

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 27 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. 得られた成果

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 9 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。

2015 年度の分析結果では、全体的にみて昨年度よりは溶存成分濃度がやや増加の傾向を示している採水点がある一方で、まったく変化のないサンプルもある。例えば、鉛直ボーリングでは BVG-1 や BVG-2 では変化はほとんどないが、他の I-5, I-6, H3-4, I-1, I-2, I-3 はヘキサダイアグラムが僅かに肥厚した様子がわかる。その際、全部の成分が一様に増加するのではなく SO4 あるいは Mg や Na+K あるいは Cl が増減して全体のイオンバランスを取っている。これは、単に梅雨明け後で雨量が少ない期間が続く構成成分が単に濃縮したとすることもできないような複雑な性状である。採水不能のケースとしては、H3-1 のように地下水面がすべり面以下に低下してしまって採水をあきらめた場合や、湧水⑦のように、斜面上方に対策工ができた事に起因して湧水の水ミチが変化してしまった場合もあった。おわりに、昨年度推定したように、熊谷川の上流の地形的には遷急点である付近を地下水の飲み口として、ここから北の溪流の出口を結ぶ方向に推定断層 F3 を使って流下するが、地すべりブロック付近ですべり方向の流れに分岐するとしたが、水の質および量の収支がうまく説明できるようなモデルを構築する必要がある。

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から、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）

^{*1} 京都大学防災研究所元准教授・^{*2} 高知大学名誉教授・^{*3} 京都大学防災研究所助教

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。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。

分析の結果、現在の徳島県での大気における SF₆ 濃度は、北米大気の SF₆ 濃度の 1.2 倍であった。この補正値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ので、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 1 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 2 年から 12 年前の地下水が流出していることが解った。特に昨年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 5 年間の地下水年代の観測結果から、常に同じ所での地下水が

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5年から8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。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。

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

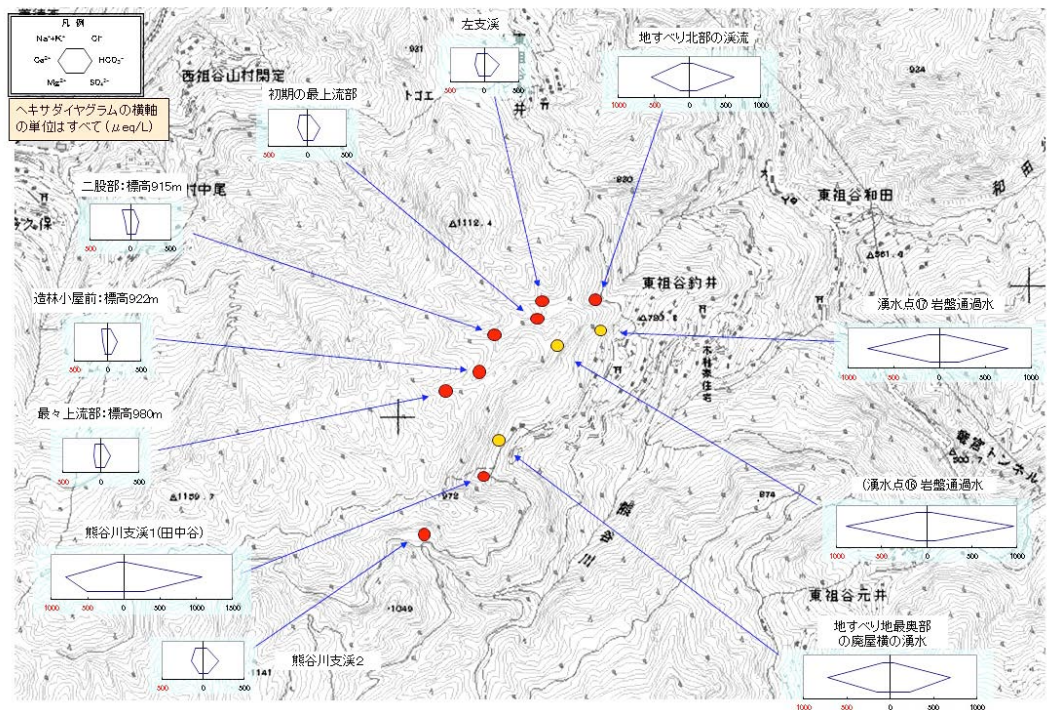
鈴木将之・佐藤修(2002)：同位体からみた福島県滝坂地すべり地における地下水の起源。地すべり vol. 39、No. 3、pp. 319-325.

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.



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(2015年)

図1 広域の水質分析結果

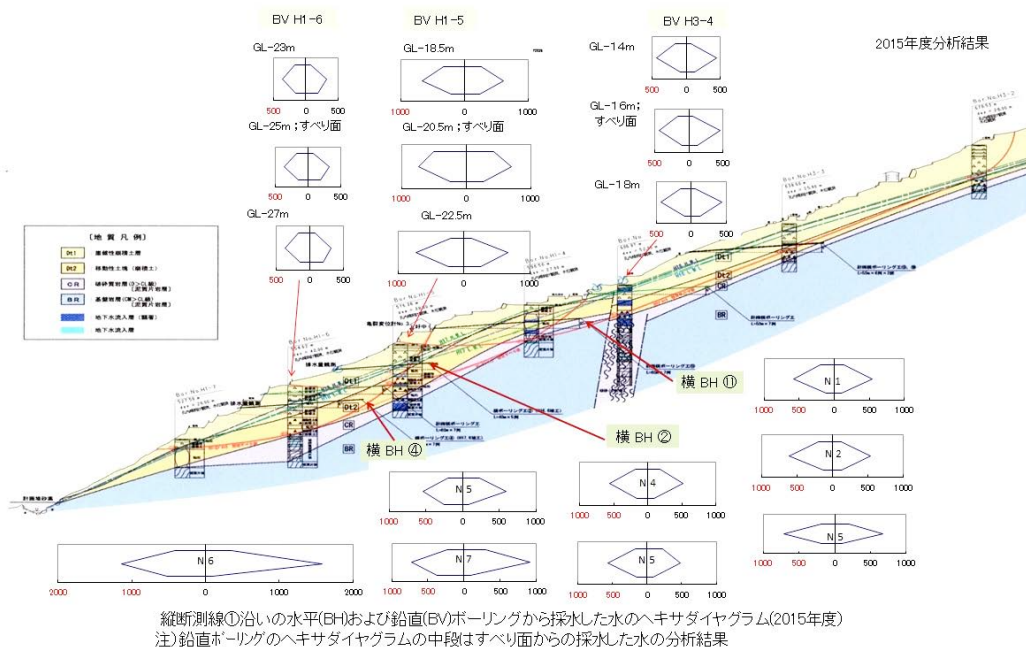


図2 斜面の水質分析結果

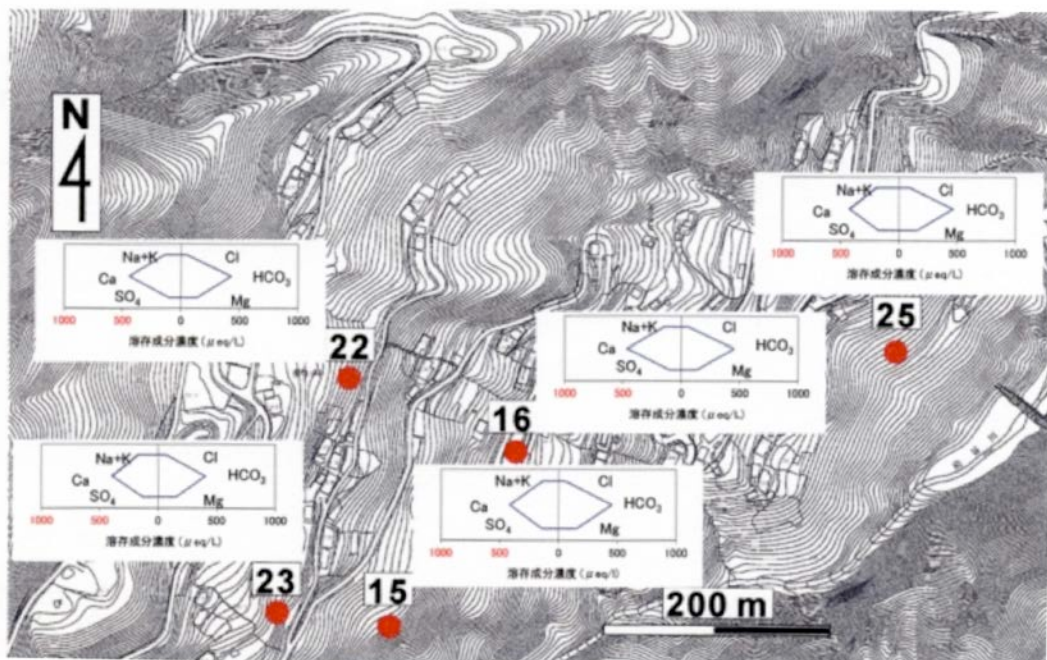


図3 釣井での採水地点（年代測定）

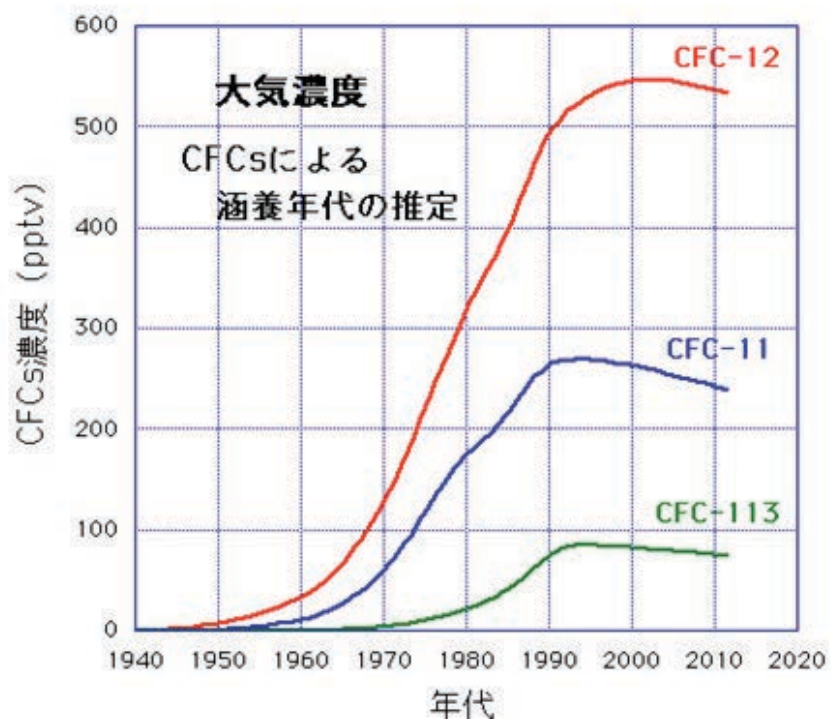


図4 フロン濃度

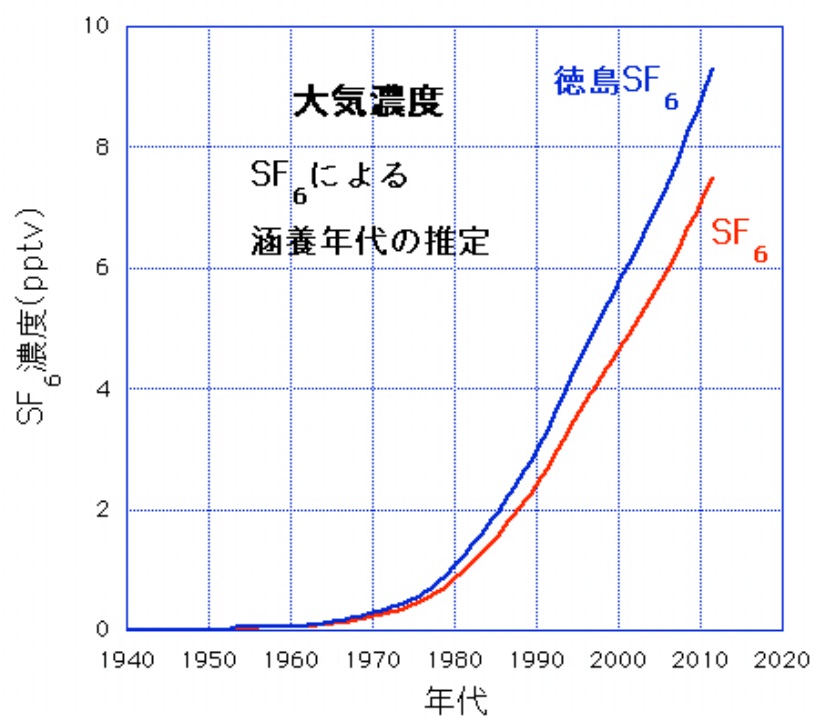


図5 六フッ化硫黄濃度

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