

平成 25 年度 地下水年代測定
調査業務委託

報 告 書

(安曇野市 豊科・穂高)

平 成 2 5 年 8 月


目 次

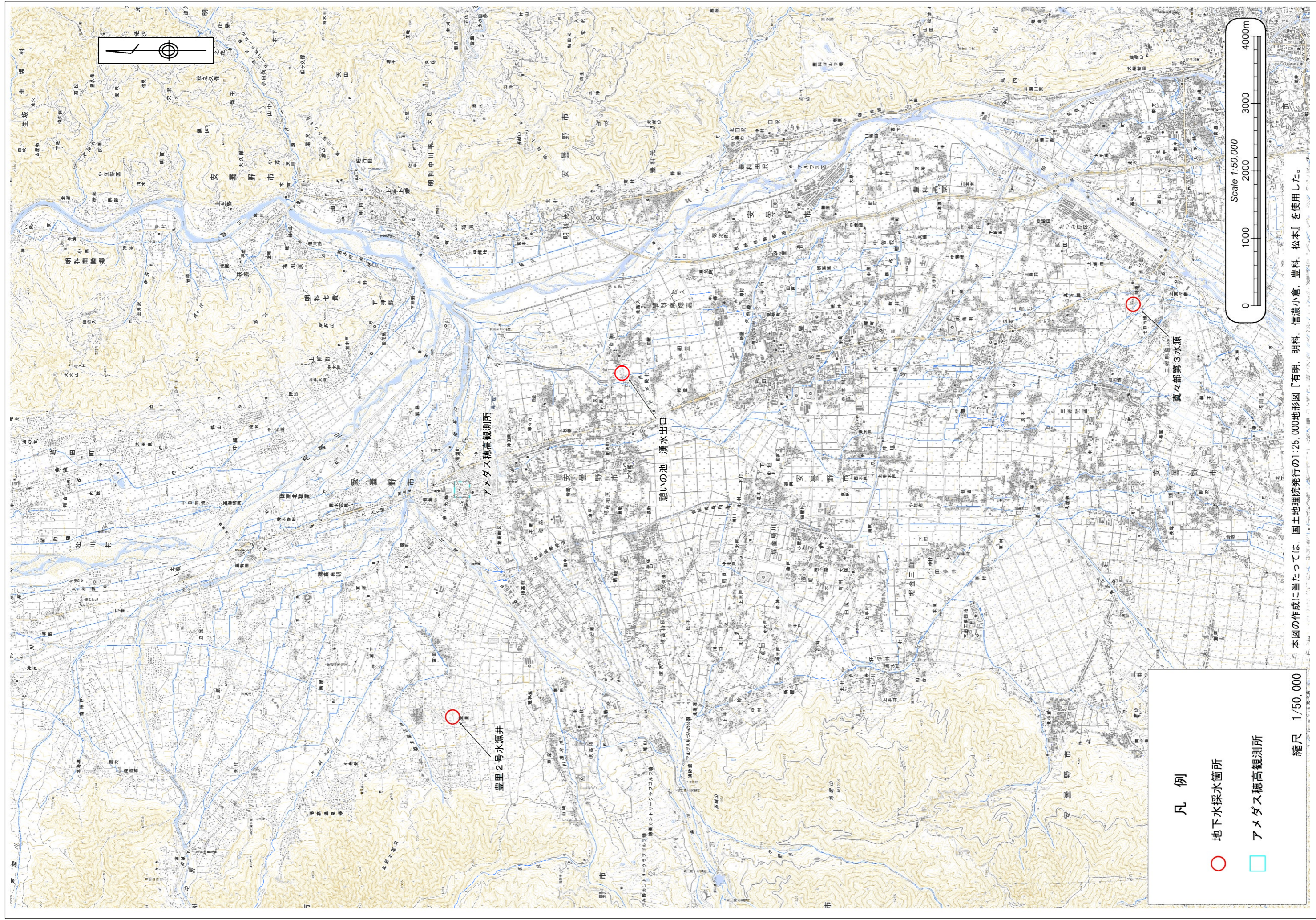
1. 業 務 概 要	1
2. トリチウムによる年代測定	3
2.1 トリチウムの特徴	3
2.2 トリチウムによる年代推定原理	3
3. SF ₆ （六フッ化硫黄）による年代測定	4
3.1 SF ₆ （六フッ化硫黄）の特徴	4
3.2 SF ₆ （六フッ化硫黄）による年代推定手順	4
4. 分析結果と年代推定結果	5
4.1 トリチウムによる年代推定結果	5
4.2 SF ₆ （六フッ化硫黄）による年代推定結果	6
5. 総 括	8
5.1 まとめ	8
5.2 考 察	8

1. 業務概要

本業務は、安曇野地域の地下水の水年齢（地下水の滞留時間）を調査し、今後の地下水保全及び涵養事業の基礎資料を得ることを目的として実施した。

調査は、本地域の代表的な湧水・地下水の3地点において試料を採水し、2種類の年代トレーサー（トリチウム・SF₆）の濃度を測定し、何年前に涵養した地下水であるかを推測するものである。

名 称	平成 25 年度地下水年代測定業務委託	
場 所	長野県安曇野市豊科・穂高（  図 1.1 参照） ①豊里 2 号井 ②真々部第 3 水源 ③豊科「憩いの池」の湧出口	
履 行 期 間	自 平成 25 年 5 月 1 日 至 平成 25 年 8 月 30 日	
調 査 内 容	トリチウムによる年代測定	3 検体
	SF ₆ （六フッ化硫黄）による年代測定	3 検体
	報告書作成	1 式



凡例

○ 地下水採水箇所

□ アメダス穂高観測所

縮尺 1/50,000



本図の作成に当たっては、国土院発行の1:25,000地形図「有明、明科、信濃小倉、豊科、松本」を使用した。

図1.1 調査位置図

2. トリチウムによる年代測定

2.1 トリチウムの特徴

トリチウム ($^3\text{H-T}$) は質量数 3 の水素の放射性同位体 (半減期 12.3 年) である。宇宙線の中性子と大気中の窒素との反応によって形成され、自然状態では水素 10^{18} 個に数個含まれている程度であるが、1953 年以降に実施された大気内核実験によって多くの人工トリチウムが生成された (Bomb ピーク)。

トリチウムは $^3\text{HT}^{18}\text{O}$ の形で水分子を構成し、水として自然界を循環している。水循環のインプットである降水のトリチウム濃度は図 2.1 に示すような大きな時間的な変動を持っている。トリチウムは化学的には水そのものであり、溶存成分のように周囲の物質と化学反応をすることがない。また地表面下にはトリチウムの起源が無いので、地下水は浸透した時期や地中における経過時間を直接的に反映したトリチウム濃度を持っている。

2.2 トリチウムによる年代推定原理

トリチウムによる年代推定は、12.3 年の半減期と降水の Bomb ピークの 2 つの特性を利用する。図 2.1 は東京の降水のトリチウム濃度の経年変動を示したもので、赤丸が測定値、オレンジ丸が 2013 年時点における各年の降水の濃度を表している。

核実験が開始された 1953 年以前の降水濃度は約 5TU* である。約 5 半減期 (60 年) が経過しているため、核実験開始前の降水濃度は、現在、約 0.3TU まで低下している。この濃度は、トリチウムの検出限界レベルに相当する。すなわち、核実験以前の降水によって涵養されている地下水 (水年齢 60 年以上) であれば、トリチウムが検出されないはずであり、逆にトリチウムが検出されるならば、核実験開始以降の降水を含んでいることが明確になる。このようにトリチウム検出の有無で水年齢 60 年以上かどうかを明確に判別できる点がトリチウムによる年代推定の最大の長所である (トリチウム未検出 = 古い地下水、検出 = 若い地下水)。また核実験開始後の降水は大きな濃度変動があるので、Bomb ピークとの対比によっておよその涵養年代を推定することが可能である。

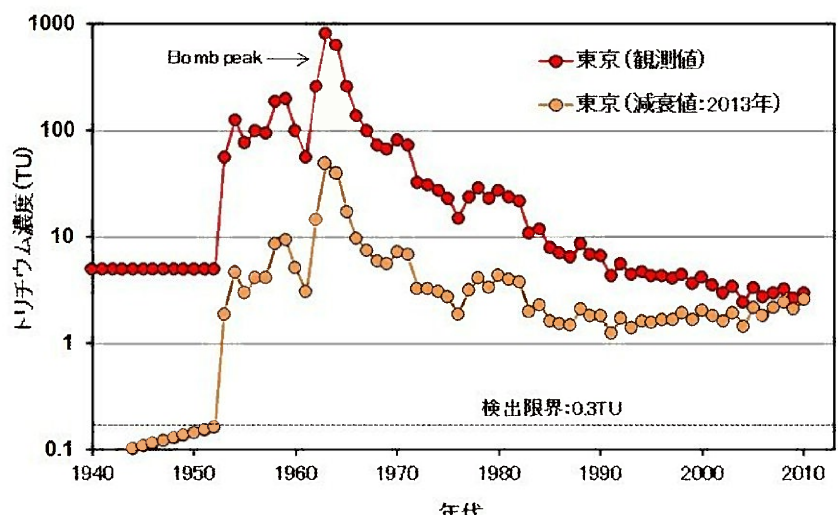


図 2.1 降水のトリチウム濃度の変動 (観測値・減衰値)

* TU (トリチウムユニット) : トリチウム濃度の表示単位。

1TU は水素 10^{18} 個に 1 個トリチウムが含まれている状態を表す。

3. SF₆（六フッ化硫黄）による年代測定

3.1 SF₆（六フッ化硫黄）の特徴

SF₆（六フッ化硫黄）は、変圧器の絶縁ガスなどに使用されている気体で、化学的に非常に安定な性質を持っている（大気中での寿命：約 3200 年）。大気中の SF₆ 濃度の変遷は、工業的な使用量の増加にともなって、1970 年代から現在まで濃度が上昇し続けている（現在の年上昇率：約 6%）。SF₆ による地下水年代推定法は、降水が浸透した時期によって地下水に取り込まれる SF₆ 量に差が生じることを利用した年代推定法で、40 年未満の地下水に対して理論的に年単位の年代推定が可能である。ただし、岩石由来の SF₆ 付加が大きい地域やローカルな人為活動由来の SF₆ が存在する地域では年代推定が難しくなる。

3.2 SF₆（六フッ化硫黄）による年代推定手順

SF₆ 年代は、測定した地下水の濃度を、ヘンリーの溶解平衡式を利用して地下水涵養時の大気濃度（大気換算濃度）に変換し、その濃度を過去の大気濃度履歴と比較することによって得られる。大気換算濃度の算出には地下水涵養時の温度・標高の設定が必要になる。

4. 分析結果と年代推定結果

2種類の年代トレーサーを使った分析結果は以下の通りであった。

No.	地点名	採水日	Tritium		SF ₆ (fmol/kg)
			TU		f mol/kg
1	豊里2号井	2013/6/11	2.6	±0.1	1.87
2	真々部第3水源	2013/6/11	3.1	±0.1	4.30
3	豊科「憩いの池」湧出口	2013/6/11	3.1	±0.1	1.76

トリチウム分析方法
 試料水中のトリチウム濃度を、Fe-Ni電極による電気分解によって20倍以上に濃縮後、低バックグラウンド液体シンチレーションカウンターによりβ線を計測し、採取日におけるトリチウム濃度を算出した。濃度単位は、SI単位系のBq/Lおよび水素原子(1H)10¹⁸個中のトリチウム(3H)原子数で表すトリチウム単位(T.U.)で表現。(1T.U.=3H/1H=10⁻¹⁸、1T.U.≒0.119Bq/L) 検出下限値: 0.3T.U. (0.03Bq/L)

SF6分析方法
 試料水約400 mlを前処理装置に導入して、純窒素のバブリングによって水中のSF₆を追い出し、冷却トラップに捕集後、ECD検出器付きガスクロマトグラフ(GC-8A)に導入して検出。SF6の分析精度は3.0%である。

4.1 トリチウムによる年代推定結果

トリチウム濃度は2.6TU~3.1TUの範囲にあり、有意のトリチウムが検出された。図4.1は試料水のトリチウム濃度を降水のトリチウム濃度と比較したものである。3試料の濃度は核実験開始以降の降水の濃度範囲に分布することが読み取られる。したがって、今回対象とした安曇野の地下水・湧水は核実験開始以降に涵養された若い地下水(水年齢60年未満)であると明

確に判断される。また地下水・湧水の濃度は、1970年以降の降水の濃度と近いことから、主に過去40年以内に降った降水によって涵養されていると推定される。

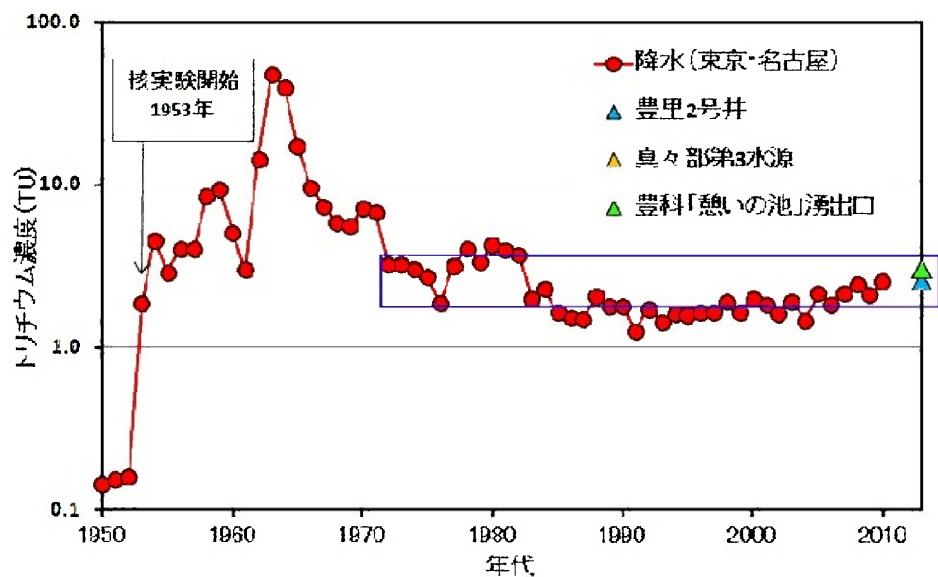


図4.1 トリチウム年代

(各年の降水の値は、半減期による減衰を考慮した2012年時点の値)

4.2 SF₆（六フッ化硫黄）による年代推定結果

地下水・湧水の濃度は1.76～4.30 fmol/kgを示した（表4.1）。この濃度を涵養時の大気濃度に変換し、大気濃度履歴と比較したのが図4.2である。地下水涵養時の温度と標高には、気象庁アメダス穂高の年平均気温と標高を採用した。大気濃度には日本列島付近の値を用いた。豊里2号井と憩いの池のSF₆濃度は大気濃度変動の範囲内にあり、涵養年代はそれぞれ2000年、1999年と見積もられた（図3）。採水年と涵養年代の差から求められる豊里2号井と憩いの池の滞留時間（水年齢）はそれぞれ13年、14年である。この年代はトリチウム年代とも調和的である。真々部第3水源については、SF₆濃度が大気濃度の変動範囲よりも高く、涵養・流動の過程で大気以外に由来するSF₆が付加していると考えられた（SF₆年代推定不可能）。

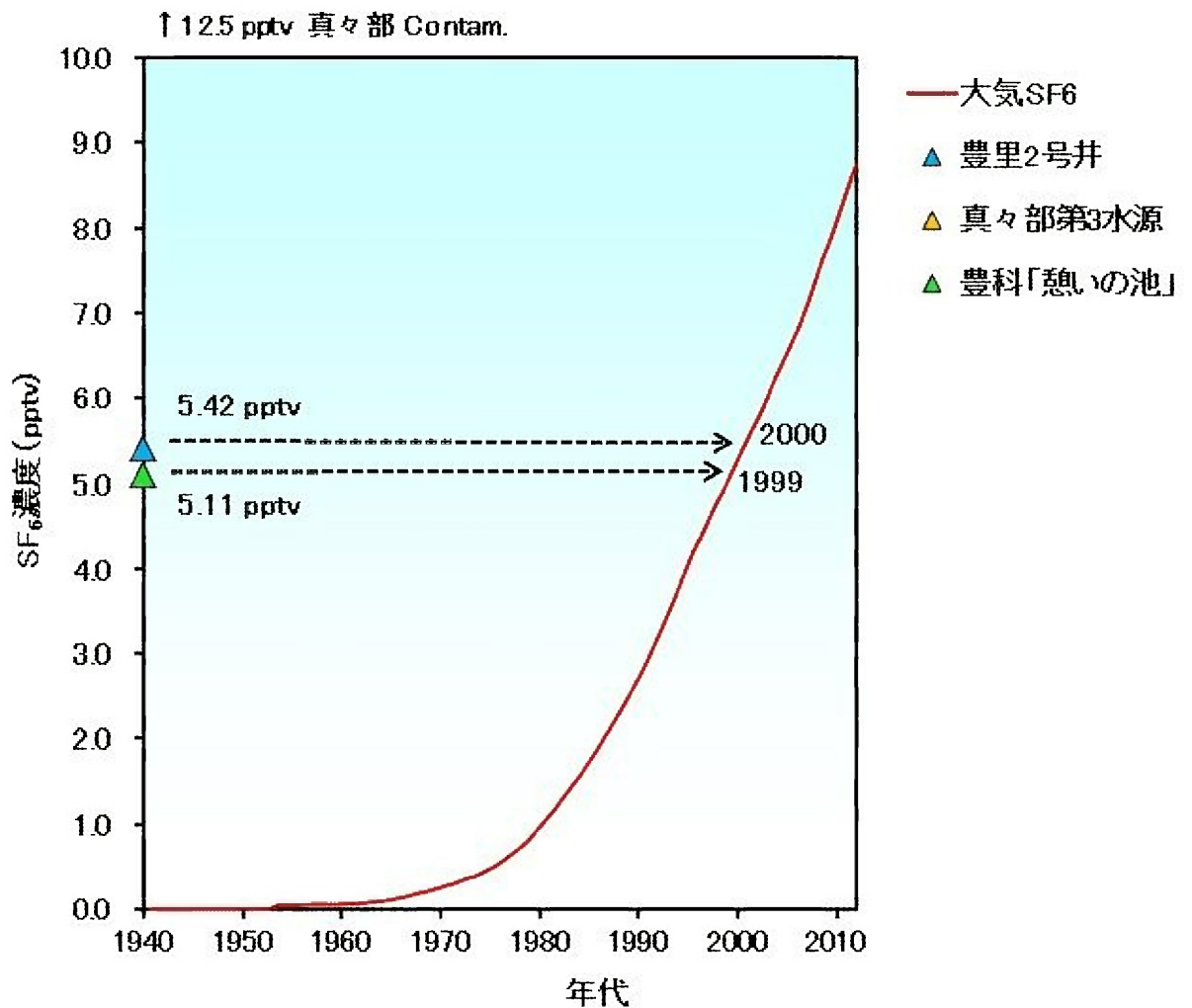


図4.2 SF₆（六フッ化硫黄）年代

表4.2 地下水年代推定結果

No.	試料名	トリチウム年代		SF6年代				
		判別	滞留時間	涵養温度 (°C)	涵養標高 (m)	大気換算濃度 (pptv)	涵養年代 (年)	滞留時間 (年間)
1	豊里2号井	若い地下水	40年以内	11.5	540	5.42	2000	13
2	真々部第3水源	若い地下水	40年以内	11.5	540	12.47	Contam.	np
3	豊科「憩いの池」湧出口	若い地下水	40年以内	11.5	540	5.11	1999	14

涵養温度: 穂高気象観測所測定の年平均気温を適用

涵養標高: 穂高気象観測所の標高

大気換算濃度: 地下水涵養時の大気濃度

Contam.: ローカールな工業由来SF6の付加

np: 計算不可能

5. 総括

5.1 まとめ

性質の異なる2種類の年代トレーサーを用いて安曇野の代表的な地下水・湧水の年代推定を実施した。得られた知見を以下に列挙する。

- ・全試料から有意のトリチウムが検出され、若い地下水(水年齢:60年未満)であることが明確になった。また降水の濃度曲線との比較によって、主涵養期は40年以内と推定された。

- ・SF₆に基づいて、豊里2号井と憩いの池の水年齢は約10年~15年と見積もられた。真々部第3水源については、SF₆年代が得られなかったが、トリチウム濃度は他の2地点と同レベルであるため、同程度の滞留時間を持っていると推測される。

5.2 考察

比較的若い水年齢が得られた要因としては、今回対象とした3地点が、河川浸透水の影響を受けやすい河川近傍(真々部)や扇頂(豊里)に位置することや表層水の混入を受けやすい湧水(憩いの池)であることが挙げられる。昭和の日本百名水の湧水・地下水は、すべてトリチウムを含む若い地下水であることが明らかにされていることから、安曇野の地下水・湧水の水年齢は、地下水の循環速度の速い日本の特性を反映した一般的な値であると言える。

今後、本地域における地下水の流動状況の実態を正確に理解し、そのデータを地下水資源の管理に役立てるためには、水年齢の分布を平面的及び3次元的に把握することも重要と考えられる。