

地下水の放射性炭素年代測定

BETA ANALYTIC INC. 日本総代理店
(株)地球科学研究所

地下水の放射性炭素年代測定

地下水の放射性炭素年代測定は地下水の汚染、枯渇を未然に防ぎます。

シミュレーション版 “地下水の年代測定” (汚染と復旧) もご覧ください。



あなたは井戸の揚水量の管理にどのようなデータを使っていますか？ 理論上の水理モデル？ または汚染、枯渇してしまった後の化学データ？ 放射性炭素年代測定はそういったデータとは違い、将来にわたって地下水の適切な利用量を教えてくれます。汚染、枯渇してからではもう遅いのです。1リットルの水を採取し送っていただければ、井戸管理に有用なデータをお届けいたします。

放射性炭素年代測定は同位体時計を利用した年代測定のなかではもっともポピュラーで考古学や地質学などの分野でよく利用されています。他の年代測定方法が不確実な要素に左右されやすいのに比べ、放射性炭素年代測定は試料の放射性炭素量を計測するだけのシンプルで確実な方法です。

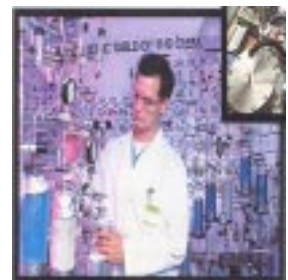


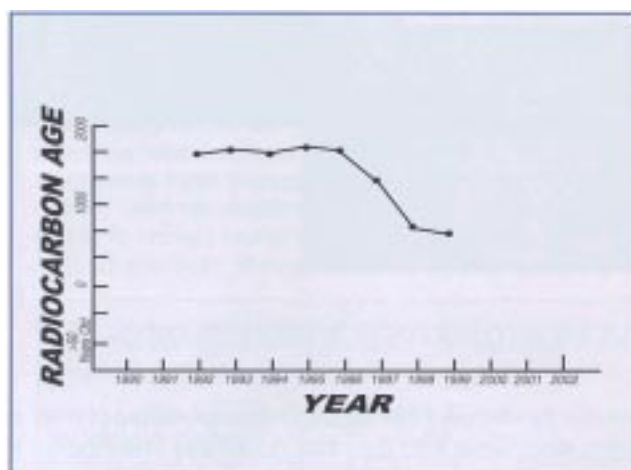
地下水の適切な利用量を予測します

人口が増加するにつれて水の利用量も急激に増えます。行き過ぎた開発は、最終的には水の供給量の減少につながり、その影響は涵養域から遠い地区にさえ大きな影響を与えます。高い生産性を追い求めて土地の開発を進めた結果、開発が涵養域にまで及び、水の需要に追いつくために新しく掘削された井戸の揚水量が涵養量を超えると、たちまち水不足の問題につながる可能性があります。井戸水の放射性炭素年代を定期的に調べることによって、深刻な事態に陥る前に水の利用量が適切かどうかを予測することができます。従来の方法ではいったん開発が進んでしまうとなかなか使い過ぎを防ぐのは困難でした。なぜなら使い過ぎかどうかを見極めること自体が難しいからです。放射性炭素年代測定は誰にでもわかりやすい方法でこの問題を解決します。

地下水の汚染を防ぎます

定期的に放射性炭素年代を測定することによって、揚水の供給源の変化をチェックすることができます。つまり年代値が若くなっていく傾向にあれば、井戸揚水が新しい水を引き込んできているという証拠です。このような現象は、例えば過剰な揚水や、新たに井戸がたくさん掘削されることによって起こります。いずれにせよ、こういった場合には飲料などに用いられていた地下水の滞水層に表流水が混入してきていることを示しています。放射性炭素年代測定はこういった滞水層の汚染を未然に防ぐことができます。まさに総合的で環境にやさしい調査です。





わかりやすいデータ

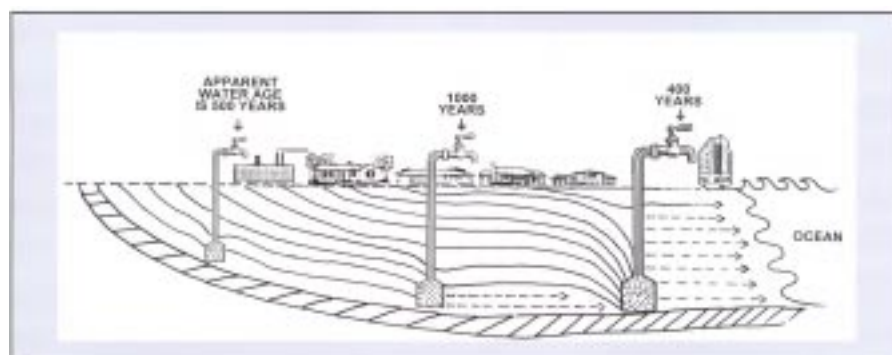
化学分析によるデータは地下水の専門家にとっては大変重要なものとなります。しかし実際に井戸を管理しなくてはならない人たちや、井戸を利用する一般の人たちにとってはなかなか解釈が難しいものです。放射性炭素年代はとても理解しやすく、そういった一般の人たちと専門家の橋渡しとなり得るのです。専門家以外の人でも上のグラフを見ていただければ近年この井戸が新しい水を引き込んでしまっていることが一目瞭然だと思えます。

採水方法と試料の送り方

水は井戸口で1リットルの採水用ポリ容器に採取してください。採取する前に2-3分間井戸水を流しっぱなしした後、同じ水で軽くピンを洗ってから採水してください。水をピンの肩口まで注いだ後、少量の水酸化ナトリウム(NaOH)を加えしっかりとふたを閉めてください。(水酸化ナトリウムはこちらでご用意することもできます。)水から二酸化炭素(CO₂)が逃げないように、また新しく大気中の二酸化炭素が入ってこないように、ふたをビニルテープなどでしっかりとシールしてください。ピンに試料名を消えないように書きデータシートとともにお送りください。輸送中にピンが壊れないよう梱包には細心の注意をお願いいたします。

品質管理

Beta Analyticがお届けするデータの品質の高さは他に比類なきものです。我々は15万試料以上という他のラボではまったく追従することのできない数の測定を手がけてきた経験を持っています。標準試料にはNBS-Oxalic Acid(new,old)を用いるなど測定はすべて国際的に認められた方法で厳しい品質管理の下に行われています。**Beta Analytic**は世界で唯一のUSGS(アメリカ合衆国地質調査所)およびDOE(アメリカ合衆国エネルギー省)両方の品質管理プログラムをパスした放射性炭素年代測定研究所です。IAEA(国際原子力機構)などの準標準試料による年代値の監視はもちろん、常に最高の正確度、精度が得られるよう様々なクロスチェックがなされています。





地下水の放射性炭素年代測定

(井戸の汚染と復旧)

あなたならこの結果をどう解釈しますか？

ヒント：放射性炭素年代を水の年齢(絶対年代)と
考えず、それぞれの井戸での経年変化を
観察してください。

私たちの解釈は最後のページにあります。

同一流動系内の井戸における地下水の放射性炭素年代測定

要約

本研究の調査対象となった20箇所の井戸は、西-東方向の同一流動系に含まれ、すべて不圧地下水である。また地域住民にとっては唯一の飲料水の供給源となっている。滞留時間は長く現在の揚水量率から推定すれば、今後150年間は十分活用できることが期待されていた。1993年6月における第1回目の調査で行った放射性炭素年代測定結果によると年代値はいずれも古く、滞留時間の長い地下水であることが証明された。しかしながら、最東に位置する井戸は他の井戸に比べ約2万年弱ほど若い年代値を示した。この2本の井戸における相対的に若い年代値は、われわれの水理学的なモデルと矛盾するものであったため、1993年から1998年にかけて年1回の定期観測による更なる検証を行った。その結果1993年から1995年にかけて流動系の東端から相対的に若い年代値を示す井戸が増加した。われわれは1995年より相対的に若い年代値を示した5本の井戸の揚水量を減らした。その結果1998年の調査では、それら5本の井戸は1993年当時の東側2本を除く井戸の年代値と同等の値を示すようになった。

はじめに

調査対象となった涵養域の地下水は水文学的な調査により不圧地下水であり、滞留時間が非常に長いことがわかった。放射性炭素年代測定はそれを実証するためのひとつの手段と成り得る。一般的に古い年代値は滞留時間が長いことを証明する。さらに放射性炭素年代の定期的な観測によって、井戸が枯渇、汚染する危険を事前に予測できる。なぜなら年代値の顕著な変化は他の滞水層からの地下水の混入を示唆するからである。

放射性炭素年代測定法は、天然の炭素中に存在する放射性同位体(¹⁴C)が5730年の半減期に基づき放射崩壊することを利用して植生物の死後の経過時間を求める。地下水の放射性炭素年代の場合は、地下水が滞水層に浸透してから経過したおよその時間を意味する。本研究の滞水層においては上部層が下部層より若い年代値を示した。井戸の能力を超えた汲み上げ、揚水量の増減は年代値に変化をもたらす。つまり地下水の放射性炭素年代の定期観測は涵養域における地下水揚水量の適正を判断するバロメータと成り得る。

調査方法

1993年6月15、16日の2日間にわたって20箇所の井戸において採水を行った。1リットルのポリエチレン容器に採水した後0.5gの水酸化ナトリウムを加えた。それら全ての試料水についてアメリカのベータアナリティック社において放射性炭素年代測定をおこなった。

測定は加速器質量分析法(AMS)によって行った。まず1リットルにつき1.2gの塩化ストロンチウムを加え、試料水中の無機炭素を炭酸ストロンチウムとして沈殿させた。沈殿物は中性になるまで洗浄し、乾燥させた後リン酸と反応させCO₂ガスを生成した。得られたCO₂ガスを精製した後、コバルト触媒をもちいて600℃に加熱しグラファイトを調製した。それらグラファイトをターゲットとしAMSによって年代測定を行った。

同様の方法を用いて1998年まで年1回の定期観測を行った。

1993年放射性炭素年代測定結果（ベースラインの確認）

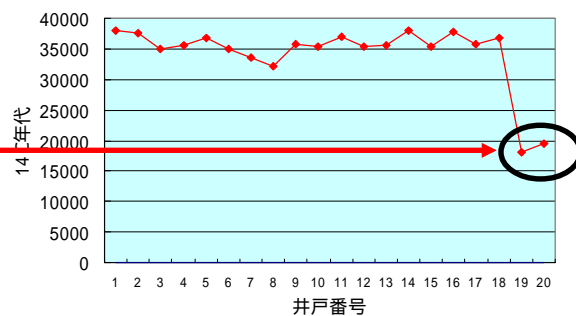
1993年6月15、16日の2日間にわたって20箇所の井戸において採水を行い全ての試料水についてベータアナリティック社において放射性炭素年代測定を行い、以下の結果を得た。

採水日	井戸番号	深度(m)	14C年代(yBP)
1993/6/15	1	92	38000
1993/6/15	2	86	37500
1993/6/15	3	62	34980
1993/6/15	4	77	35500
1993/6/15	5	80	36770
1993/6/15	6	61	34890
1993/6/15	7	57	33500
1993/6/15	8	48	32100
1993/6/15	9	77	35750
1993/6/15	10	68	35300
1993/6/16	11	82	36900
1993/6/16	12	65	35400
1993/6/16	13	71	35590
1993/6/16	14	88	37900
1993/6/16	15	65	35390
1993/6/16	16	88	37810
1993/6/16	17	75	35690
1993/6/16	18	81	36850
1993/6/16	19	75	18000
1993/6/16	20	66	19500

クエスチョン No.1
 なぜこれら18の井戸では古い放射性炭素年代が得られたのでしょうか？

クエスチョン No.2
 なぜこれら2本の井戸では他の18本の井戸より若い放射性炭素年代が得られたのでしょうか？

Radiocarbon Ages of 20 Wells in June 1993



1993年～1995年：定期観測結果

1993年6月の調査に引き続き20箇所の井戸において3年間にわたり年1回の放射性炭素年代定期観測を行った。放射性炭素年代の変化は地下水流動の変化とその原因の解明に用いられた。

井戸番号	深度(m)	14C年代(yBP)		
		1993/6	1994/6	1995/6
1	92	38000	37890	38270
2	86	37500	37450	37580
3	62	34980	34890	35010
4	77	35500	35600	35450
5	80	36770	36660	36710
6	61	34890	34810	34920
7	57	33500	33390	33590
8	48	32100	32050	32150
9	77	35750	35720	35850
10	68	35300	35210	35420
11	82	36900	36810	36790
12	65	35400	35380	35410
13	71	35590	35640	35510
14	88	37900	37910	37870
15	65	35390	35360	35280
16	88	37810	37780	29000
17	75	35690	35640	24000
18	81	36850	36880	18000
19	75	18000	12000	7000
20	66	19500	11700	8200

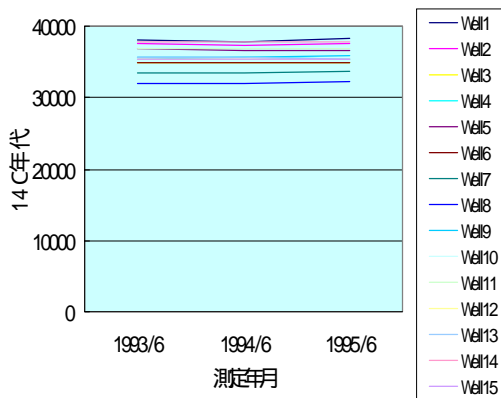
クエスチョン No.3

なぜこれら15本の井戸では3年間にわたって放射性炭素年代変化が見られないのでしょうか？

クエスチョン No.4

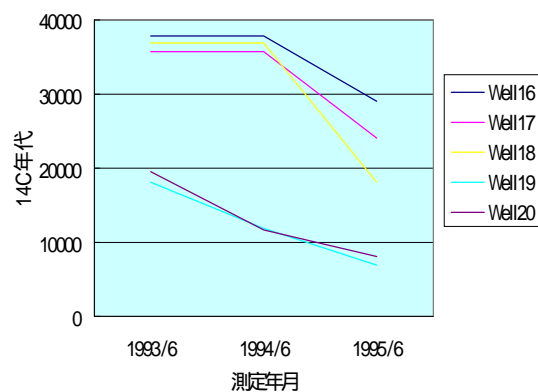
なぜこれら5本の井戸では3年間にわたって放射性炭素年代に減少傾向が見られるのでしょうか？

15 Wells Showed No Change Over 3 Years



15本の井戸は3年間にわたり変化が見られなかった。

5 Wells Showed Changes Over 3 Years



井戸19及び20は1993年以来減少しつづけた。井戸16、17および18は1995年より減少し始めた。

1993年～1998年：定期観測結果（汚染と復旧）

1993年から1998年の間20本の井戸のうち10本の放射性炭素年代に変化が見られた。それら10本の井戸うち5本の井戸について揚水量を1995年より減らし回復を試みた。

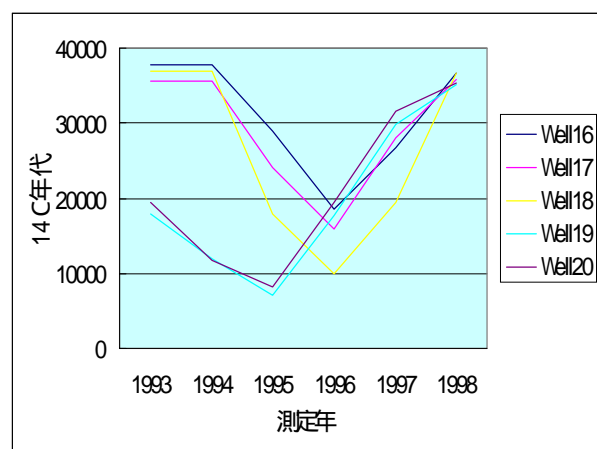
井戸番号	深度(M)	14C年代					
		1993/6	1994/6	1995/6	1996/6	1997/6	1998/6
1	92	38000	37890	38270	38100	37910	37980
2	86	37500	37450	37580	37550	37290	37650
3	62	34980	34890	35010	35100	34950	35110
4	77	35500	35600	35450	35700	35470	35610
5	80	36770	36660	36710	36690	36710	36680
6	61	34890	34810	34920	34860	35000	34990
7	57	33500	33390	33590	33610	33490	33460
8	48	32100	32050	32150	32210	32010	32180
9	77	35750	35720	35850	35690	35850	35670
10	68	35300	35210	35420	35350	35430	35380
11	82	36900	36810	36790	36950	36740	24000
12	65	35400	35380	35410	35290	35510	22000
13	71	35590	35640	35510	35610	24000	17500
14	88	37900	37910	37870	37900	27980	18000
15	65	35390	35360	35280	35340	22900	14000
16	88	37810	37780	29000	18500	26660	36670
17	75	35690	35640	24000	16000	27980	35700
18	81	36850	36880	18000	10000	19340	36750
19	75	18000	12000	7000	17750	29770	35200
20	66	19500	11700	8200	19400	31660	35430

クエスチョン No.5

なぜ1993年から1998年の間、20本のうち10本の井戸の放射性炭素年代に変化がみられたのでしょうか？

クエスチョン No.6

管理者は1995年以降井戸16～20の揚水量を減らしました。すると1998年には再び古い放射性炭素年代を示すようになりました。なぜでしょうか？



私たちの答え

クエスチョン No.1

なぜこれら 18 の井戸では古い放射性炭素年代が得られたのでしょうか？

(1) 涵養率が非常に遅い (滞留時間が非常に長い)。 または (2) 水文調査の結果に反して被圧地下水である。

クエスチョン No.2

なぜこれら 2 本の井戸では他の 18 本の井戸より若い放射性炭素年代が得られたのでしょうか？ (1) 地下水系が異なっている。 または (2) 同じ地下水系であるが、過剰揚水によって地表水が混入している上層の若い年代の地下水が混入した。 または (3) 井戸のケーシングパイプが破損している。

クエスチョン No.3

なぜこれら 15 本の井戸では 3 年間にわたって変化が見られないのでしょうか？

(1) 安定した涵養域である。 または (2) 被圧地下水である。 (3) 揚水量が適正であり井戸の能力を超えていない。

クエスチョン No.4

なぜこれら 3 本の井戸では 3 年間にわたって減少傾向が見られるのでしょうか？

上層からの若い年代の水の混入は、表流水の混入を示唆している。 それは人口の増加などにより揚水量が井戸の能力を超えた、上流地域において多くの新しい井戸を掘削

した、新規上流部開発、最近の地質学的な現象、井戸のケーシングパイプの破損などの理由が考えられる。

クエスチョン No.5

なぜ 1993 年から 1998 年の間、20 本のうち 10 本の井戸に変化がみられたのでしょうか？

上流の開発によって下流域の井戸が現状の揚水量率では供給能力を維持できなくなった。 上層からの若い年代の水の混入は、地下水系への表流水の混入を示唆している。 時間の経過とともに自体は悪化し開発の影響を受ける井戸が増加した。 放射性炭素年代から井戸 19 と 20 が最初に影響を受け、徐々に他の井戸にも拡大していった様子がうかがえる。

クエスチョン No.6

管理者は 1995 年以降井戸 16 ~ 20 の揚水量率を減らしました。すると 1998 年には再び古い放射性炭素年代を示すようになりました。なぜでしょうか？

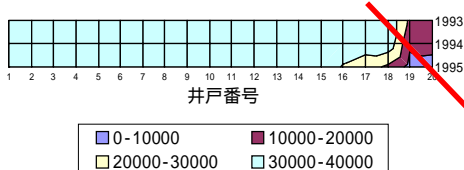
揚水量を減らしたことにより井戸が 1993 年と同じ状態に回復した。放射性炭素年代は、以前の揚水量率では上部滞水層から表流水の混入している地下水を引ひきこんだことを示唆している。

5 年間の定期観測による結果、放射性炭素年代は (1) 流動系と (2) 井戸が枯渇、汚染しないための限界揚水量を提示している。

赤線は流動系を示している。揚水量率を調整しないかぎり新しい水による汚染はこの線に沿って進むことが予想される。

1995 年に井戸 16 ~ 20 の揚水量を減らした結果井戸 16 ~ 井戸 18 は 1993 年の年代値に戻った。井戸 19 と井戸 20 は 1993 年の年代値より古くなった。これは 1995 年以前の揚水量率が井戸の能力の限界を超えていたことを示している。

Surface View: Radiocarbon Ages vs. Location vs. Year: 1993 to 1995



Surface View: Radiocarbon Age vs. Location vs. Yr: 1993 to 1998

