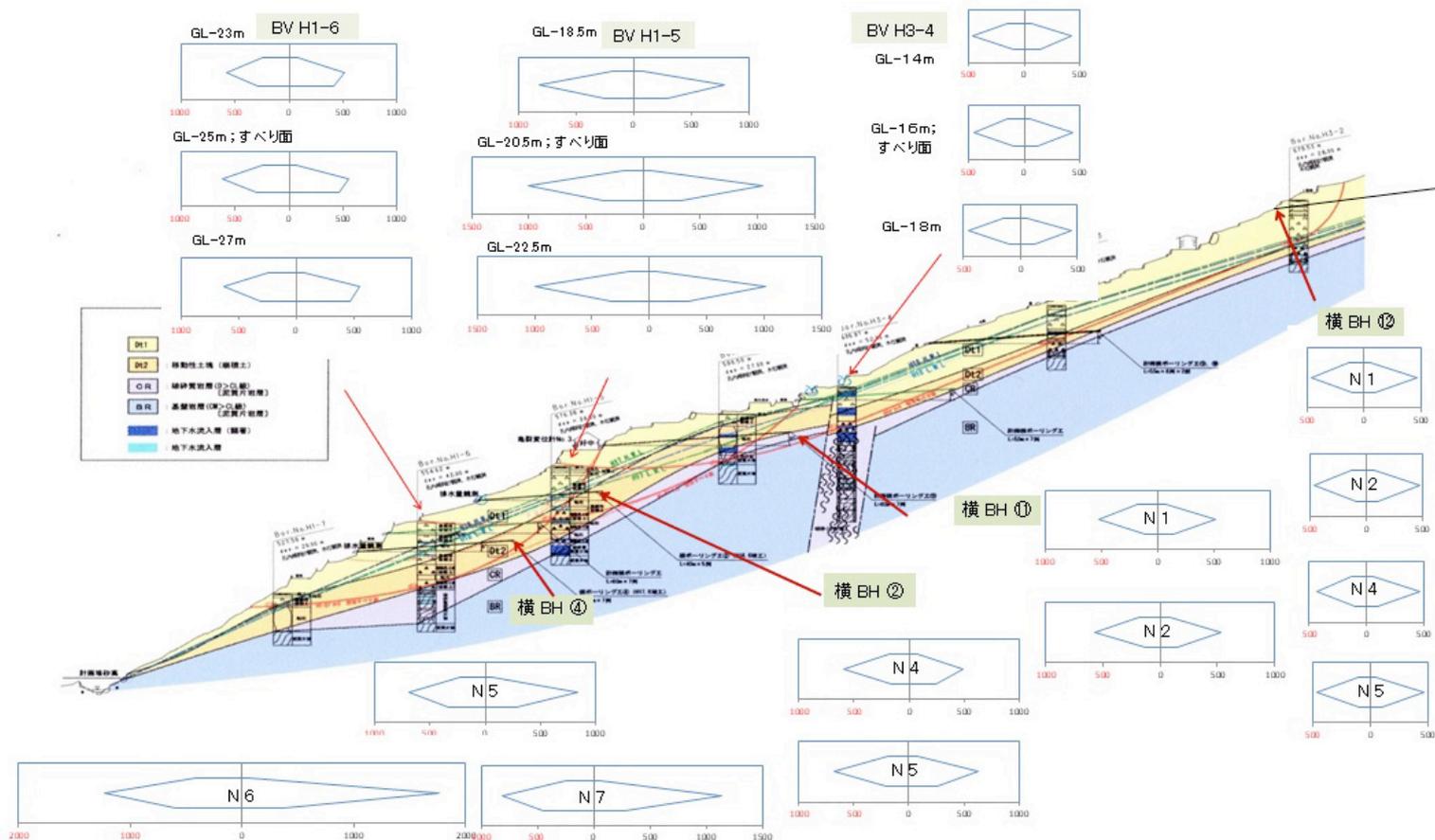


図8 縦断測線①沿いの水平(BH)および鉛直(BV)ボーリングから採水した水のヘキサダイアグラム(2017年度)
 注)鉛直ボーリングのヘキサダイアグラムの中段はすべり面付近の深さからの採水した水の分析結果

図2 斜面の水質分析結果

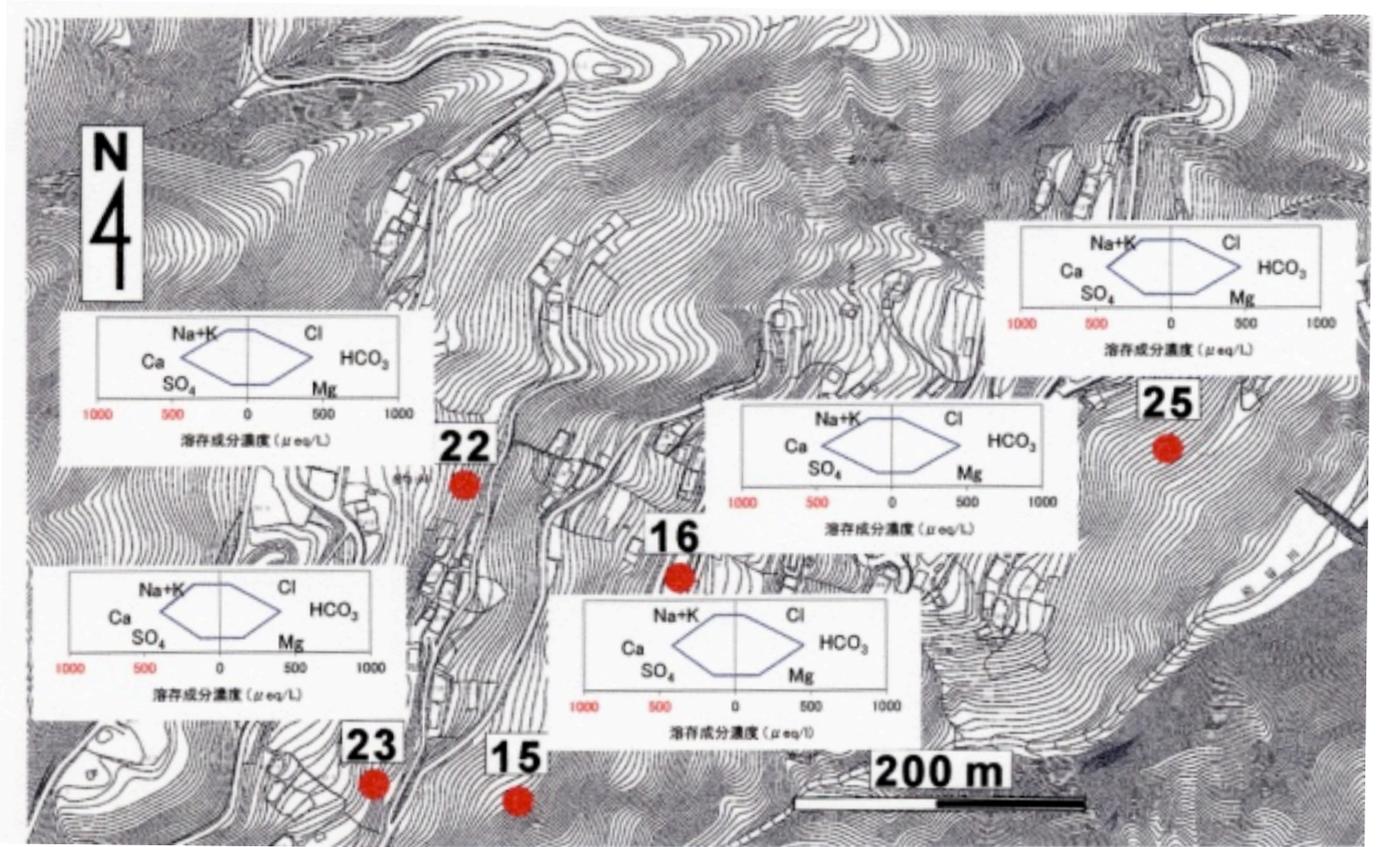


図3 釣井での採水地点（年代測定）

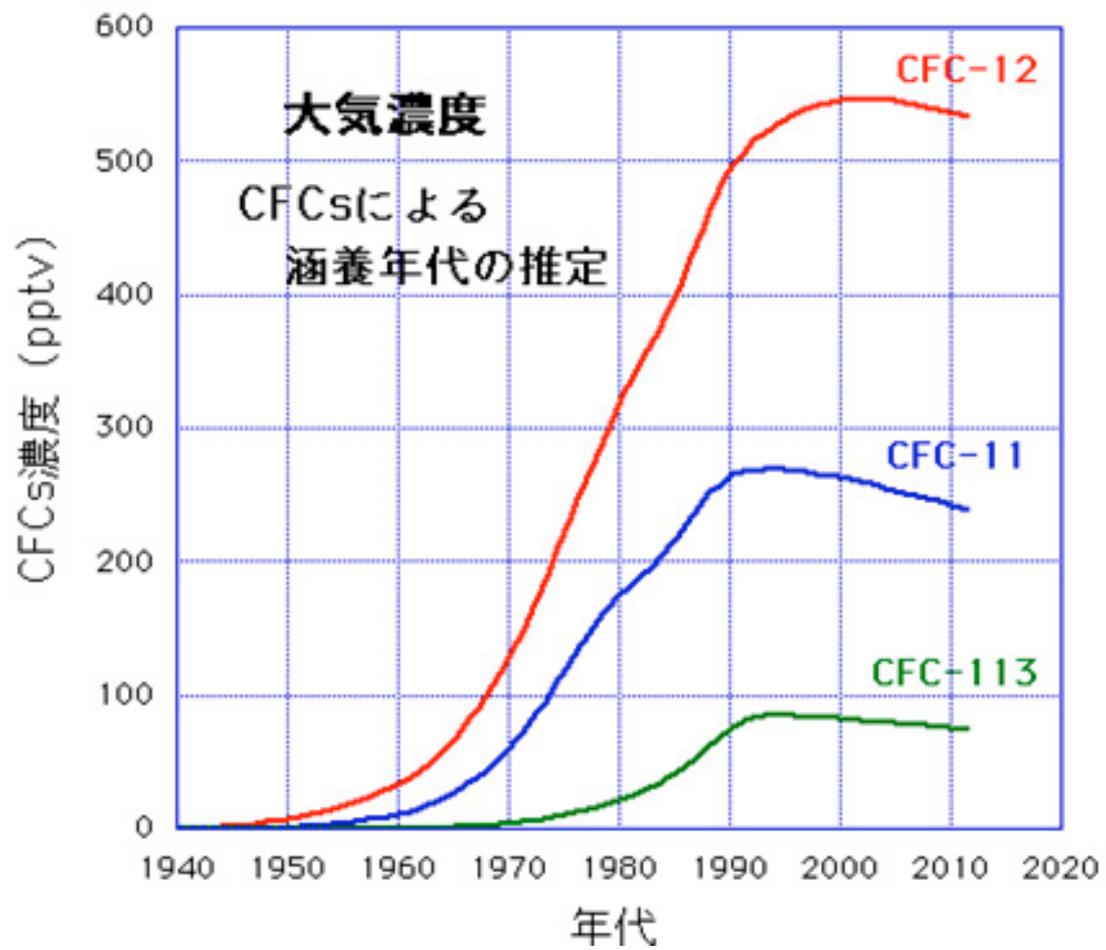


図4フロン濃度

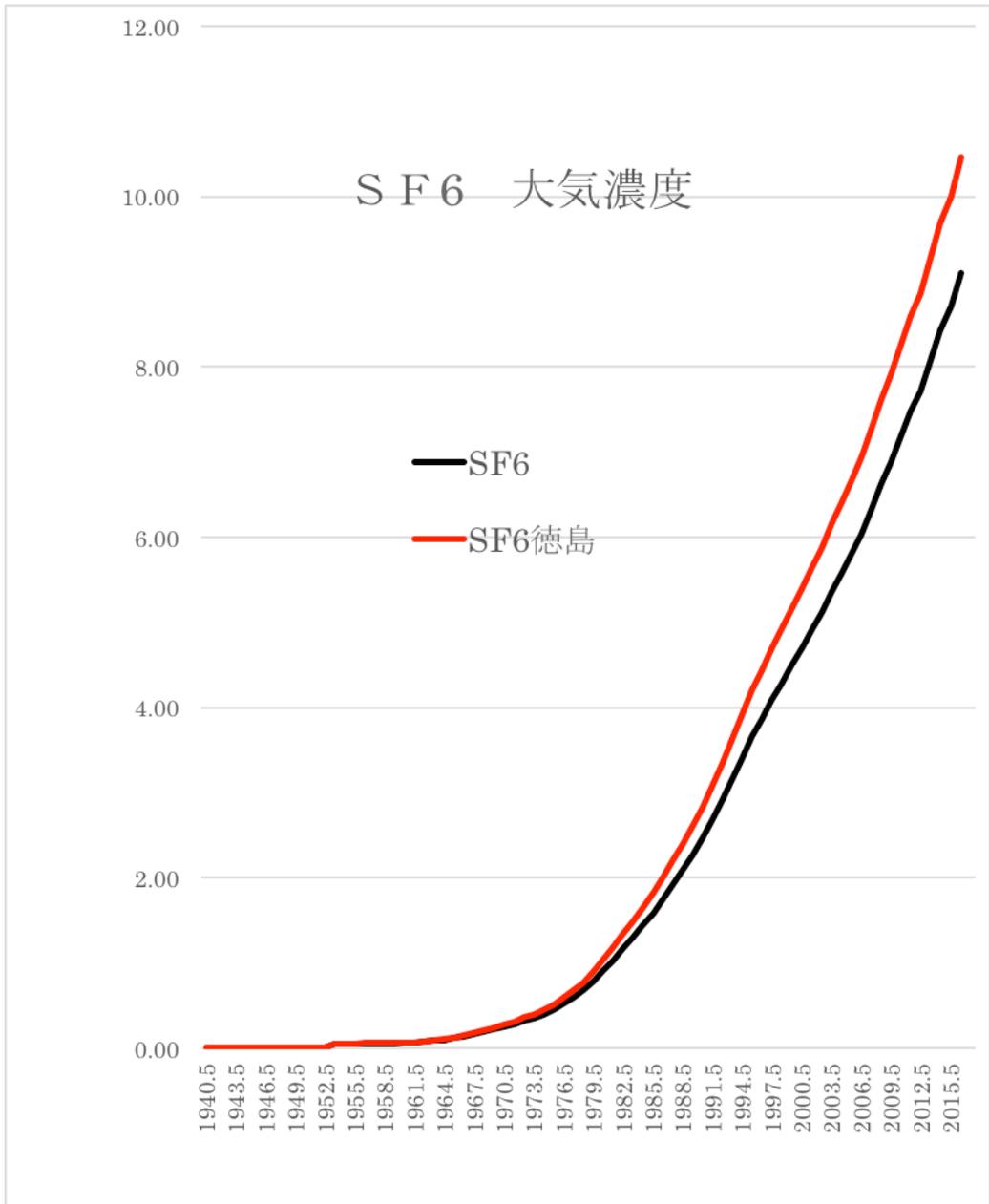


図5 六フッ化硫黄濃度

地域	試料名	採水日	涵養条件 (温度)	大気換算 濃度pptv	SF ₆ 年代分析結果 指数関数モデル 平均滞留時間(年)
釣井	排水ボーリング23N7	2017/7/29	13.6	6.89	13
釣井	排水ボーリング15N2	2017/7/29	13.3	7.03	13
釣井	排水ボーリング22N7	2017/7/29	11.9	6.41	16
釣井	排水ボーリング16N7	2017/7/29	14.7	7.6	10
釣井	排水ボーリング25N4	2017/7/29	16.1	7.11	12
地域	試料名	採水日	涵養条件 (温度)	大気換算 濃度pptv	SF ₆ 年代分析結果 指数関数モデル 平均滞留時間(年)
釣井	排水ボーリング23N6	2016/7/31	13.3	8.32	6
釣井	排水ボーリング15N2	2016/7/31	15.4	9.97	1
釣井	排水ボーリング22N7	2016/7/31	12.3	9.22	3
釣井	排水ボーリング16N7	2016/7/31	13.7	8.65	5
釣井	排水ボーリング25N4	2016/7/31	16.3	8.57	5
地域	試料名	採水日	涵養条件 (温度)	大気換算 濃度pptv	SF ₆ 年代分析結果 指数関数モデル 平均滞留時間(年)
釣井	排水ボーリング23N6	2015/8/2	13.4	7.95	8
釣井	排水ボーリング15N2	2015/8/1	14.4	8.23	6
釣井	排水ボーリング22N7	2015/8/1	12.5	7.39	10
釣井	排水ボーリング16N7	2015/8/2	13.2	7.32	10
釣井	排水ボーリング25N4	2015/8/2	15.8	7.96	8
地域	試料名	採水日	涵養条件 (温度)	大気換算 濃度pptv	SF ₆ 年代分析結果 指数関数モデル 平均滞留時間(年)
釣井	排水ボーリング23N6	2014/8/11	13.3	7.41	8
釣井	排水ボーリング15N2	2014/8/11	14.0	6.65	12
釣井	排水ボーリング22N7	2014/8/11	13.3	8.01	6
釣井	排水ボーリング16N7	2014/8/11	13.4	7.22	9
釣井	排水ボーリング25N4	2014/8/13	16.3	7.11	10
地域	試料名	採水日	涵養条件 (温度)	大気換算 濃度pptv	SF ₆ 年代分析結果 指数関数モデル 平均滞留時間(年)
釣井	排水ボーリング23N6	2013/7/20	14.0	6.42	11
釣井	排水ボーリング15N2	2013/7/20	12.8	6.84	9
釣井	排水ボーリング22N7	2013/7/20	11.3	6.49	11
釣井	排水ボーリング16N7	2013/7/20	13.6	7.35	7
釣井	排水ボーリング25N4	2013/7/20	15.5	6.75	10
地域	試料名	採水日	涵養条件 (温度)	大気換算 濃度pptv	SF ₆ 年代分析結果 指数関数モデル 平均滞留時間(年)
釣井	排水ボーリング23N6	2012/7/12	13.2	7.09	7
釣井	排水ボーリング15N2	2012/7/12	12.8	7.65	5
釣井	排水ボーリング22N7	2012/7/12	11.7	7.16	7
釣井	排水ボーリング16N7	2012/7/12	13.7	7.71	5
釣井	排水ボーリング25N4	2012/7/12	15.3	6.99	8
地域	試料名	採水日	涵養条件 (温度)	大気換算 濃度pptv	SF ₆ 年代分析結果 指数関数モデル 平均滞留時間(年)
釣井	排水ボーリング23N6	2012/3/14	13.4	7.49	5
釣井	排水ボーリング15N2	2012/3/14	12.0	8.44	2
釣井	排水ボーリング22N7	2012/3/14	12.2	8.41	2
釣井	排水ボーリング16N7	2012/3/14	11.6	8.19	3
釣井	排水ボーリング25N4	2012/3/14	9.3	8.32	3
地域	試料名	採水日	涵養条件 (温度)	大気換算 濃度pptv	SF ₆ 年代分析結果 指数関数モデル 平均滞留時間(年)
釣井	排水ボーリング23N6	2011/7/27	12.9	7.09	6
釣井	排水ボーリング15N2	2011/7/27	13.5	7.96	3
釣井	排水ボーリング22N7	2011/7/27	12.1	7.29	5
釣井	排水ボーリング16N7	2011/7/27	13.7	8.11	2
釣井	排水ボーリング25N4	2011/7/27	15.7	8.26	2
須貝瀬	排水ボーリングNo.9	2011/8/24	13.6	7.43	5
伊良原	排水ボーリングNo.3	2010/8/8	14.0	6.26	9

表 1 地下水年代観測結果

地域	試料名	SF ₆ 年代分析結果 指数関数モデル 平均滞留時間(年)
釣井	排水ボーリング23N6	8.0±2.7
釣井	排水ボーリング15N2	6.4±4.5
釣井	排水ボーリング22N7	7.5±4.6
釣井	排水ボーリング16N7	6.5±3.1
釣井	排水ボーリング25N4	7.3±3.6

表2 地下水年代測定結果 (2017)

地域	試料名	SF ₆ 年代分析結果 指数関数モデル 平均滞留時間(年)
釣井	排水ボーリング23N6	7.3±2.0
釣井	排水ボーリング15N2	5.4±4.6
釣井	排水ボーリング22N7	6.3±3.4
釣井	排水ボーリング16N7	5.9±3.0
釣井	排水ボーリング25N4	6.6±3.3

表2 地下水年代測定結果 (2016)