

JNC TN7520 2003-001

試錐孔を利用した地下水の地球化学特性調査手法と品質管理

2003 年 11 月

東濃地科学センター

核燃料サイクル開発機構

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4 番地 49

核燃料サイクル開発機構  
技術展開部 技術協力課

Inquires about copyright and reproduction should be addressed to :

Technical Cooperation Section,  
Technology Management Division,  
4-49 Muramatsu, Naka-gun, Ibaraki 319-1194, JAPAN

©核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)  
2003

JNC TN7520 2003-001

2003年11月

## 試錐孔を利用した地下水の地球化学特性調査手法と品質管理

古江良治<sup>1</sup>, 岩月輝希<sup>1</sup>, 水野崇<sup>1</sup>, 須榮英樹<sup>1</sup>

### 要旨

東濃地科学センターでこれまでに行ってきた、試錐孔を利用した地下水の地球化学特性の調査に関して、地下水の地球化学データの取得方法についてまとめた。

試錐孔を利用して地下水採水をする場合、試錐孔掘削に使用する掘削水などより地下水は乱される。したがって、地下水を採水する際には、1) 蛍光染料などを加えた掘削水を使用して試錐孔を掘削、2) 水中ポンプまたはベーラー(つるべ)による掘削水の排水、3) 掘削水が排除された段階で地下水採水という手順ですすめられる。

ここに示す各段階における品質管理手法の考え方は、得られた地下水の地球化学特性データの品質を保証するために有効である。

---

<sup>1</sup> 東濃地科学センター

JNC TN7520 2003-001

November, 2003

## Hydrochemical investigation method using boreholes

Ryoji Furue<sup>1</sup>, Teruki Iwatsuki<sup>1</sup>, Takashi Mizuno<sup>1</sup>, Hideki Mie<sup>1</sup>

### Abstract

TGC is conducting hydrochemical investigation in the Tono area. This book explains about outline of the method to obtain hydrochemical data from boreholes.

When a borehole is drilled, groundwater is contaminated by drilling fluid. Therefore a hydrochemical investigation using boreholes progresses ; 1) drilling the borehole using drilling fluid which contains fluorescent dye, 2) drawing out drilling fluid from the borehole by pumping out or bucketing, 3) sampling groundwater after drawing out drilling fluid. Quality control methods on each stage shown here ensure the reliability of data obtained through hydrochemical investigations.

---

<sup>1</sup> Tono Geoscience Center

## 目 次

1.はじめに	1
2.東濃地科学センターで実施している試錐孔を利用した採水手法	2
2.1 採水手法の概要	2
2.2 各手法の適用性	2
3.各採水手法に共通する採水時の品質管理	4
3.1 地下水採水工程の概要	4
3.2 試錐孔掘削および物理検層	5
3.2.1 掘削水の管理	5
3.2.2 孔内洗浄水、検層用水の管理	8
3.2.3 その他、地下水化学データの品質に関わるもの	8
3.3 掘削水の排水	9
3.3.1 掘削水の地下水に対する汚染の把握	9
3.3.2 地下水採水を行うための判断基準	9
3.3.3 その他、地下水化学データの品質に関わるもの	10
3.4 分析試料採取と化学分析	10
3.4.1 試料採取および試料の取り扱い	10
3.4.2 物理化学パラメータ測定	11
3.4.3 トレーサー濃度分析	11
3.4.4 化学成分分析	12
3.4.5 同位体分析	12
4.データの検証	12
4.1 物理化学パラメータ	13
4.2 化学成分分析値	13
4.3 同位体分析値	14
5.おわりに	14
6.参考文献	15

### 図表目次

図 1 地下水採水の概要（揚水試験の例）	4
図 2 試錐孔掘削時の汚染と掘削水排水過程（揚水試験の例）	5
図 3 掘削水管理の概要	6
図 4 トレーサー濃度と揚水試料の化学分析結果の相関図の例	10
図 5 物理化学パラメータ値のデータの検証	13
表 1 用語定義と用語説明	1
表 2 各採水手法の特徴と比較	3

### 付 錄

付録 1 掘削水に添加する蛍光染料の適用性について

付録 2 様々な蛍光染料の基礎データ

## 1. はじめに

核燃料サイクル開発機構東濃地科学センターでは、深度 1,000m 級の試錐孔を掘削し、深部地質環境の調査・研究を実施している。深部地質環境の調査・研究のうち地下水の地球化学環境に関する調査・研究では、地下水の地球化学的特性（物理化学パラメータ、化学組成および同位体組成）の三次元的分布の把握やそれに基づく水質形成モデルの構築などを行っている。本報告では、地下水の地球化学特性に関する調査方法の概要と各方法の適用性、各方法に共通する品質管理手法について述べる。

なお本報告で使用する用語は表 1 のように定義する。

表 1 用語定義と用語説明

用語	用語説明
掘削原水	井戸水・河川水・水道水など掘削に使用する水。トレーサーを加えて利用する。
掘削循環水	上記掘削原水を掘削に使用し、循環して再度掘削に使用する水。
掘削水	掘削原水・掘削循環水を掘削水と定義。
孔内洗浄水	スライムを除去するためなど孔内洗浄に使用された水。原則として掘削原水を使用する。
検層用水	検層に使用される水。原則として掘削原水を使用する。
化学成分分析	地下水に溶存しているイオン、溶存物質の濃度を求めるための分析。
同位体分析	地下水中の元素の同位体濃度または同位体比を求めるための分析。
物理化学パラメータ測定	pH、電気伝導率(EC)、酸化還元電位(ORP)、溶存酸素濃度(DO)、水温などのデータの測定。
予備排水試料	掘削水を除去するために、採水区間から地上に汲み上げ採取した水。トレーサーが除去しきれていない水。
地下水	自然状態で地層中に存在する水。掘削水などの汚染が地下水化学データに対して有意な影響を与える場合は、汚染程度を明記する必要がある。大気の影響や減圧の影響など、採水時の影響に対しても同様である。

## 2. 東濃地科学センターで実施している試錐孔を利用した採水手法

### 2. 1 採水手法の概要

東濃地科学センターでは 1,000m 級試錐孔を利用した地下水の採水方法として、これまでに以下の手法を用いている。これらは、パッカーを用いて試錐孔内の特定区間を区切ることにより採水区間を設定することができる。

#### (1) MP システム

このシステムは、複数区間での長期間にわたる地下水圧連続モニタリングと採水を目的としたシステムである (Black et al., 1986 ; 岩月ほか, 1998)。設置期間中はいつでも原位置からの採水が可能である。また、最近では化学プローブの開発が進み、原位置での物理化学パラメータ (pH, ORP, EC, 水温, 水圧) の測定が可能になりつつある。本装置による地下水採水は、目的深度までの試錐掘削終了後に限られる。また、設置後に設定区間の変更を行うためには、装置を試錐孔より取り出して再設置する必要があり、採水区間を十分に検討した上で試錐孔に設置する必要がある。

#### (2) 1,000m 対応地下水の地球化学特性調査機器（以下、1,000m 対応調査機器と略）

本調査機器は、深度 1,000m 対応の採水装置と地下水の物理化学パラメータ (pH, ORP, EC, 硫化物イオン濃度, 水温) を原位置で測定する地球化学検層ユニットから成り立っている (岩月ほか, 1998)。本手法では、ポンプによる採水を行う連続採水と原位置で採水を行うバッチ式採水の両方が可能である。また、原位置において物理化学パラメータの同時測定が可能である。

#### (3) 水理試験に伴う揚水過程での採水（以下、揚水試験と記述）

本手法の主たる目的は岩盤の透水性を調査する水理試験であるが、その水理試験中に実施される揚水試験で汲み上げられる地下水を試料として採取する。本手法の最も大きな特徴は、水理試験と同時に同区間での採水が可能であるため、水理試験と採水の両方を行う場合に装置を入れ替える必要がなく、時間・予算共に有効に使うことができる点である。しかしながら、この手法では地上にフローセル型電極を備えた物理化学パラメータ測定装置を設置し、揚水された地下水の物理化学パラメータを測定することになるため、データの品質低下を避けられない。さらに、溶存ガスなど圧力に依存する成分の測定値の品質も低下してしまう問題がある。

### 2. 2 各手法の適用性

以上の 3 通りの採水方法の持つ特徴を表 2 にまとめた。信頼性の高い地下水の化学データは、バッチ式採水と原位置での物理化学パラメータ測定が可能な採水手法を選択できれ

ば得られる。しかしながら、採水調査の優先度、調査の際の限られた時間と予算等の理由のために、それらの選択が難しい場合は、代替手段としてよりよい選択肢を選ばなくてはならない。

表2 各採水手法の特徴と比較

	MP システム	1,000m 対応調査機器	揚水試験
採水機能	バッチ式採水 連続採水	バッチ式採水 連続採水	連続採水
採水区間	多区間	一区間	一区間
採水箇所	原位置・地上	原位置・地上	地上
物理化学パラメータの 原位置測定	可 (実用化段階)	可	不可
設定可能な採水区間長	0.5m~	0.5~10.0m	0.5m~
バッチ式採水時の一度 の採水可能量	0.25~1L	0.5L	—
掘削途中の採水	不可	可	可
採水長期化に伴うコス ト増加	小	大	大
低透水性岩盤での採水	可	可	不可
設置・採水の時間	長	短	短

### 3. 各採水手法に共通する採水時の品質管理

#### 3. 1 地下水採水工程の概要

地下水の採水は、基本的にどの採水方法を用いた場合でも、1) 挖削水を使用して試錐孔を掘削、2) 水中ポンプまたはベーラー（つるべ）による掘削水の排水、3) 地下水採水 (MP システムではパッチ式ボトル、1,000m 対応地下水の地球化学調査機器ではパッチ式ボトルまたはポンプによる揚水方式、揚水試験ではポンプによる揚水) という手順で進められる (図 1, 2 参照)。

このような試錐孔掘削から採水までの過程において、地下水の汚染源として、試錐孔掘削に使用する掘削水等の地層中に人為的に注入される水が最も大きく、その他にも各工程において地下水の化学データの品質を低下させる様々な要因が存在する。次項以降では、各工程に潜在する汚染の要因とそれに対して品質を担保できる地下水化学データを得るために、東濃地科学センターで実施している管理手法について述べる。

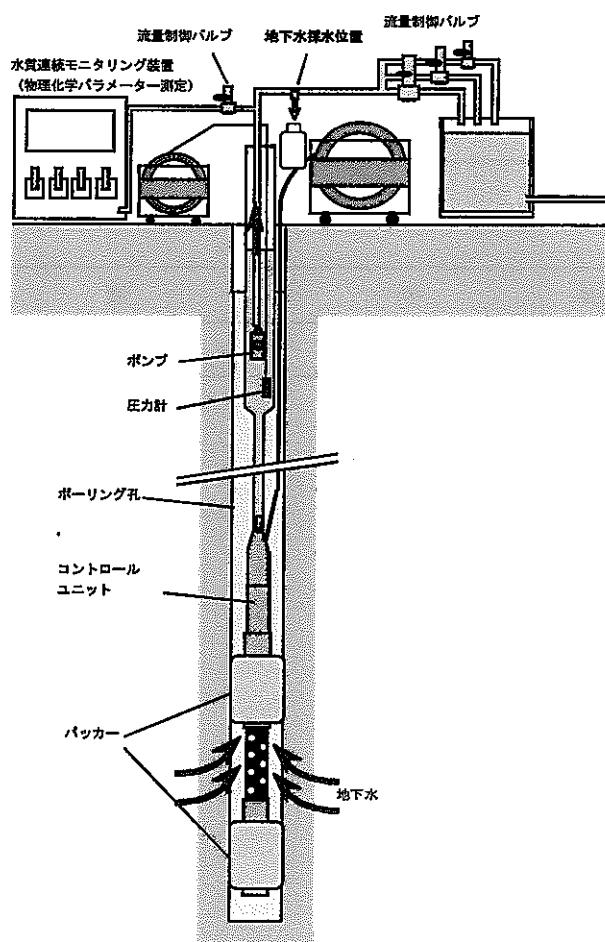


図 1 地下水採水の概要 (揚水試験の例)

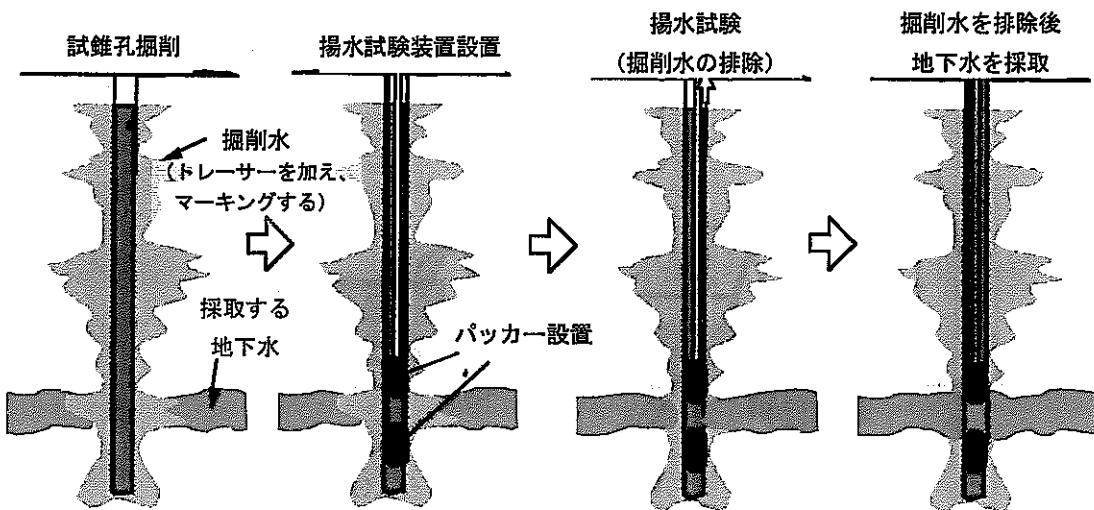


図2 試錐孔掘削時の汚染と掘削水排水過程（揚水試験の例）

### 3. 2 試錐孔掘削および物理検層

試錐孔掘削には掘削水（掘削原水および掘削循環水）や孔内洗浄水が使用され、一部の物理検層では検層用水が使用される。これらがもともと地層中に存在していた地下水に対する汚染源となる。この汚染を最小限にとどめ、また汚染の程度を定量的に把握するために、ここでは試錐孔掘削および物理検層時に使用する掘削水、孔内洗浄水および検層用水の管理方法について述べる。

#### 3. 2. 1 掘削水の管理

掘削水とは、表1に示すようにここでは掘削原水と掘削循環水を示す。掘削原水は井戸水、河川水および水道水などを利用し、試錐孔現場まで運搬して保管する。これを掘削循環水として利用する際にトレーサーを加えて掘削に使用する（図3）。

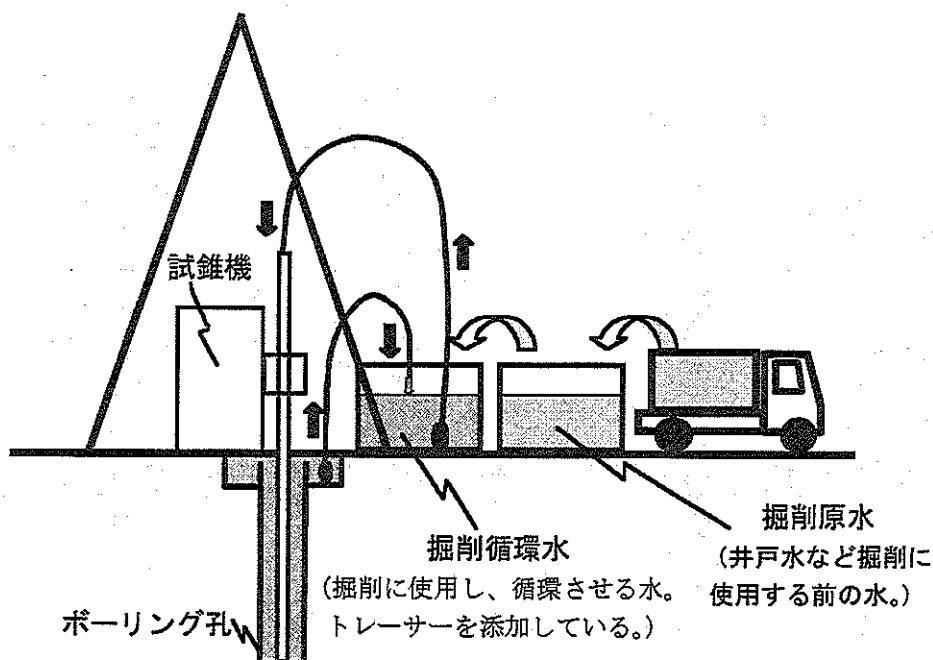


図3 掘削水管理の概要

### (1) 掘削原水の選定

掘削水の原料となる掘削原水は、地下水に類似したものを選ばなければならない。たとえば、淡水系地下水の分布する地域で海水のような塩分濃度の高い水を掘削原水として用いた場合、岩石の化学組成が変化し、更に地下水の化学組成が変化する可能性がある。以下に掘削原水の選定方法について述べる。

- ・予想される地下水の化学組成データに対して、掘削原水の化学組成データに大きな違いがないことを確認する。調査対象地域付近の既存の地下水化学組成データがあればそれと比較し、類似していることを確認する。
- ・ボーリング孔を掘削している期間は、掘削原水の化学成分を一定に保つため、掘削原水の採取場所は変更しないことが望ましい。

### (2) 掘削原水の管理

掘削水の化学成分を一定に保つことを目的とし、掘削原水の管理方法を以下に述べる。

- ・物理化学パラメータ測定を化学成分分析と同時に実施する。化学成分の分析は掘削原水を新たに採取する度に実施することが望ましい。ただし分析頻度は現場の状況によ

り適宜変更する。

- ・掘削原水の保管は、雨水の混入や直射日光の影響を可能な限り受けないようにしなければならない。暴風雨など不測の事態により化学組成データに影響を大きく受けたことが予想された場合には、化学分析を実施し、その結果によっては掘削原水を交換する。

### (3) トレーサーの選定

地下水を採水し化学組成データを取得した際に、掘削水の地下水に対する汚染を定量的に把握できなければ、地下水の化学組成データの品質を評価することはできない。そのために、掘削水にトレーサーを加えることが有効な手段である。トレーサーはウラニンなどの蛍光染料を用いられることが多い (SKB, 2001 など)。トレーサーの種類の選定方法について以下に述べる。なお、蛍光染料の詳細については付録 1、2 に示す。

- ・必要とされる地下水の化学データに対して、トレーサーの影響が許容範囲にある。
- ・岩盤に対して吸着性が小さく、長期的に安定する物質を選定する。
- ・連続的に濃度測定できるように、簡便で時間のかからない測定方法で実施できるものを選定する。
- ・2 種類以上のトレーサーを使用する場合には、各々のトレーサーの濃度測定に対して互いに影響を与えないような組み合わせを選ぶ。

### (4) 掘削循環水の管理

掘削循環水はボーリング掘削に使用される水であり、地下水に対する汚染源となるものである。したがって、掘削循環水の化学データは地下水の化学データのバックグラウンドデータとして重要である。そのため、掘削原水に加えたトレーサーの濃度を基準として、汚染の程度を定量的に判断するために掘削中はトレーサーの濃度を一定に保つ必要がある。ここでは掘削循環水の管理方法について述べる。

#### (i) 物理化学パラメータおよび化学成分管理

掘削循環水も掘削原水と同様に化学成分について、変化のないことが望ましい。ただし保存状態のほかに、地下水との混合や掘削による岩石成分の溶出による変化が予想される。この掘削循環水の化学データの変化を把握し、目的とする地下水化学データに対する影響が許容範囲内であることを確認し、範囲を超えた場合は掘削水を入れ替えなければならない。

- ・化学成分分析の頻度は多いことが望ましい。また、目的とする化学成分データについて、すべての項目を分析することが望ましい。ただし、分析頻度や項目数は試料を採

取、分析および結果の確認が速やかにできるよう設定する必要がある。また、現場の状況により適宜分析頻度を変更することも必要である。

- ・物理化学パラメータ測定は連続モニタリングを実施することが容易であるため、連続的に測定することが望ましい。上記の化学成分分析は分析頻度に限界があるため、電気伝導率の測定を補助的に実施し、掘削循環水の交換の基準とすることが有効である。

#### (ii) トレーサー濃度管理

掘削循環水に対して湧水などにより地下水が混合した場合、トレーサーの濃度が低くなる。このような状況も想定して、以下に、トレーサーの濃度を一定に保つための管理方法について述べる。

- ・トレーサーの濃度設定は、他の調査（ボアホールテレビ観察等）への影響とトレーサーの濃度分析の定量下限値を考慮して決定する。また、現場においてトレーサー濃度の変化に迅速に対応するために、濃度変動の許容範囲を事前に決定しておかなければならない。最終的に得る地下水に対しての掘削水の汚染量の目標値、濃度分析精度、現場作業効率などによりこの許容範囲を決定する。
- ・トレーサー濃度のモニタリングについては、現場の作業効率を考慮して分析頻度を決定する。濃度が上記の許容範囲を超えた場合は、掘削を一時中断し掘削循環水のトレーサー濃度を調整する。
- ・試錐孔掘進中にトレーサーを変更する場合は、孔内に残存している掘削循環水、および掘削循環水用タンク内の水を入れ替える必要がある。タンクは掘削原水などでよく洗浄する。孔内は新たにトレーサーを加えた掘削水を用いて洗浄する。

### 3. 2. 2 孔内洗浄水・検層用水の管理

孔内洗浄水および検層用水は、掘削水と同様に地下水の汚染源となることから、掘削原水を用いる。また、トレーサーの濃度管理や化学分析など、掘削循環水の管理方法と同様である。

### 3. 2. 3 その他、地下水化学データの品質に関わるもの

掘削水以外に地下水の化学データに対して影響を与えるものとして、以下のものが考えられ、必ず確認する必要がある。

- ・孔壁保護のために泥水などを使用した場合は、その種類、量。使用しないことがのぞましいが、孔壁崩壊などが発生しボーリング掘削を継続できないなど、やむを得ず使用する場合は、必要とされる地下水化学データに対しての影響が可能な限り小さいも

のを選定する。

- セメンティングを行う場合は、その量および深度を把握する。セメント注入後は孔内および掘削水用タンクを、トレーサーを加えた掘削原水で十分に洗浄する。

### 3. 3 掘削水の排水

掘削水の排水過程では、ボーリング掘削中に地層中に混入してしまった掘削水を強制的に地上に汲み上げ排水する。ここでは、掘削水の排水とサンプリングに関わる品質管理方法について述べる。なお、排水作業によりパッカー区間がもともと地層中に存在していた水に入れ替わるまでの排水作業を予備排水と表現する。

#### 3. 3. 1 掘削水の地下水に対する汚染の把握

予備排水中は予備排水試料のトレーサー濃度、物理化学パラメータ測定および化学成分分析を実施し、掘削水の排水程度を確認する。以下に詳細を述べる。

- 予備排水中は常時トレーサー濃度を測定する。使用した掘削水のトレーサー濃度に対して予備排水試料のトレーサー濃度の割合が、掘削水の地下水に対する汚染の割合として考えられる。
- 予備排水試料の物理化学パラメータも掘削水による汚染率を推測するための指標として用いることができる。物理化学パラメータは漸移的に変化し、最終的に地下水の値に収束すると考えられる。従って予備排水を継続し、各々の物理化学パラメータが一定値に収束した時に掘削水がある程度除去できたと判断できる。ただし、汚染の程度を定量的に判断することはできない。
- 予備排水試料の化学成分も物理化学パラメータと同様に、孔内水、掘削水の汚染を受けた地下水、もともと地層中に存在していた地下水の順に変化すると考えられる。したがって予備排水試料も化学主成分分析を複数試料実施し、掘削水による汚染程度把握するための基準とできる。

#### 3. 3. 2 地下水採水を行うための判断基準

トレーサー濃度が低いほど掘削水の影響が小さいと考えられ、予備排水を長く続けるほどより掘削水の汚染の小さい地下水が採取される。予備排水を終了し、地下水を採水する判断基準を以下に示す。

- 予備排水試料の物理化学パラメータが、一定値に収束することを確認する。
- トレーサー濃度が掘削水の設定濃度に対して十分に低下していることを確認する。

- 予備排水試料の化学成分分析値とトレーサー濃度を散布図にプロットし、近似直線を求める。トレーサー濃度と化学成分の相間に直線性のある成分に対して、トレーサー濃度が0になった場合の値をその近似直線から求め、その推定値と最後に実施した揚水試料の分析値と比較する（図4）。

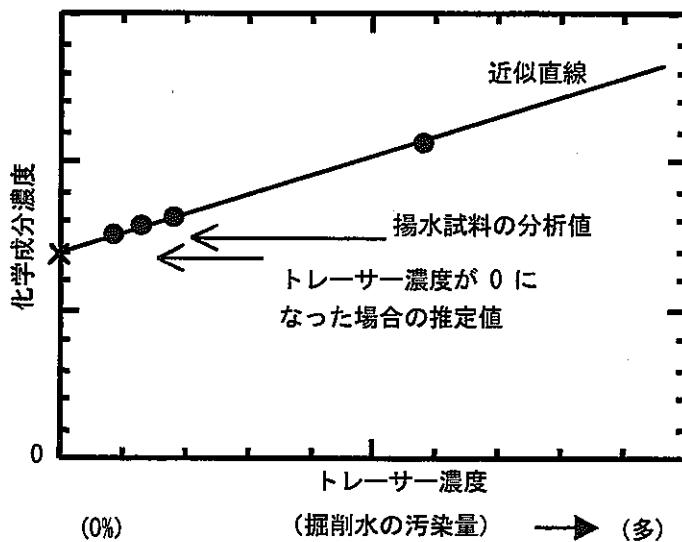


図4 トレーサー濃度と揚水試料の化学分析結果の相関図の例

### 3. 3. 3 その他、地下水の化学データの品質に関わること

予備排水について地下水化学データの品質に影響を及ぼすものについて、以下のものが考えられ、必ず確認する必要がある。

- 大気の影響により変化する地下水化学データを取得することを目的とする場合、試験装置配管内に大気が混入しないようにする。
- 試験装置の材質は必要とする地下水化学データに十分影響の小さいものを使用する。

## 3. 4 分析試料採取と化学分析

試料を採取し化学分析をする過程においては、例えば人為的なミスや不適切な試料採取方法・分析方法を実施するなど、データの品質を低下させる多くの要因がある。以下に分析試料採取から化学分析までの品質管理方法について述べる。

### 3. 4. 1 試料採取および試料の取り扱い

試料を採取し分析を実施するまでの過程で、試料の化学的变化は最小限におさえる必要がある。分析は試料採取後に直ちに実施することが望ましい。以下に試料採取および試料の取り扱いについて、注意事項を述べる。

- ・容器はポリエチレン瓶、テフロン瓶、無色共栓ガラス瓶またはステンレス製容器など目的とする化学データに影響の小さいものを選定する。採取量は、分析する項目を実施できる量を採取するのはもちろんのことであるが、分析結果によって再測定を実施できるよう予備の試料も採取し保存する。
- ・掘削水試料は現場の貯水タンクから採取することになる。この場合、代表的な試料を得る必要があるため、表層の大気などの影響や、タンクの底に溜まった沈殿等の影響の少ない部分から採取する。
- ・試料の採取時には、色、沈殿の有無、におい、気泡の有無などの試料の特徴を観察しデータシートに記載する。
- ・試料を採取した容器には、採取した日時、掘削深度または試験区間、分析項目などを容器に直接記載するとともにデータシートに結果を記載し、分析時に試料を識別できるようにする。
- ・試料採取後、やむを得ず速やかに分析を実施できない場合、化学成分等が変化しないよう試料を保管する。必要であれば前処理などを行う。

### 3. 4. 2 物理化学パラメータ測定

物理化学パラメータは、化学成分分析と比較して短時間に測定できる。以下に物理化学パラメータ測定について注意事項を述べる。

- ・掘削原水の物理化学パラメータの測定は、タンク中またはタンクから採取された試料で化学成分分析と同時に実施する。
- ・掘削循環水については、掘削循環水タンクに測定装置を設置し常時測定する。この設置場所について、大気の影響やタンク中の沈殿物の影響の小さい場所にする。測定装置の校正およびドリフト確認を定期的に実施する。
- ・予備排水試料について、一定流量で測定し、大気が混入しない状態での測定が望ましい。校正は採水開始前に標準液を用いて実施し、採水終了後には標準液を用いてドリフト確認を行う。

### 3. 4. 3 トレーサー濃度分析

トレーサーの種類の選定は、原則として短時間に分析でき、分析方法が容易なものを選ばなければならない。また、測定頻度は物理化学パラメータ測定と同様に多く実施する。以下にトレーサー濃度分析について、注意事項を述べる。

- ・掘削循環水については、掘削循環水タンクから試料を採取する。この採取場所について、表層からの影響やタンク中の沈殿物の影響の小さい場所にする。

- ・掘削循環水と揚水試料の分析頻度が多く分析毎に校正ができない場合は、定期的に校正とドリフト確認を行う。

### 3. 4. 4 化学成分分析

化学成分は項目によっては分析に時間を要し、高精度の分析では分析方法が高度なものになる。また、再分析などの作業は、コスト面や化学組成変化を伴うので避けなければならない。以下に化学成分分析における注意事項を述べる。

- ・掘削水の化学成分分析は、物理化学パラメータの結果と同様に、掘削水の交換が必要かどうかの判断材料となる。したがって迅速に分析し結果を確認できるよう、設備を整えなければならない。試錐現場付近に分析室を設置し分析することが望ましい。
- ・予備排水試料の分析結果は、排水を終了し地下水採水を実施するための判断材料となる。したがって掘削水と同様に迅速に分析し結果を確認しなければならない。
- ・大気の影響をうけることが予想される分析項目については、大気の混入をしないよう採取し、できる限り現場で適切な前処理を行う。
- ・事前に、分析精度および定量下限値が適当であるかを確認し、現場稼働中も分析精度が保たれるように分析機器を管理する。

### 3. 4. 5 同位体分析

滞留時間の長い地下水の放射性元素（トリチウムや放射性炭素、放射性塩素等）は、一般的に低濃度であり、逆に地表のそれらの濃度は非常に高濃度である。そのため、試料採取時のわずかな汚染により、真値から大きく変動することになる。従って、試料採取にあたっては、酸洗浄した採水容器を用い、採水に用いた機器に汚染源がないか否か事前に確認しておく必要がある。また、地表の大気も汚染源となりうるので、可能な限り大気に触れないように試料を採取し、分析まで保管する必要がある。

## 4. データの検証

得られた地下水の地球化学特性データについては、データベース化する前に検証し、データが様々な解析に使用可能か否かを確認しなければならない。以下に基本的な化学データの検証方法について述べる。この検証方法によって、データの信頼性が担保されない場合には、原因を追及し再分析を実施する必要があり、場合によっては、データの限定利用もしくはデータを使用禁止にする必要がある。

#### 4. 1 物理化学パラメータ

- 予備排水中の試料の測定結果では、予備排水開始時は掘削水の値が示され、予備排水が進行するに従い、もともと地層中に存在していた地下水の値に漸移し収束する。従って、予備排水終了前に物理化学パラメータの値が測定精度の範囲内で一定値に収束しているかどうかを確認する。

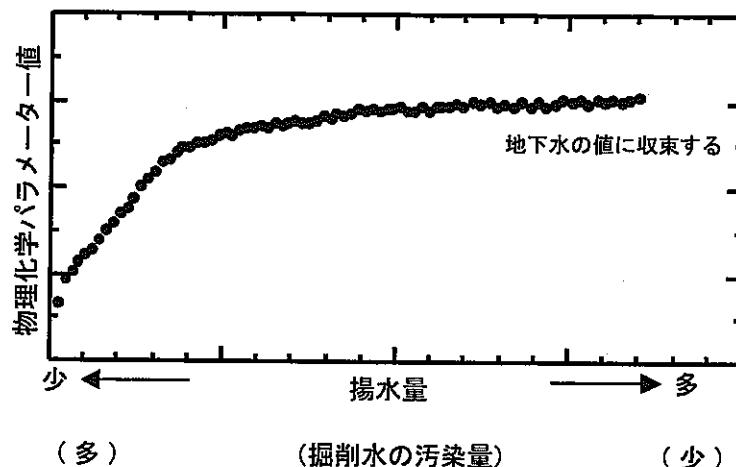


図5 物理化学パラメータのデータの検証

- 各々の物理化学パラメータについて理論的に測定値を検証する。例えば、電気伝導率については、総溶存成分濃度から計算される値と比較する。酸化還元電位については、酸化還元状態に影響を受けやすい化学成分（硫酸／硫化物イオン等）の比から計算される値と比較する。

#### 4. 2 化学成分分析値

地下水の化学成分分析では、トレーサー濃度が0%となるまで予備排水を行った後に得た試料を用いることが理想である。ただし、現実的には工期上トレーサー濃度が0%となるまで予備排水を継続できない場合もある。このように、予備排水を打ち切った時点で得られた試料の分析を実施した場合は、前述したように、予備排水過程で得られるトレーサー濃度と化学成分分析値の相関式に基づいて、トレーサーが排除された時点の化学組成を求め参考値としてデータを使用することが望ましい。

また、得られた化学成分データは次のように基本的な検証を行う。

- 陽イオンおよび陰イオンの当量を合計し、両者が等しいか否かイオンバランスを確認する。ただし、原位置の水圧から地上における分析時の1気圧への減圧に起因する、炭酸ガスなどの脱ガスを考慮しなければならない場合もある。

例（日本分析化学会北海道支部、1994）。

○ $\Sigma$ 陰イオンが0～3.0meq/Lのとき

$$\Sigma \text{陽イオン} - \Sigma \text{陰イオン} = \pm 0.2 \text{meq/L 以内}$$

○ $\Sigma$ 陰イオンが3.0～10.0meq/Lのとき

$$\frac{\Sigma \text{陽イオン} - \Sigma \text{陰イオン}}{\Sigma \text{陽イオン} + \Sigma \text{陰イオン}} \times 100 = \pm 2\% \text{ 以内}$$

○ $\Sigma$ 陰イオンが10.0～800meq/Lのとき

$$\frac{\Sigma \text{陽イオン} - \Sigma \text{陰イオン}}{\Sigma \text{陽イオン} + \Sigma \text{陰イオン}} \times 100 = \pm 2 \sim 5\% \text{ 以内}$$

#### 4. 3 同位体分析値

自然界に存在する様々な同位体のうち、トリチウムや放射性炭素の濃度は地下水の滞留年代を推測するための重要な調査項目である。これらの同位体については地下水中の存在量が地表の存在量に対して微量であり、年代の古い地下水においては検出限界以下である事も多い。そのため、わずかな掘削水の残留により、その値が大きく影響を受ける。例えば、分析値が検出限界に近い濃度である場合は、もともと地下水中に含まれていたものか掘削水の残留により混入したものかを区別する必要があり、トレーサーを排除できなかつた場合は、混入量を補正しなければならない。

#### 5. おわりに

これまでに東濃地科学センターで行ってきた地下水調査に関する採水方法とその品質管理手法について基本的な考え方をとりまとめた。これらは、調査場所を限定せず試錐孔を用いた地下水の地球化学特性調査に共通の不可欠な考え方である。また今後、研究開発の進展にともなって適宜手法の改良を行っていく。

## 6. 参考文献

- Black, W. H., Barker, J. A. and Noy, D. J. : Multiple level groundwater monitoring with the MP system, Proc. NWWA-AGU Conf. On Surface and Borehole Geophysical Methods and Groundwater Instrumentation, pp.41-61, (1986).
- 岩月輝希・豊嶋賢治・吉田英一：深地層を対象とした地下水の地球科学調査の現状，原子力バックエンド研究，4，pp.73-81，(1998)。
- 日本分析化学会北海道支部：水の分析 第4版，化学同人，(1994)。
- SKB : Site investigations -Investigation methods and general execution programme, SKB Technical Report TR-01-29, (2001).

## 付録 1

掘削水に添加する蛍光染料の適用性について

## 1. はじめに

試錐孔を利用した地下水の地球化学特性調査においては、試錐孔掘削時に使用した掘削水を定量的に試錐孔内から排水し、もともと地層中に存在していた地下水に入れ替えてから地下水試料を採取する必要がある。この掘削水排水の指標には、もともと地表のみに存在し、地下水中に存在していなかった天然の放射性同位体（トリチウム等）や予め掘削水中に添加しておいた蛍光染料がトレーサーとして利用される事が多い。天然の放射性同位体は掘削水に予め添加する必要がないという利点があるかわりに、分析に時間がかかり掘削水排水時に迅速な判断ができないといった欠点がある。また、蛍光染料を添加する手法では、採水現場で分析を行うことで掘削水が排水されたか否かの判断を迅速にできるといった利点があるかわりに、掘削水中の染料濃度（掘削水排水時の初期値となる）を一定に保つ濃度管理を行う必要がある。

ここでは、市販の様々な蛍光染料に対して掘削水排水の指標としての適用性という観点で、各種試験を行いその特性を整理した。

## 2. 検討対象とした蛍光染料

市販されている蛍光染料の中から以下の染料を検討対象とした。

### 検討対象とした蛍光染料

- |                       |                           |
|-----------------------|---------------------------|
| • Uranine             | • Rhodamine 6G            |
| • Eosin               | • Brilliant sulphoflavine |
| • Rhodamine B         | • Erythrosine             |
| • Sulfo Rhodamine B   | • Bengal rose             |
| • Sulfo Rhodamine G   | • Pyranine                |
| • Sodium-naphthionate | • Amino G. acid           |

## 3. 検討内容

試錐現場における掘削水中の濃度管理を行うための基礎データ取得、試錐孔内で岩層中の吸着性の有無の確認、複数の蛍光染料を同時使用した時の分析手法の確立等を目的として、以下の項目について検討した。

- 蛍光スペクトルの濃度依存性
- 蛍光スペクトルの pH 依存性
- 蛍光染料の安定性
- 岩石に対する吸着特性

・複数の蛍光染料を含む試料の蛍光染料定量法

#### 4. 結果

##### 4. 1 蛍光スペクトルの濃度依存性の測定

各蛍光染料濃度に対する蛍光スペクトルの強度を図1に示す。30 $\mu\text{g/l}$ 以下の濃度領域では、Erythrosine, Bengal rose等の蛍光スペクトル強度が低く、これらの蛍光染料を使用する場合は、初期濃度を他の蛍光染料に比べ高く設定する必要がある。また、Rhodamine 6Gは濃度に対して蛍光強度が直線性を持たない。

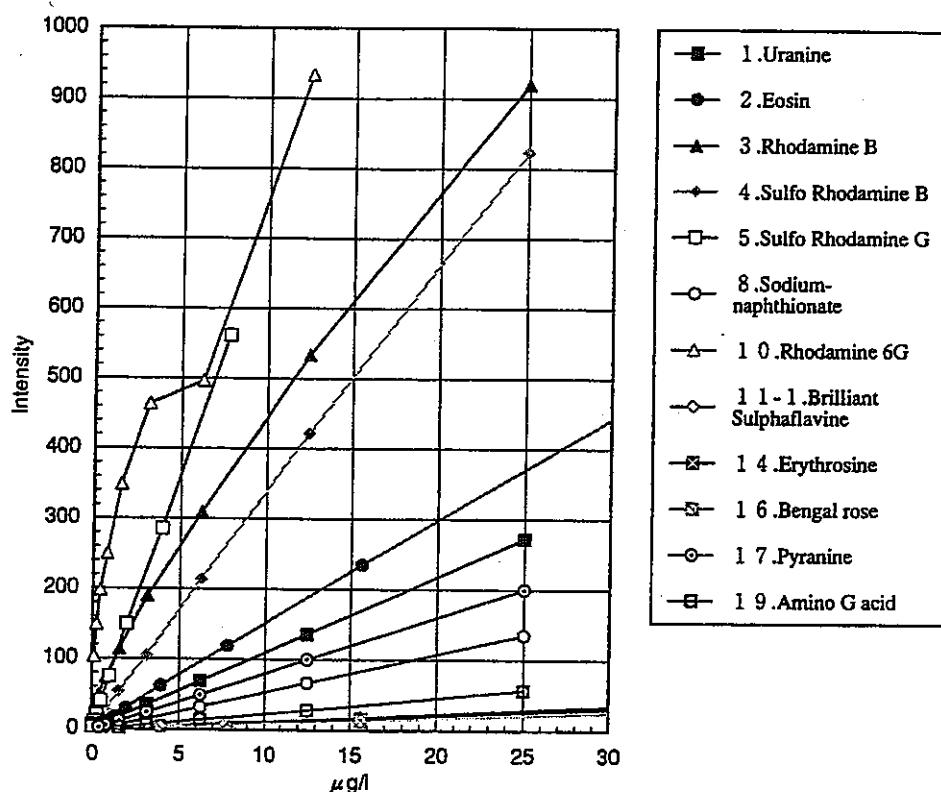


図1 各トレーサー濃度に対する蛍光スペクトル変化（蒸留水・室温）

##### 4. 2 蛍光スペクトルのpH依存性

地下水のpHは表層付近の中性から深度とともに弱アルカリ性、アルカリ性に変化することが多い。そのため、地下水のpHによって蛍光スペクトルの減衰の有無があるか否か確認した（図2、表1）。その結果、UranineとPyranine(455nm)の蛍光スペクトル強度がpHとともに増加し、Rhodamine 6GとPyranine(405nm)の蛍光スペクトル強度がpHとともに減衰する傾向が見られた。その他の蛍光染料にはpH依存性は確認されなかった。

表1 各蛍光染料の蛍光スペクトル強度のpH依存性

Tracer	Concentration [ $\mu$ g/l]	Ex./Em max. [nm]	pH Intensity					
			5	6	7	8	9	10
1. Uranine	10	491/512	75	250	525	656	750	750
2. Eosin	10	516/538	125	125	125	125	125	125
3. Rhodamine B	5	554/576	156	156	156	156	167	164
4. Sulfo Rhodamine B	5	564/583	170	169	168	169	173	172
5. Sulfo Rhodamine G	2	532/552	138	138	144	133	138	142
8. Sodium-naphthionate	20	320/420	104	104	104	105	101	103
10. Rhodamine 6G	2	526/552	117	100	94	86	53	41
11-1. Brilliant Sulphaflavine	150	420/514	163	163	158	163	163	159
14. Erythrosine	150	525/547	153	163	169	164	161	165
16. Bengal rose	150	547/570	126	138	144	141	138	135
17. Pyranine	20	405/512	142	141	138	125	50	45
		455/512	0	0	11	46	163	181
19. Amino G acid	50	355/450	119	125	127	120	125	123

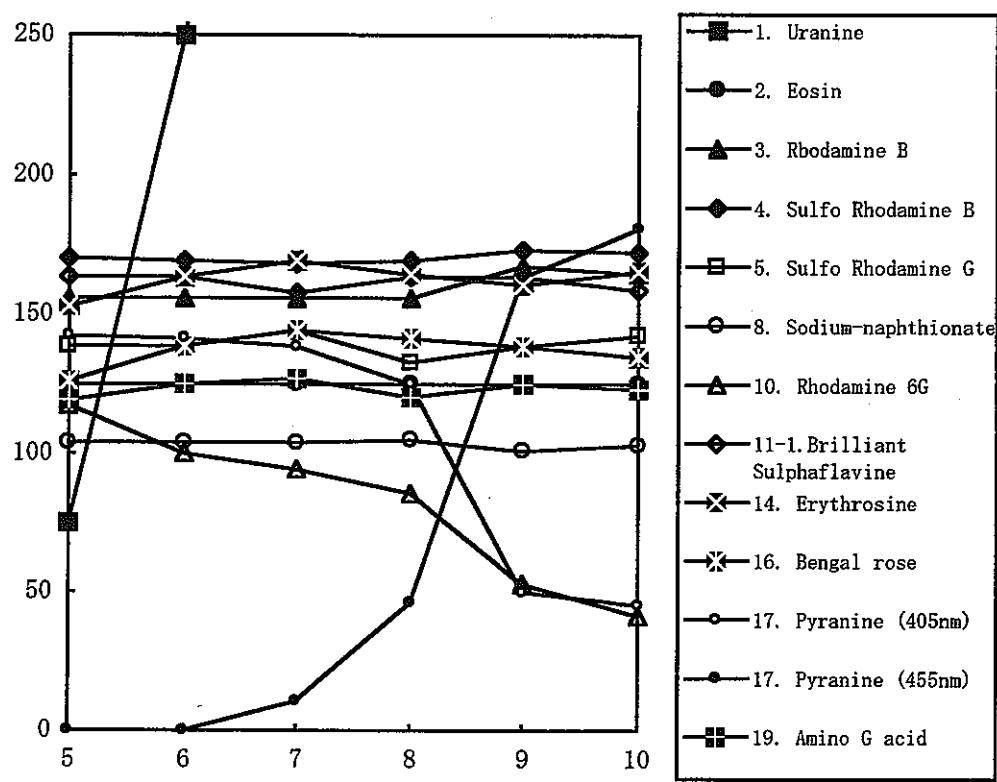


図2 各トレーサーのpHに対する蛍光スペクトル変化(蒸留水・室温)

#### 4. 3 蛍光染料の安定性

掘削水や地下水中での蛍光染料の化学的安定性について知見を得るために、実際の地下水や掘削水等に使用される河川水等を用いて、試料水中の蛍光染料濃度の時間変化を調査した。

##### 試験条件

- ・試験に用いた試験水

蒸留水 (pH 6.2)

河川水 (pH 7.0)

堆積岩中の地下水 (pH 8.4)

花崗岩中の地下水 (pH 8.2)

堆積岩中の地下水 7 : 河川水 3 の混合水 (pH 8.0)

花崗岩中の地下水 7 : 河川水 3 の混合水 (pH 7.7)

- ・試験温度：室温および40°C

- ・試験時間：50日

- ・測定方法：試料水をメンブランフィルター（DISMIC-25CS）でろ過し、FP-770（日本分光）により蛍光スペクトルを測定。

表2 各蛍光染料の測定濃度

蛍光染料	濃度 ( $\mu\text{g/l}$ )	蛍光染料	濃度 ( $\mu\text{g/l}$ )
Uranine	10	Sodium-naphthionate	100
Eosin	50	Brilliant sulphaflavine	100
Sulfo Rhodamine B	20	Pyranine	100
Sulfo Rhodamine G	10	Amino G. acid	100

各試験結果を図3～14に示す。試験日数50日では、どの試験条件においても蛍光染料の蛍光強度に大きな減少は見られなかった。

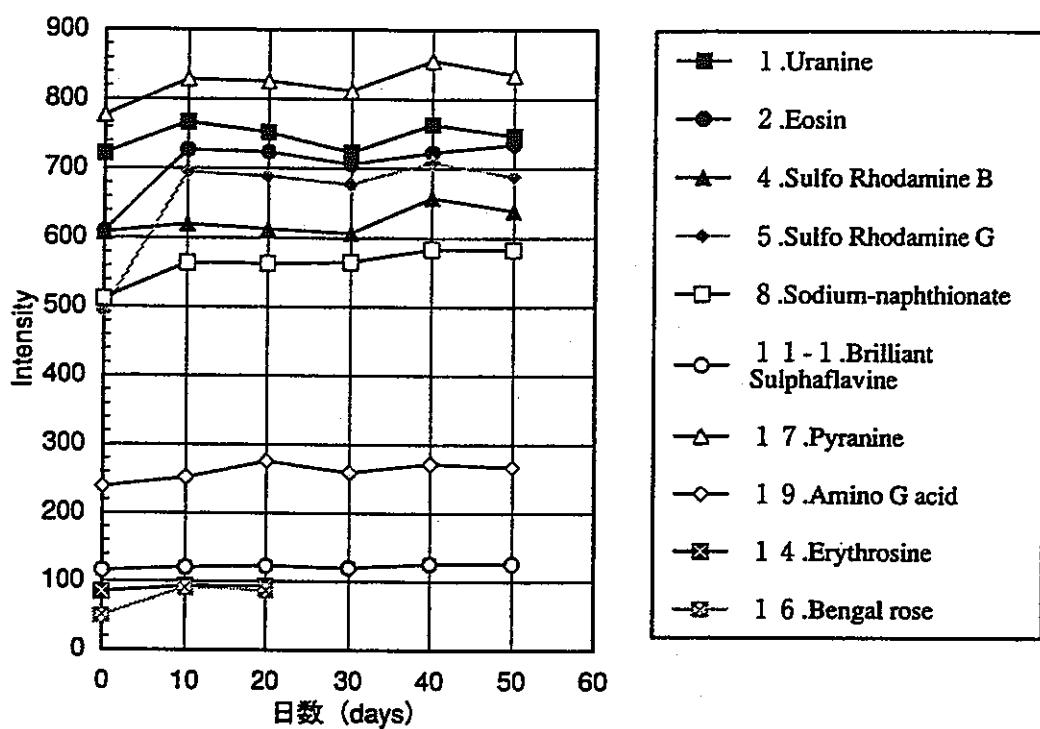


図3 蒸留水（室温）

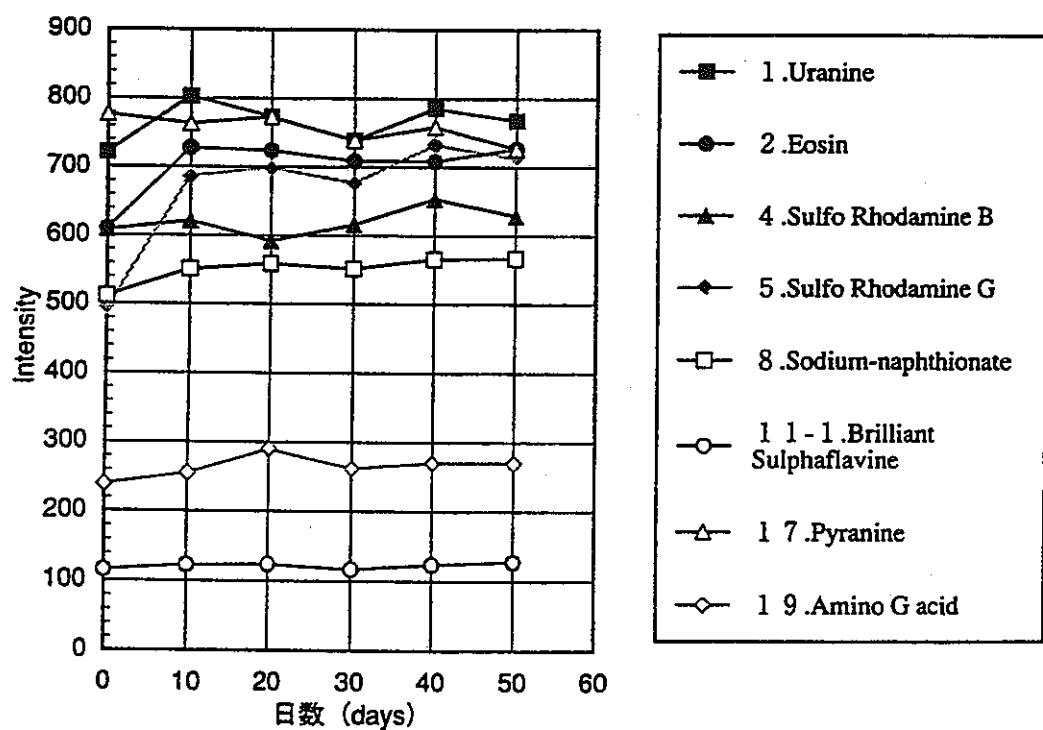


図4 蒸留水（40°C）

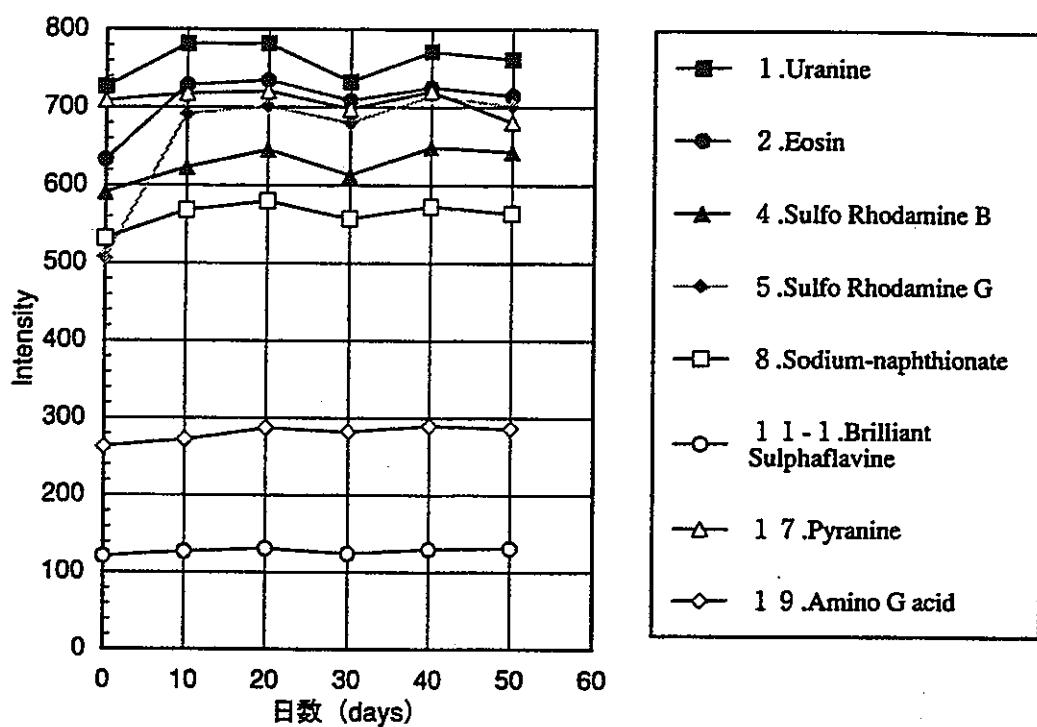


図 5 河川水 (室温)

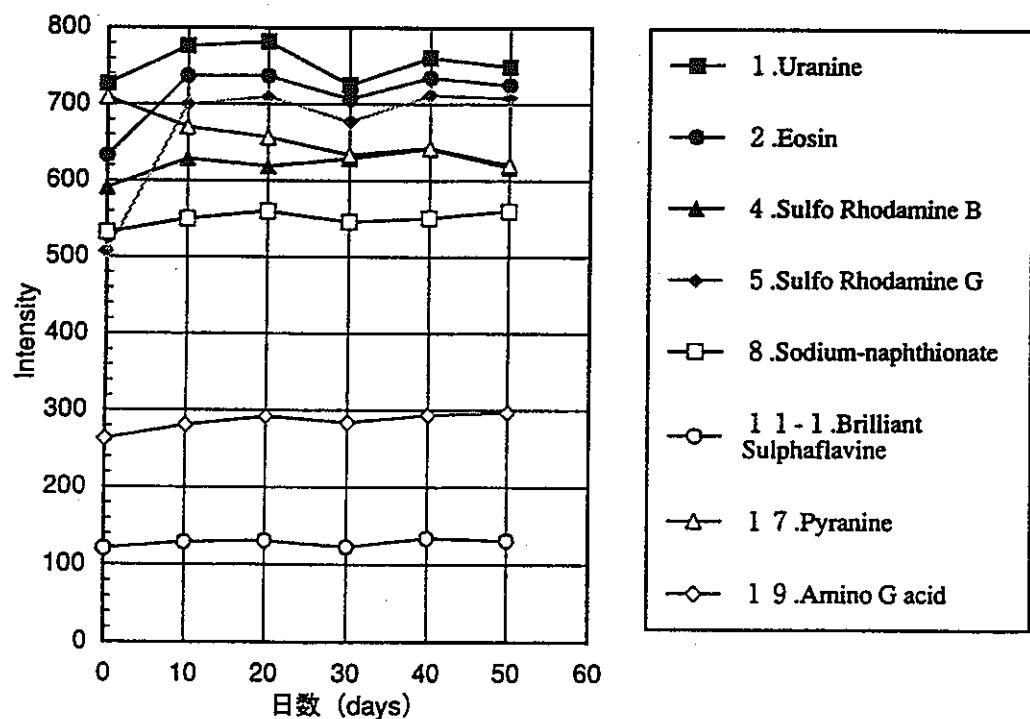


図 6 河川水 (40°C)

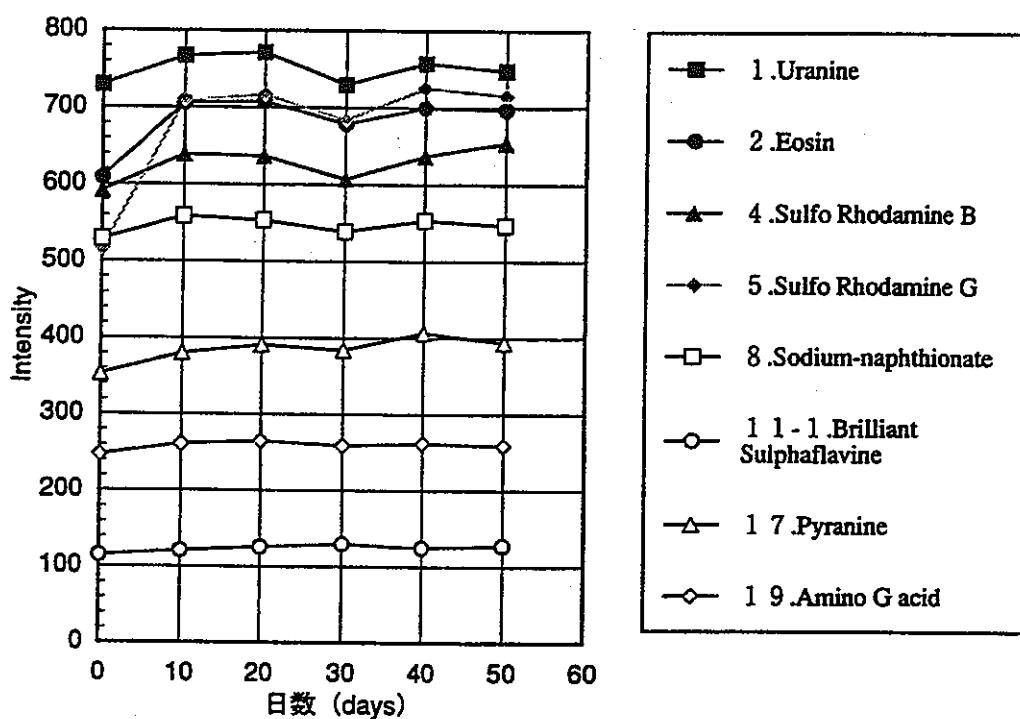


図7 堆積岩中の地下水（室温）

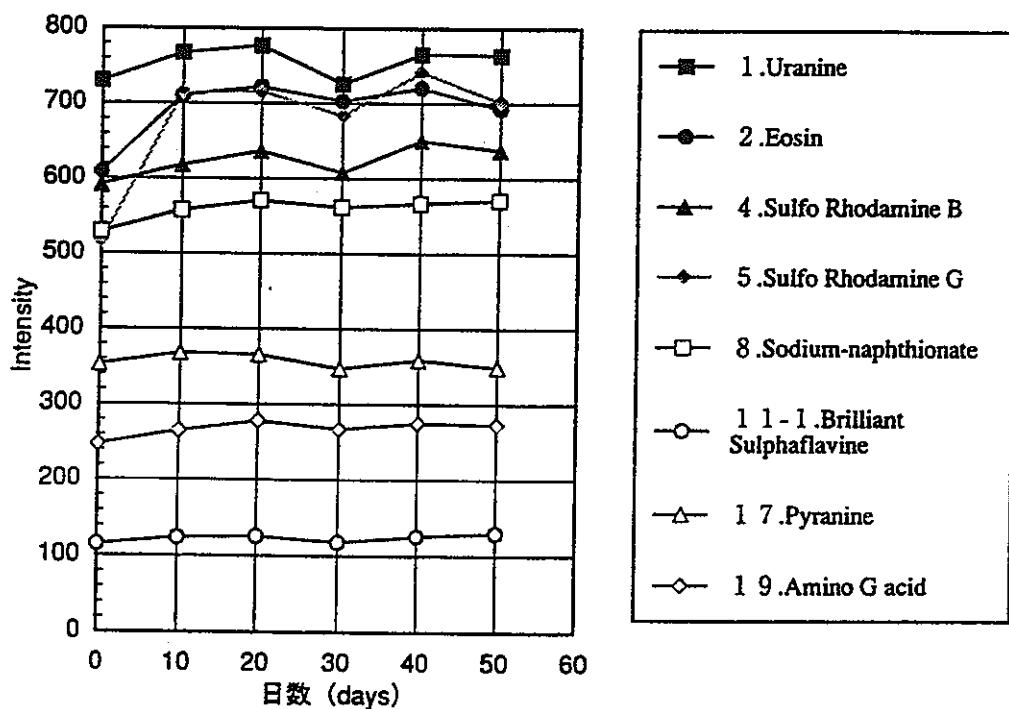


図8 堆積岩中の地下水（40°C）

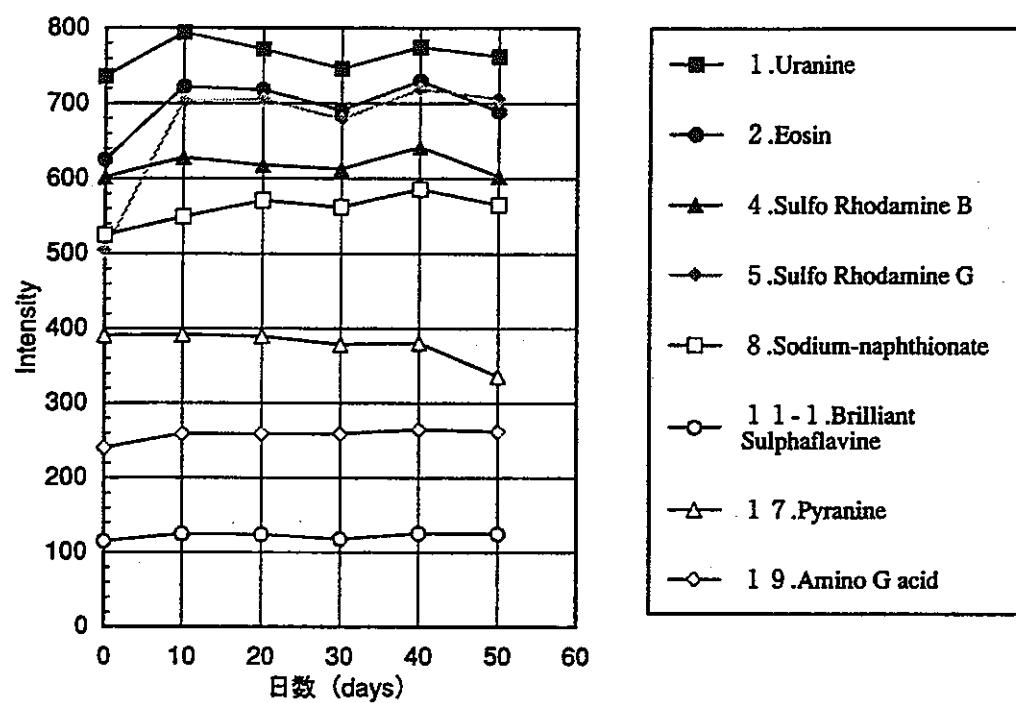


図9 花崗岩中の地下水 (室温)

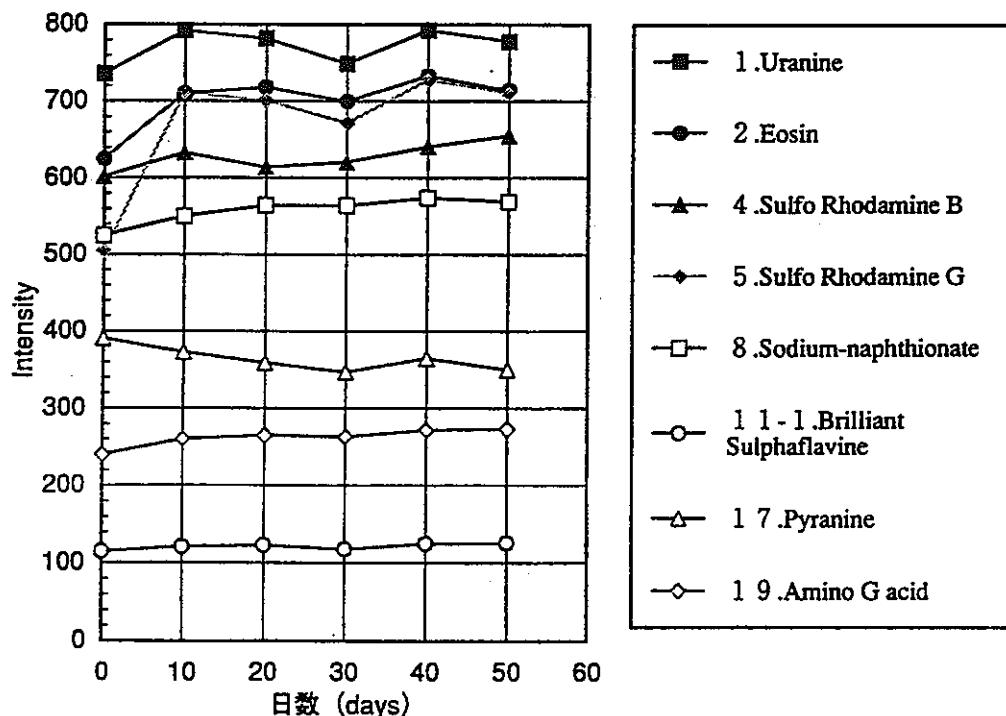


図10 花崗岩中の地下水 (40°C)

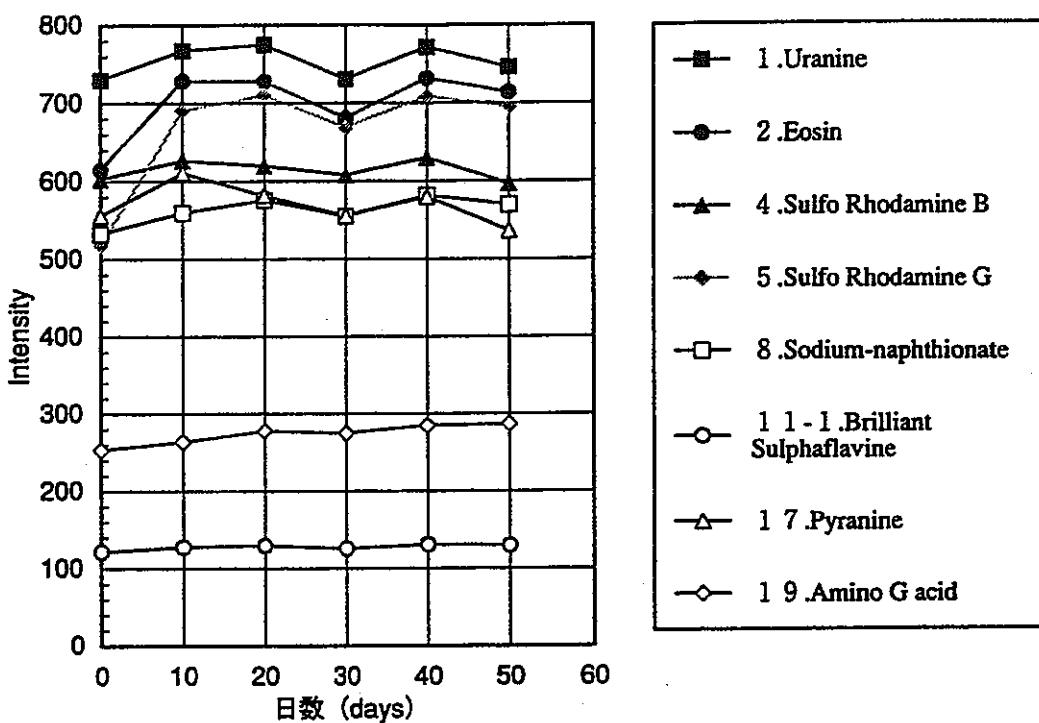


図 1 1 堆積岩中の地下水と河川水の混合水 (室温)

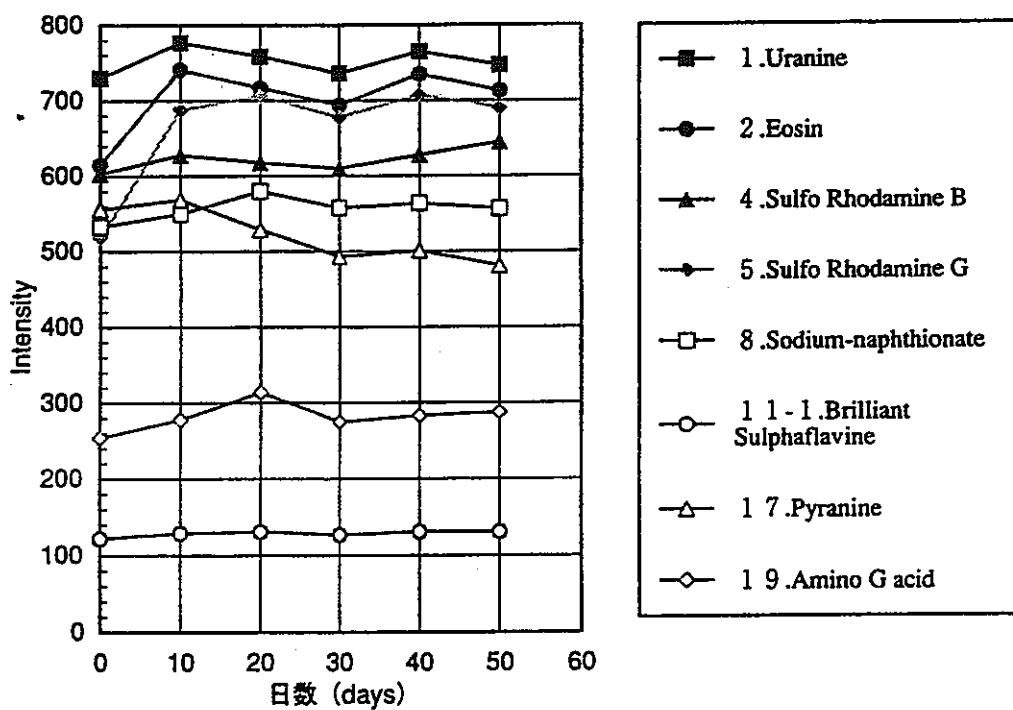


図 1 2 堆積岩中の地下水と河川水の混合水 (40°C)

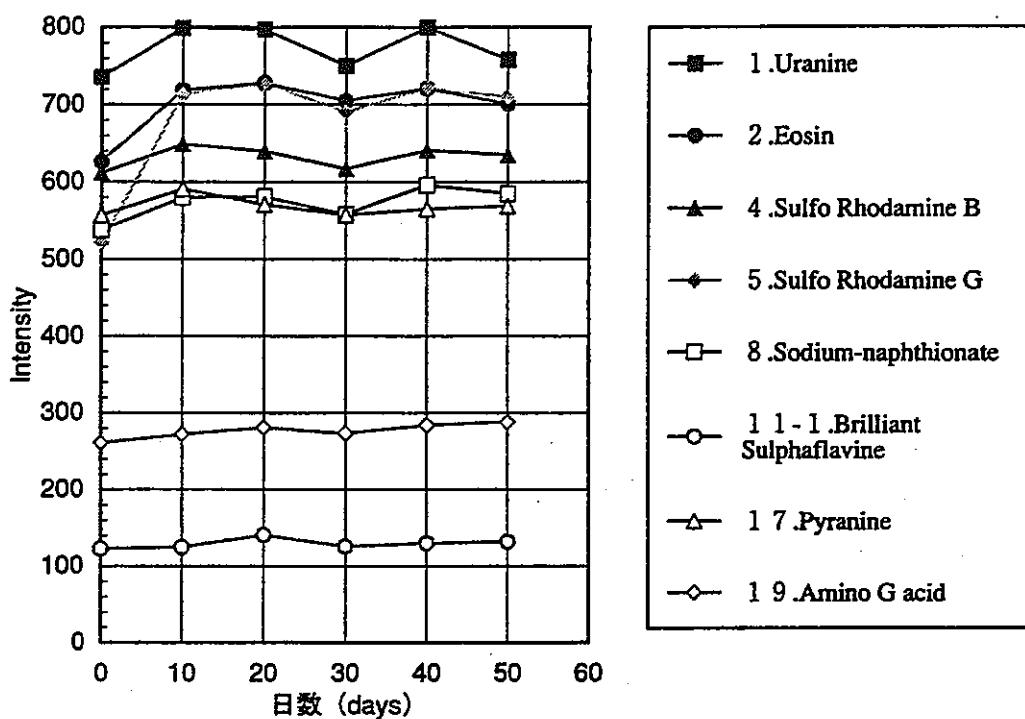


図13 花崗岩中の地下水と河川水の混合水（室温）

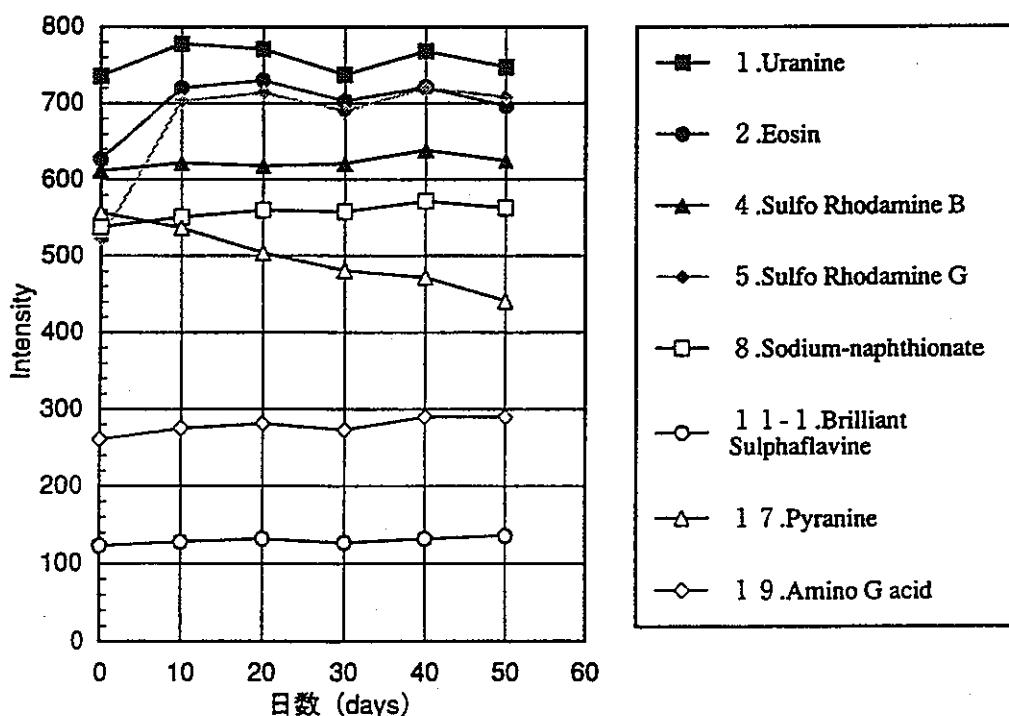


図14 花崗岩中の地下水と河川水の混合水（40°C）

#### 4. 4 岩石に対する吸着特性

試錐孔掘削時に掘削水中の蛍光染料が岩盤中の岩石に吸着する場合には、蛍光染料濃度を一定に保つ事が困難であり、更に岩盤中の化学的状態（有機炭素濃度等）を乱すことになる。そのため、各蛍光染料について岩石への吸着特性を確認した。

##### 試験条件

- ・試験に用いた試験水と岩石試料および水／岩石比

堆積岩中の地下水：河川水=7:3 の混合水(80ml)：堆積岩(8g)

花崗岩中の地下水：河川水=7:3 の混合水(80ml)：花崗岩未変質部(8g)

花崗岩中の地下水：河川水=7:3 の混合水(80ml)：花崗岩破碎部(8g)

花崗岩中の地下水：河川水=7:3 の混合水(35ml)：花崗岩破碎部粘土充填物(3.5g)

- ・試験温度：室温

- ・試験時間：30 日

- ・測定方法：試料水をメンブランフィルター（DISMIC-25CS）でろ過し、FP-770（日本分光）により蛍光スペクトルを測定。

表3 各蛍光染料の測定濃度

蛍光染料	濃度 ( $\mu\text{g/l}$ )	蛍光染料	濃度 ( $\mu\text{g/l}$ )
Uranine	10	Sodium-naphthionate	50
Eosin	50	Brilliant sulphalavine	100
Sulfo Rhodamine B	20	Pyranine	100
Sulfo Rhodamine G	10	Amino G. acid	100

試験結果を図 15～18 に示す。岩相によって特定の蛍光染料に蛍光強度の減少が認められる。堆積岩、花崗岩破碎部粘土充填物を用いた試験では、Pyranine、Sulfo Rhodamine B、Sulfo Rhodamine G に試験時間とともに顕著な蛍光強度減少が観察され、花崗岩破碎部についても Pyranine、Sulfo Rhodamine G に蛍光強度減少が確認された。蛍光強度の減少が起こった試料は粘土鉱物を多量に含む岩相であり、花崗岩破碎部の試料についても割れ目表面に粘土鉱物が存在するために、蛍光強度がわずかに減少したものと推測される。天然の岩盤には粘土鉱物は普遍的に観察されるため、Pyranine、Sulfo Rhodamine B、Sulfo Rhodamine G は、試錐孔掘削水に加える蛍光染料として不適と考えられる。

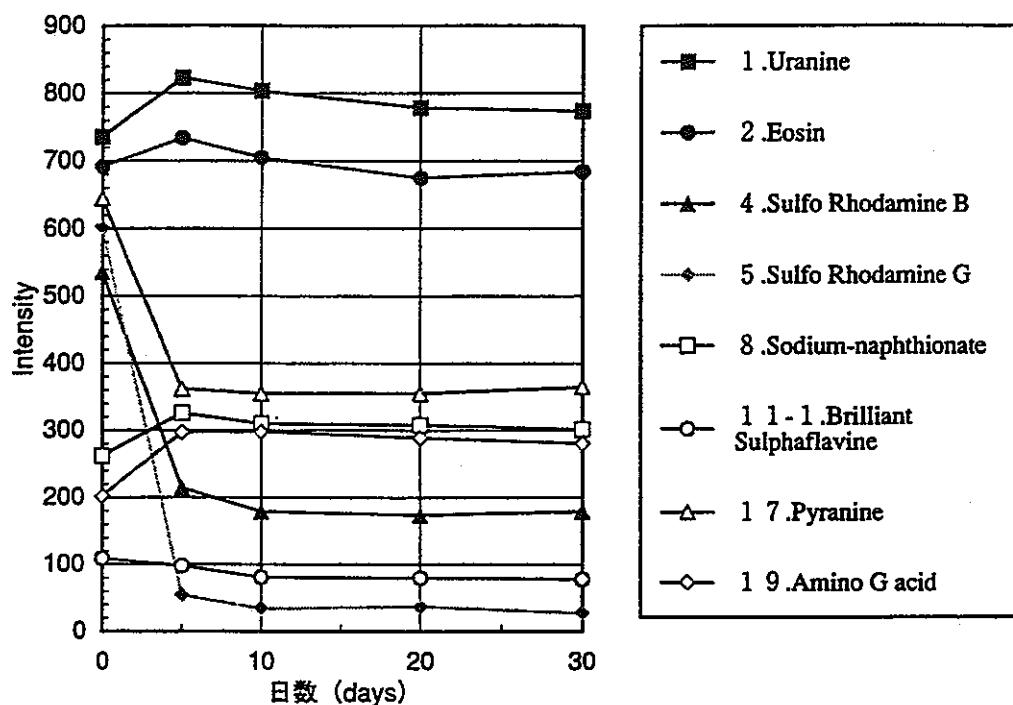


図 1 5 堆積岩部（花崗岩中の地下水と河川水の混合水）

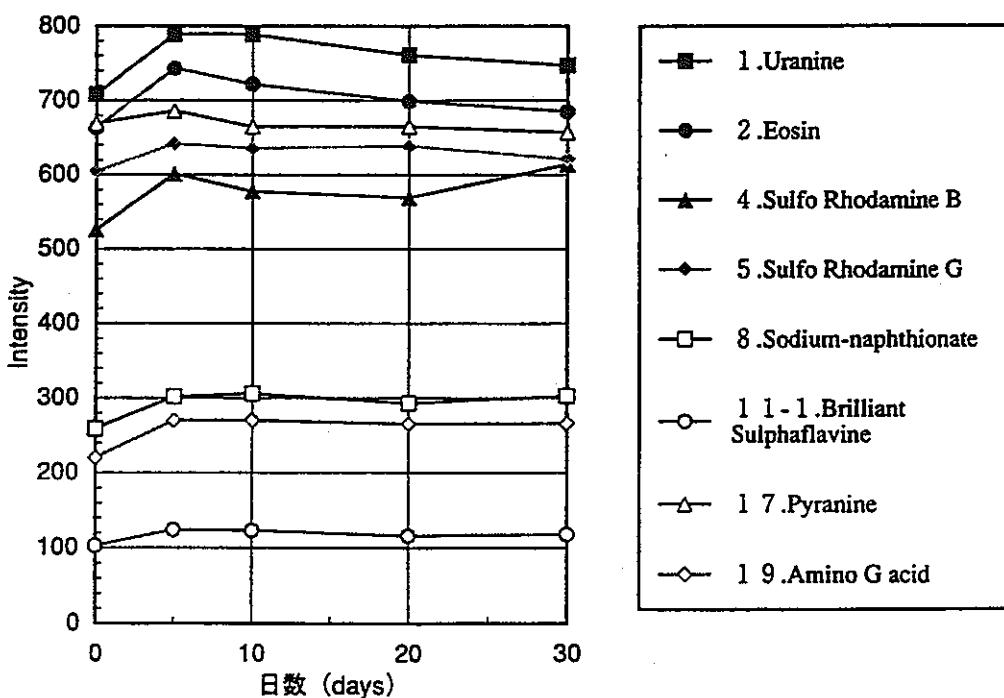


図 1 6 花崗岩未変質部（花崗岩中の地下水と河川水の混合水）

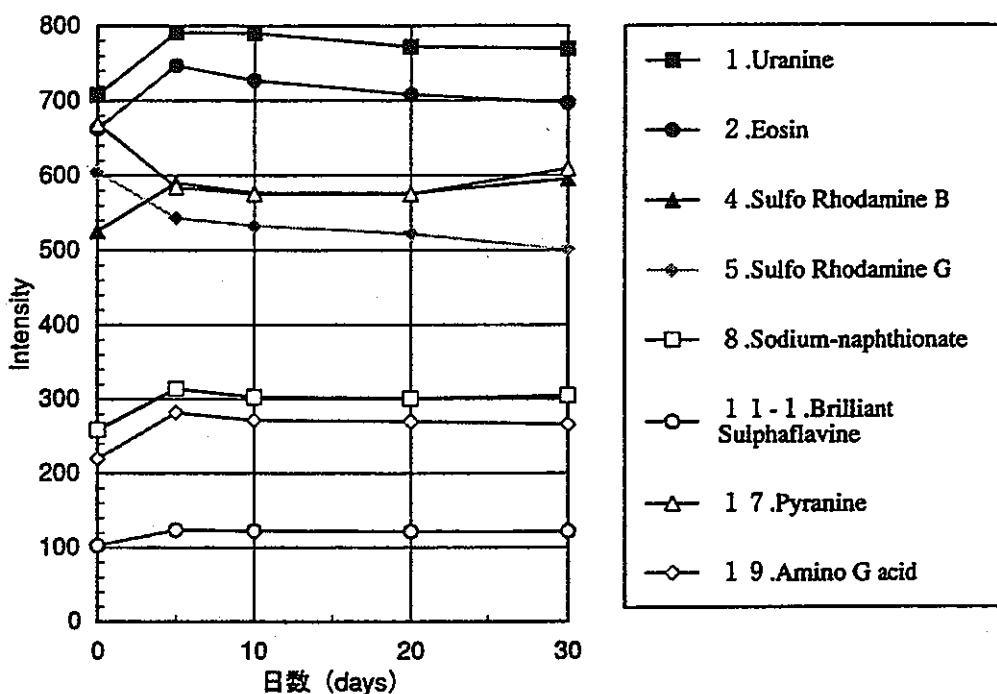


図17 花崗岩破碎部（花崗岩中の地下水と河川水の混合水）

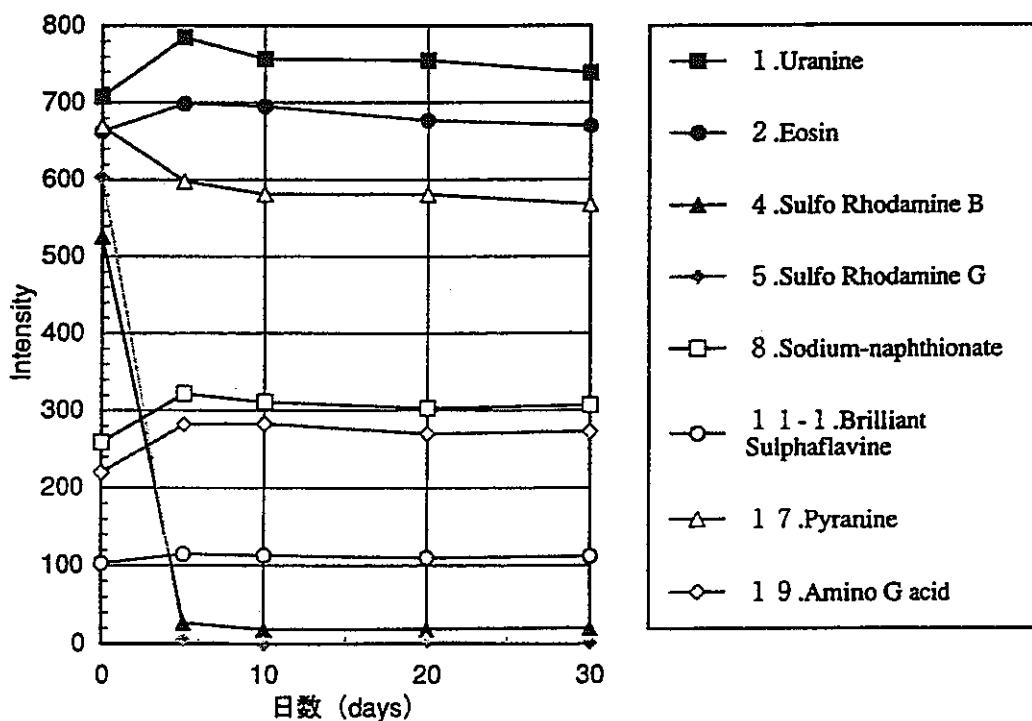


図18 花崗岩破碎部粘土充填物（花崗岩中の地下水と河川水の混合水）

#### 4. 5複数の蛍光染料を含む試料の蛍光染料定量法

各蛍光染料の励起波長と蛍光波長を図19に示す。図上で近接してプロットされた蛍光染料は分析時に蛍光染料の種類を区別できないため、同時使用することができないと考えられる。このように併用できない蛍光染料の組み合わせは以下のように整理できる。

##### 併用不可の組み合せ

- Eosin、Sulfo Rhodamine G、Rhodamine 6G、Erythrosine
- Rhodamine B、Sulfo Rhodamine B、Bengal rose
- Brilliant sulphafavine、Pyranine

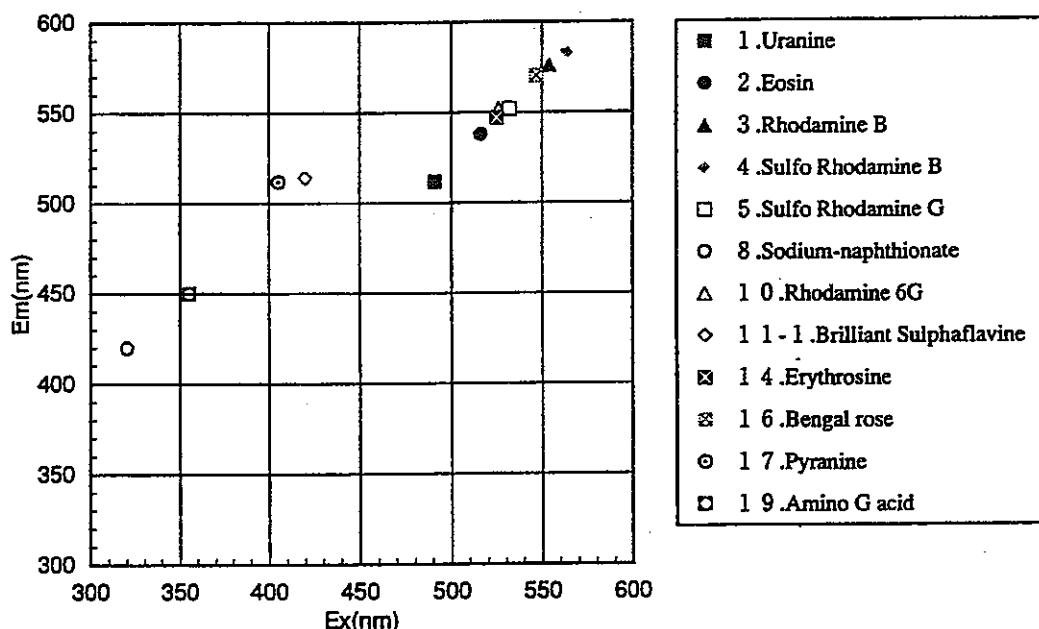


図19 各蛍光染料の励起波長(Ex)と蛍光波長(Em)

蛍光染料には濃度が高くなると消光が起こりやすくなり、複数の蛍光染料を使用した場合、一方の蛍光波長ともう一方の励起波長が一致して消光が顕著となる事がある。そのため、波長が近い2種類の蛍光染料を使用した場合の定量性について検討した。

##### 試験条件

- 試験に用いた蛍光染料溶液の組み合せ
  - Sodium-naphthionate と Amino G. acid
  - Sodium-naphthionate と Brilliant sulphafavine
  - Brilliant sulphafavine と Eosin
- 試験温度：室温

## 結果1

Sodium-naphthionate と Amino G. acid のどちらかを一定濃度に保ち他方の濃度を変化させた時の蛍光強度変化を以下に示す。

表4 各蛍光染料の濃度比と蛍光強度

Sodium-naphthionate (ppb)	Amino G. acid (ppb)	蛍光強度
35	3.9	183
35	25	203
35	75	250
35	225	375
35	1425	1400

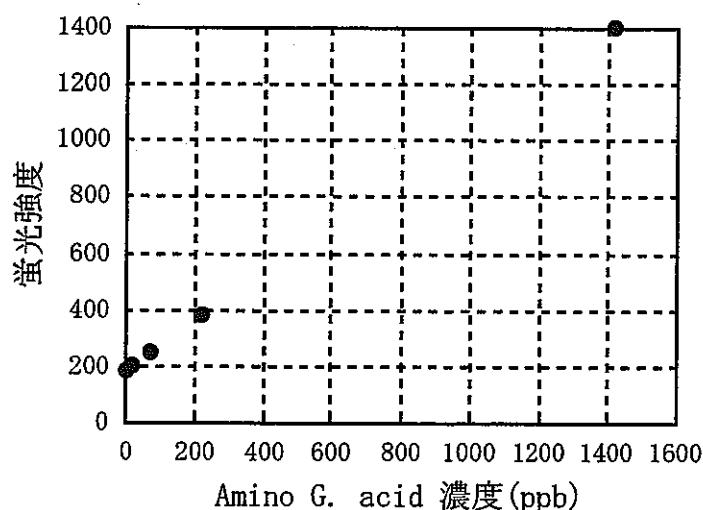


図20 Amino G. acid の濃度変化に対する Sodium-naphthionate の蛍光強度変化  
(励起波長 320nm, 蛍光波長 420nm)

表5 各蛍光染料の濃度比と蛍光強度

Sodium-naphthionate (ppb)	Amino G. acid (ppb)	蛍光強度
665	75	576
105	75	240
35	75	194
11.7	75	178
1.8	75	168

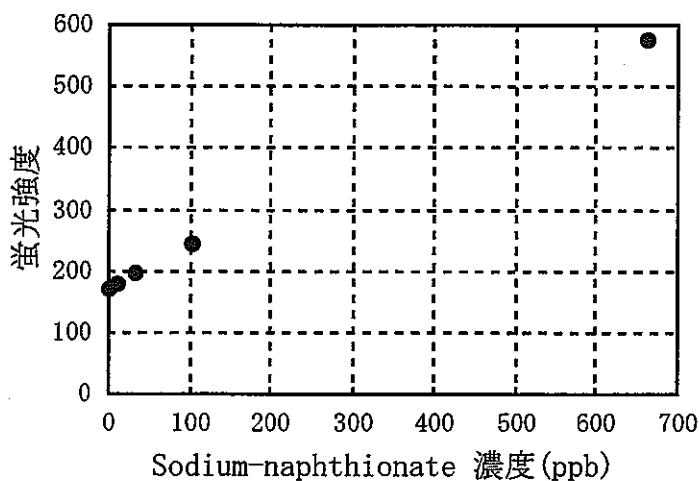


図21 Sodium-naphthionate の濃度変化に対する AminoG. acid の蛍光強度変化  
(励起波長 355nm, 蛍光波長 450nm)

Sodium-naphthionate と Amino G. acid の一方を一定濃度に保ち他方の濃度を変化させた時、濃度を一定に保っている蛍光染料の蛍光強度は、他方の蛍光染料の濃度増加に伴って蛍光強度が増加する。このことから、蛍光波長の重複により見かけ上、他方の蛍光染料の影響を受けている事が判る。また、この影響には濃度と比例関係がある。

## 結果2

Sodium-naphthionate と Brilliant sulphaflavine のどちらかを一定濃度に保ち他方の濃度を変化させた時の蛍光強度変化を以下に示す。

表6 各蛍光染料の濃度比と蛍光強度

Sodium-naphthionate (ppb)	Brilliant sulphaflavine (ppb)	蛍光強度
	35	92
	35	583
	35	1750
	35	5250
	35	33250
		184
		183
		178
		180
		169

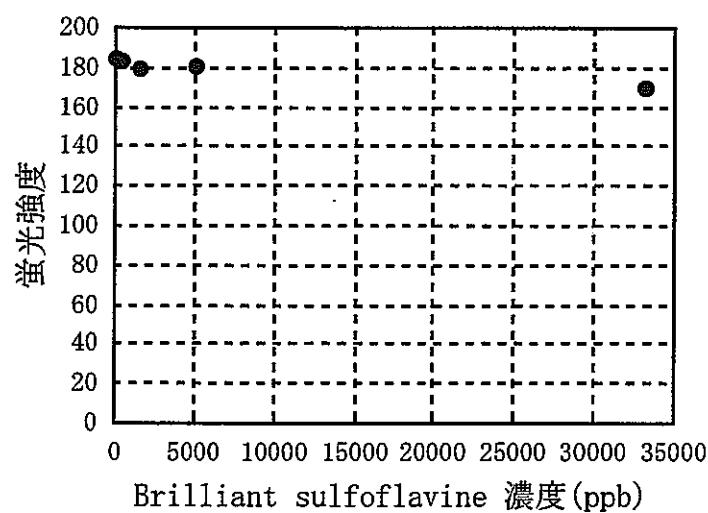


図22 Brilliant sulphaflavine の濃度変化に対する Sodium-naphthionate の蛍光強度変化  
(励起波長 320nm, 蛍光波長 420nm)

表7 各蛍光染料の濃度比と蛍光強度

Sodium-naphthionate (ppb)	Brilliant sulphaflavine (ppb)	蛍光強度
665	1750	182
105	1750	180
35	1750	181
11.7	1750	183
1.8	1750	182

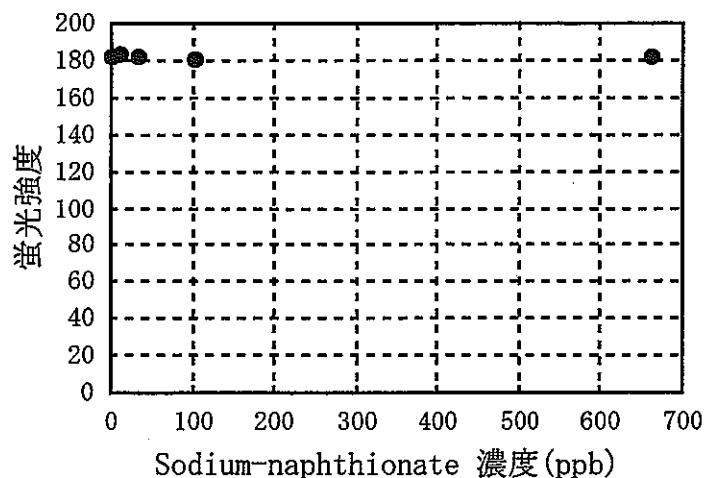


図23 Sodium-naphthionate の濃度変化に対する Brilliant sulphaflavine の蛍光強度変化  
(励起波長 420nm, 蛍光波長 514nm)

Sodium-naphthionate と Brilliant sulphaflavine の一方を一定濃度に保ち他方の濃度を変化させた時、濃度を一定に保っている蛍光染料の蛍光強度は、他方の蛍光染料の濃度変化に伴つて蛍光強度は変化せず、この組み合せでは蛍光波長の重なりによる影響はない事が判る。

### 結果3

Brilliant sulphaflavine と Eosin のどちらかを一定濃度に保ち他方の濃度を変化させた時の蛍光強度変化を以下に示す。

表8 各蛍光染料の濃度比と蛍光強度

Brilliant sulphaflavine (ppb)	Eosin (ppb)	蛍光強度
1750	0.8	181
1750	5	181
1750	15	182
1750	45	180
1750	285	182

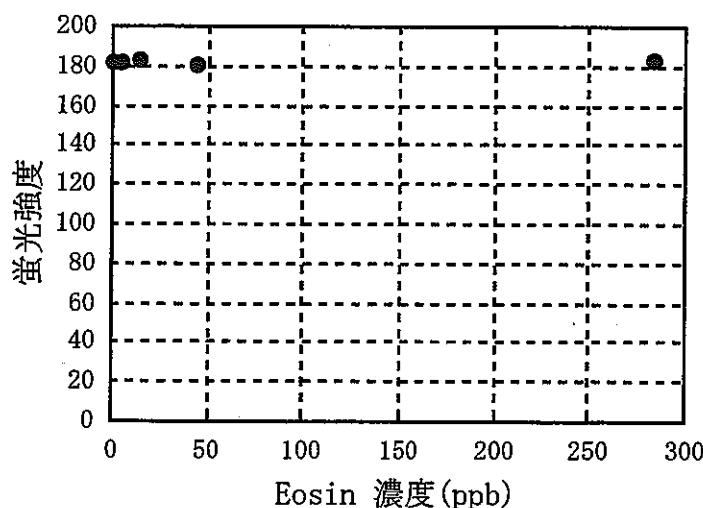


図24 Eosin の濃度変化に対する Brilliant sulphaflavine の蛍光強度変化  
(励起波長 420nm, 蛍光波長 514nm)

表9 各蛍光染料の濃度比と蛍光強度

Brilliant sulphaflavine (ppb)	Eosin (ppb)	蛍光強度
33250	15	288
5250	15	200
1750	15	189
583	15	183
9.2	15	182

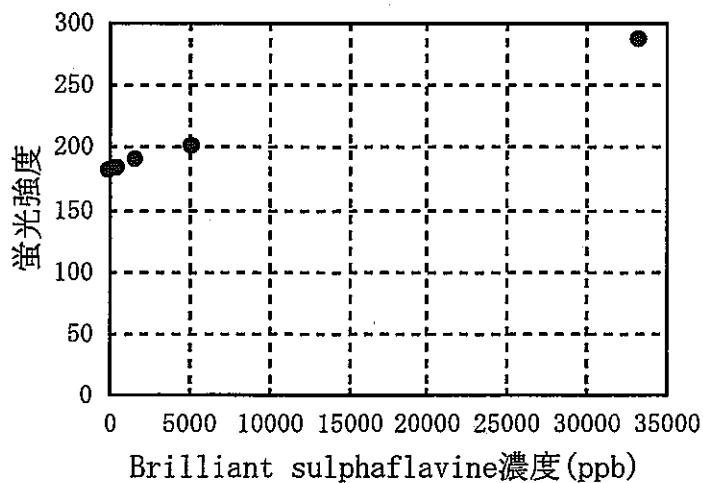


図 25 Brilliant sulphaflavine の濃度変化に対する Eosin の蛍光強度変化  
(励起波長 516nm, 蛍光波長 538nm)

Eosin と Brilliant sulphaflavine の一方を一定濃度に保ち他方の濃度を変化させた時、Eosin は Brilliant sulphaflavine の濃度に比例してその蛍光強度が増加するが、Brilliant sulphaflavine は Eosin の濃度と相関がなく、Eosin の影響を受けない事が判る。しかしながら、Brilliant sulphaflavine は検出感度が低いため初期濃度を高く設定する必要があり、その場合他の蛍光染料の定量に影響を与える可能性が高い。

#### 定量方法の検討

以上の予察的検討結果を踏まえて、Sodium-naphthionate、Amino G. acid、Eosin の 3 種類の蛍光染料について、それぞれの蛍光染料の励起波長において 1ppb 当たりの蛍光強度を測定し、同時定量のための計算式の構築を試みた。

#### 試験方法

各蛍光染料溶液 (Sodium-naphthionate 14ppm, Amino G. acid 30ppm, Eosin 6ppm) の 5%, 0.5%, 0.375%, 0.25% 溶液を作成し蛍光スペクトルを測定した。

## 結果

表 10 Sodium-naphthionate, Amino G. acid, Eosin の各励起波長における蛍光強度

蛍光染料	濃度(ppb)	各波長における蛍光強度		
		Ex. 320nm Em. 420nm	Ex. 355nm Em. 450nm	Ex. 516nm Em. 538nm
Sodium-naphthionate	35	178	20	0
	52.5	268	32	0
	70	357	43	0
	700	-	426	2
	1(計算値)	5.10	0.60	0
Amino G. acid	75	65	171	0
	112.5	96	255	2
	150	131	339	3
	1500	-	-	40
	1(計算値)	0.87	2.27	0.03
Eosin	15	0	0	187
	22.55	0	0	286
	30	0	0	378
	300	0	1	-
	1(計算値)	0	0	12.6

Sodium-naphthionate の励起波長である 320nm に光を照射し、その蛍光波長である 420nm で蛍光測定を行うと、Sodium-naphthionate 1ppbあたり 5.1、Amino G. acid 1ppbあたり 0.87 の蛍光強度が得られる事になる。これらの相関に基づいて、Sodium-naphthionate の濃度を X ppb、Amino G. acid の濃度を Y ppb、Eosin の濃度を Z ppb とすると各波長における蛍光強度は以下のようになる。

励起波長	蛍光波長	蛍光強度
320nm	420nm	$5.1X+0.87Y = A$
355nm	450nm	$0.6X+2.27Y = B$
516nm	538nm	$0.03X+12.6Z = C$

これらの各波長における蛍光強度 A, B, C を測定し、上記の連立方程式から各蛍光染料濃度 X, Y, Z が求められる。

## 5. まとめ

様々な蛍光染料について、トレーサーへの適用性について、蛍光スペクトルの濃度依存性・pH 依存性、蛍光染料の安定性、岩石に対する吸着特性などの検討を行った結果、トレーサーに適している蛍光染料とその組み合せについて以下のように整理することができた。

表 11 トレーサーとしての蛍光染料の適用性

	蛍光強度の 濃度依存性 がない事	試料の pH で pH 依存 性がない事	調査期間中 蛍光染料が 安定な事	岩石に対す る吸着性が ない事	併用不可 の組合せ
1.Uranine	○	○	○	○	
2. Eosin	○	○	○	○	5, 7, 9
3. Rhodamine B	○	○	○	○	4, 10
4. Sulfo Rhodamine B	○	○	○	×	3, 10
5. Sulfo Rhodamine G	○	○	○	×	2, 7, 9
6. Sodium-naphthionate	○	○	○	○	
7. Rhodamine 6G	○	×	○		2, 5, 9
8. Brilliant sulphaflavine	○	○	○	○	11
9. Erythrosine	×	○	○		2, 5, 7
10. Bengal rose	×	○	○		3, 4
11. Pyranine	○	×	○	×	8
12. Amino G. acid	○	○	○	○	

トレーサーとして適用可能な蛍光染料には、Uranine、Eosin、Rhodamine B、Sodium-naphthionate、Brilliant sulphaflavine、Amino G. acid 等が挙げられ、実際にこれらを調査に用いる場合は、コストや調達のし易さ等の観点も加えて蛍光染料を選定する必要がある。また、複数の蛍光染料を併用する場合は、前述したような予備試験を行い定量性について確認しておく事が望ましい。



## 付録2

### 様々な蛍光染料の基礎データ

1. Uranine
2. Eosin
3. Rhodamine B
4. Sulfo Rhodamine B
5. Sulfo Rhodamine G
6. Amidorhodamine G
7. Amidorhodamine B
8. Sodium-naphthionate
9. Rhodamine WT
10. Rhodamine 6G
11. 1 Lissamine
- 11.2 Lissamine Green B
12. Amidoflavine
13. Brilliant sulphaflavine
14. Erythrosine
15. Lanaperl fast yellow
16. Bengal rose
17. Pyranine
18. Fluorescein
19. Amino G. acid
20. Photine CU
21. Tinopal CBS-X
22. Tinopal ABP Liquid
23. Leucophor BS
24. Leucophor C
25. Chalcofluor white ST

色素名: 1. Uranine

化学名: 3',6'-Dihydroxyspiro[isobenzofuran-1(3H),9'-[9H]xanthen]-3-one diodium salt

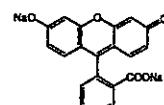
別名: Acid yellow 73

CAS No.: 518-47-8

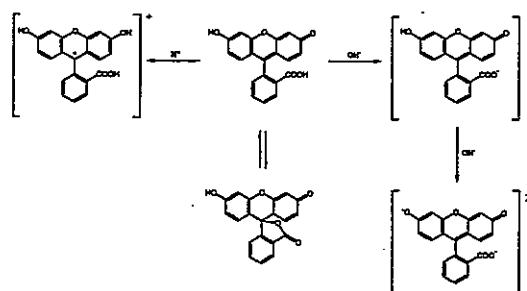
Colour Index No. 45350

分子式: C<sub>20</sub>H<sub>10</sub>Na<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

分子量: 376.28



平衡:



溶解度: ≥ 100g/l (water), 10g/l (Ethanol), 不溶(Benzene, petrol, Ethyl acetate)

検出・分析方法: 蛍光測定

励起波長: 491nm(main), 322nm

蛍光波長(λ max) : 512nm

毒性: LD50 ; 4740mg/kg(mouse, oral)

入手先: 東京化成(F0096、25g:1600 円)

参考文献:

1-1) Beil. 19, 222 (III/IV p. 456-461)

1-2) Merck Index 12, 4194

1-3) W. R. Orndorff et al., J. Am. Chem. Soc., 49, 1272-1280 (1927)

1-4) S. Hadi et al., Tracer Hydrology 97, p. 55-62 (1997)

1-5) Werner K., Tracing Technique in Geohydrology, p.21-31 (1998), A.A.BALKEMA.

1-6) Environmental Health Information Service (EHIS) ホームページ  
[http://ehis.niehs.nih.gov/ntp/docs/chem\\_hs.html](http://ehis.niehs.nih.gov/ntp/docs/chem_hs.html)

1-7) Emilian Gaspar, MODERN TRENDS in TRACER HYDROLOGY, Vol.1, p.8  
(1987), CRC Press, Inc.

色素名: 2. Eosin

化学名: 2',4',5',7'-Tetrabromo-3,6-dihydroxyspiro[isobenzofuran-1(3H),9'-[9H] xanthen] -3-one disodium salt

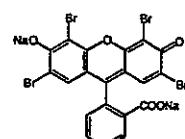
別名: Acid red 87

CAS No.: 17372-87-1

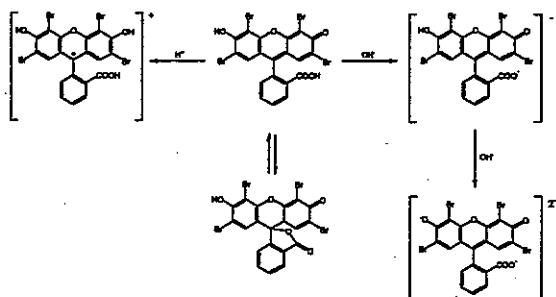
Colour Index No. 45380

分子式:  $C_{20}H_6Br_4Na_2O_5$

分子量: 691.88



平衡:



溶解度:  $\geq 100g/l$  (water; 21°C), < 1mg/ml (Ethanol, Acetone)

検出・分析方法: 融光測定

励起波長: 516nm (main), 480, 340, 300nm

蛍光波長( $\lambda_{max}$ ): 538nm

毒性: LD<sub>50</sub>; > 1000mg/kg(rat, oral)

入手先: 東京化成(T0037、Eosin Yellowish, 25g:2000 円)、Ald (EosinY;11983-0, 25g:3000 円)

参考文献:

2-1) Beil. 19, 230, (III/IV p. 462-465)

2-2) Merck Index 12, 3639

2-3) Werner K., Tracing Technique in Geohydrology, p.31-32 (1998), A.A.BALKEMA.

2-4) Environmental Health Information Service (EHIS) ホームページ  
[http://ehis.niehs.nih.gov/ntp/docs/chem\\_hs.htm1](http://ehis.niehs.nih.gov/ntp/docs/chem_hs.htm1)

2-5) Emilian Gaspar, MODERN TRENDS in TRACER HYDROLOGY, Vol.1, p.10 (1987), CRC Press, Inc.

色素名: 3. Rbodamine B

化学名: 9-(2-Carboxyphenyl)-3,6-bis(diethylamino)xanthylium chloride

別名: Basic violet 10

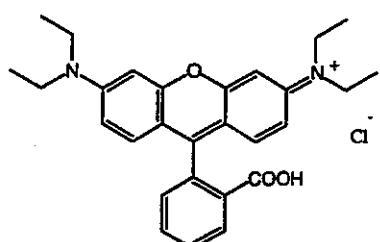
CAS No.: 81-88-9

Colour Index No. 45170

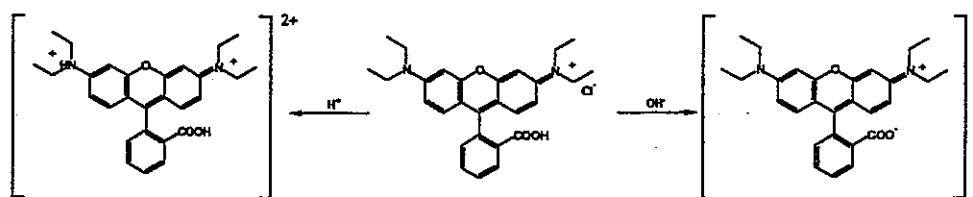
分子式: C<sub>28</sub>H<sub>31</sub>ClN<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

分子量: 479.02

構造式:



平衡:



溶解度: 20g/l(water), 95g/l(Acetone), 800g/l(Methanol)

検出・分析方法: 蛍光測定

励起波長: 554nm (main), 520, 355, 300nm

蛍光波長(λ max): 576nm

毒性: LD<sub>50</sub>; 890mg/kg (mouse, oral)

入手先: 東京化成(A0060、25g:1900円)

参考文献:

3-1) Beil. 19, 222 (III/IV p. 668-673)

3-2) Merck Index 12, 8349

3-3) W. R. Brown et al., J. Chem. Soc., 1264-1269 (1933)

3-4) Werner K., Tracing Technique in Geohydrology, p.32-36 (1998), A.A.BALKEMA.

3-5) Emilian Gaspar, MODERN TRENDS in TRACER HYDROLOGY, Vol.1, p.8 (1987), CRC Press, Inc.

色素名: 4. Sulfo Rhodamine B

化学名: 9-(2,4-Disulfophenyl)-3,6-bis(diethylamino)-xanthylium sodium

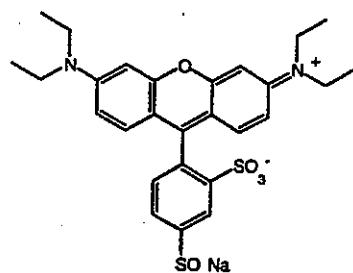
別名: Acid red 52

CAS No: 3520-42-1

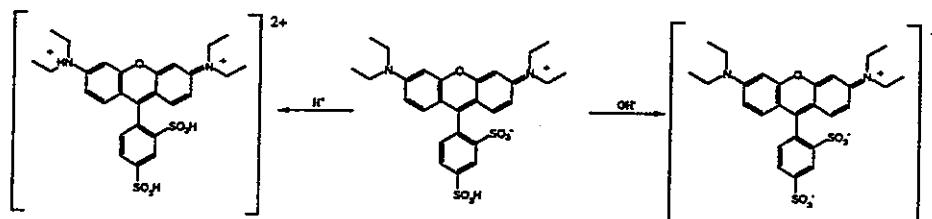
Colour Index No. 45100

分子式: C<sub>27</sub>H<sub>29</sub>N<sub>2</sub>NaO<sub>7</sub>S<sub>2</sub>

分子量: 580.65



平衡:



溶解度: 10g/l (water;20°C),

検出・分析方法: 蛍光測定

励起波長: 564nm(main), 525, 342nm

蛍光波長(λ max): 583nm

毒性: LD<sub>50</sub>; > 10000mg/kg(rat, oral)

入手先: 東京化成(A0400, 25g:4900 円)

参考文献:

4-1) Beil. 18 (2) 491

4-2) Werner K., Tracing Technique in Geohydrology, p.36-37 (1998), A.A.BALKEMA.

4-3) Environmental Health Information Service (EHIS) ホームページ  
[http://ehis.niebs.nih.gov/ntp/docs/chem\\_hs.htm1](http://ehis.niebs.nih.gov/ntp/docs/chem_hs.htm1)

4-4) Emilian Gaspar, MODERN TRENDS in TRACER HYDROLOGY, Vol.1, p.9  
(1987), CRC Press, Inc.

色素名: 5. Sulfo Rhodamine G

化学名: 9-(2,4-Disulfophenyl)-3, 6-bis (diethylamino)-2,7 1dimethyl-xanthylium sodium

別名: Acid red 50

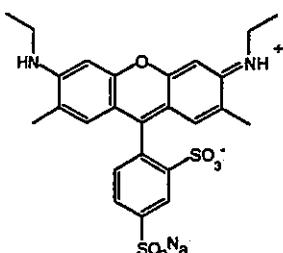
CAS No.: 5873-16-5

Colour Index No. 45220

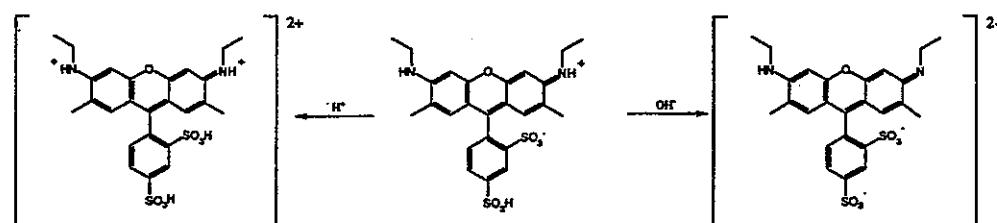
分子式: C<sub>25</sub>H<sub>25</sub>N<sub>2</sub>NaO<sub>7</sub>S<sub>2</sub>

分子量: 552.59

構造式:



平衡:



溶解度: 50g/l (water)

検出・分析方法: 蛍光測定

励起波長: 531.5nm (main), 495, 346nm

蛍光波長(λ max): 552nm

毒性: LD<sub>50</sub>; > 10000mg/kg(rat, oral)

入手先: Aid (23056-1, 5g:7400 円)

参考文献:

- 5-1) Werner K., Tracing Technique in Geohydrology, p.37-39 (1998), A. A.BALKEMA.
- 5-2) Emilian Gaspar, MODERN TRENDS in TRACER HYDROLOGY, Vol.1, p.9 (1987), CRC Press, Inc.

色素名: 6. Amidorhodamine G は化合物 5. Sulfo Rhodamine G と同一である。

色素名: 7. Amidorhodamine B は化合物 4. Sulfo Rhodamine B と同一である。

色素名: 8. Sodium-naphthionate

化学名: 1-Naphthylamine- 1-sulfonic acid sodium salt

別名:

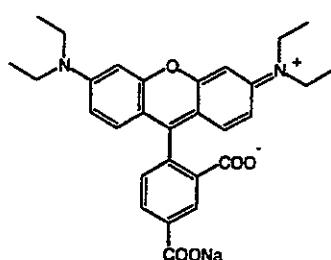
CAS No.: 130-13-2

Colour Index No.

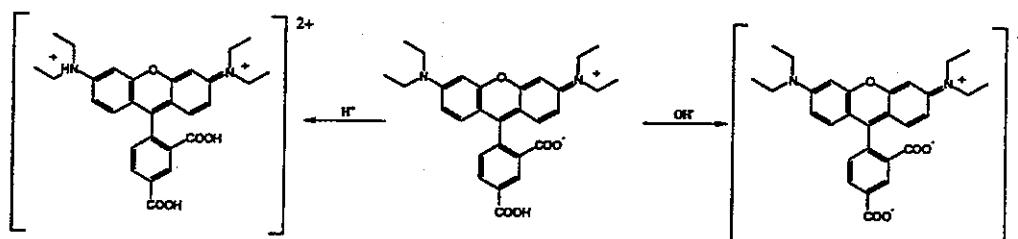
分子式: C<sub>10</sub>H<sub>8</sub>NNaO<sub>3</sub>S

分子量: 245.23

構造式:



平衡:



溶解度: 240g/l(water;21°C)

検出・分析方法: 蛍光測定

励起波長: 320nm(nm), 237, 218nm

蛍光波長(λ max): 420 nm

毒性: negative (in-vitro test, see ref. B-2)

入手先: 東京化成 (A0353, 25g:1100 円)

参考文献:

8-1) Beil. 14, 739 (III p. 2240-2243)

8-2) Merck Index 12, 6490

8-3) Werner K., Tracing Technique in Geohydrology, p.46 (1998), A.A.BALKEMA.

色素名: 9. Rhodamine WT

化学名: 3,6-Bis-diethylamino-9-(2',4'-dicarboxyphenyl)-xanthyliumsodium

別名: Acid red 388

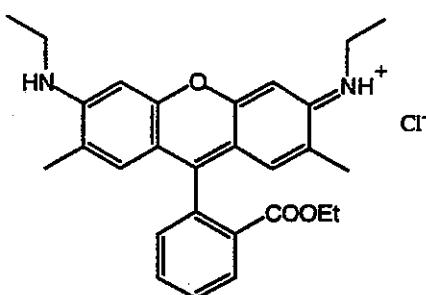
CAS No.: 37299-86-8

### Colour Index No.

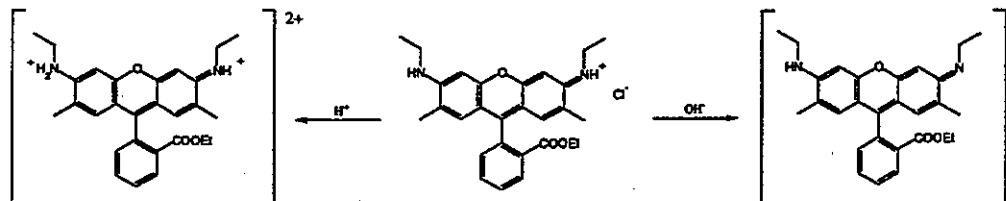
分子式: C<sub>20</sub>H<sub>20</sub>N<sub>2</sub>NaO<sub>5</sub>

分子量: 480.55

構造式



平衡：



溶解度: Good(water)

### 検出・分析方法: 蛍光測定

励起波長: 554nm, 515, 380, 355, 310, 290nm

螢光波長( $\lambda$  max): 580nm

毒性: LD<sub>50</sub>; >25000mg/kg (rat, oral)

入手先: DUPON

#### 参考文献:

- 9-1) Werner K., Tracing Technique in Geohydrology, p.40-41 (1998), A.A.BALKEMA.  
 9-2) Emilian Gaspar, MODERN TRENDS in TRACER HYDROLOGY, Vol.1, p.9-10  
 (1987), CRC Press, Inc.

色素名: 10. Rhodamine 6G

化学名: 9-(2-Ethoxycarbonylphenyl)-3,6-bis-ethylamino-2,7-dimethyl-xanthylium chloride

別名: Basic red 1, Pigment red 81

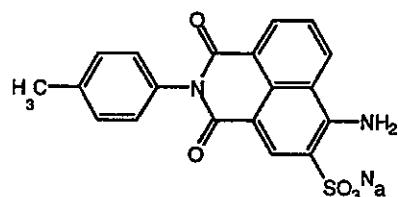
CAS No.: 989-38-8

Colour Index No. 45160

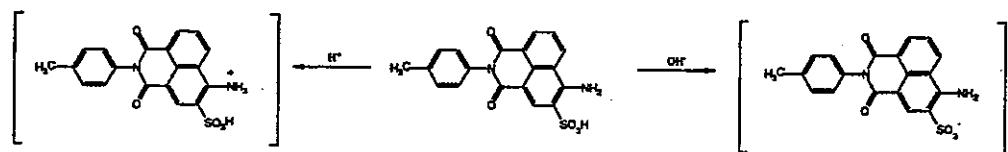
分子式: C<sub>28</sub>H<sub>31</sub>ClN<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

分子量: 479.01

構造式:



平衡:



溶解度: 20g/l(water), 120g/l(Ethanol)

検出・分析方法: 蛍光測定

励起波長: 526nm(main), 495, 345, 285nm

蛍光波長(λ max): 552nm

毒性: EC<sub>50</sub> (48h); > 100mg (see ref. B-2)

入手先: 東京化成(R0039, 25g:2250 円)

参考文献:

10-1) Werner K., Tracing Technique in Geohydrology, p.41-42 (1998), A.A.BALKEMA.

10-2) Environmental Health Information Service (EHIS) ホームページ

[http://ehis.niehs.nih.gov/ntp/docs/chem\\_hs.html](http://ehis.niehs.nih.gov/ntp/docs/chem_hs.html)

10-3) Emilian Gaspar, MODERN TRENDS in TRACER HYDROLOGY, Vol.1, p.9-10 (1987), CRC Press, Inc.

色素名: 11. Lissamine

化学名: 1 -Amino-N-(4-methylphenyl)A,5-naphthalimide-2-sulfonic acid sodium salt

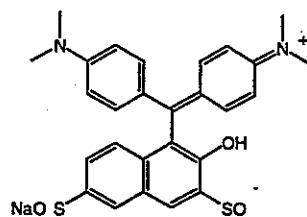
別名: Acid yellow 7

CAS No.: 2391-30-2

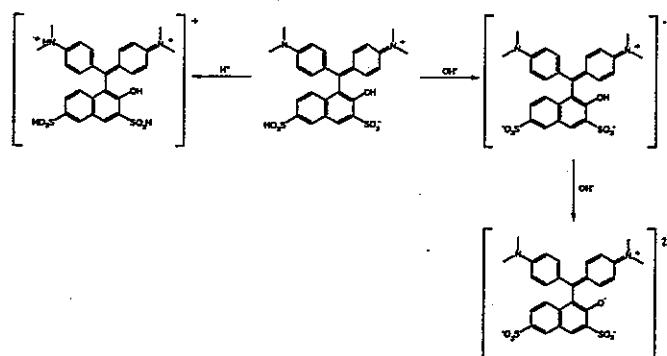
Colour Index No. 56205

分子式: C<sub>19</sub>H<sub>13</sub>N<sub>2</sub>NaO<sub>5</sub>S

分子量: 404.38



平衡:



溶解度: 22g/l (water)

検出・分析方法: 蛍光測定

励起波長: 432nm

蛍光波長(λ max): 508nm

毒性: LD<sub>50</sub>; 8560mg/kg(rat, oral)

入手先: Ald で誘導体の 11-1.Brilliant Sulphaflavine (MW418.41) が市販されている(12131-2. 25g;6300 円)これはメチル基が一つ多い構造

参考文献:

11-1) Werner K., Tracing Technique in Geohydrology, p.4849 (1998), A. A.BALKEMA.

11-2) Emilian Gaspar, MODERN TRENDS in TRACER HYDROLOGY, Vol.1, p.10-11 (1987), CRC Press, Inc.

色素名: 11-2. Lissamine Green B

化学名: 1-[N-[4-[[4-(Dimethylamino)phenyl]-naphthylmethylene]-cyclohexa-dien-1-ylidene-N-dimethyl] ] -2-hydroxynaphthalin-3 ,6-disulfonic acid sodium salt

別名: Acid Green 50

CAS No.: 3087-16-9

Colour Index No. 44090

分子式: C<sub>27</sub>H<sub>25</sub>N<sub>2</sub>NaO<sub>7</sub>S<sub>2</sub>

分子量: 576.62

構造式:

溶解度: Good(water)

検出・分析方法: 蛍光測定

励起波長: 395nm

蛍光波長(λ max): 458nm (蛍光の intensity が低く使用不可)

毒性:

入手先: 東京化成(G0250, 10g:3700 円)

参考文献:

11-2-1) Beil. 14(2), 514

色素名: 12. Amidoflavine

化学名:

別名: Acid Yellow 215:1

CAS No.:

Colour Index No.

分子式: Unknown

分子量:

構造式: Amidoflavine is a derivative of naphthalimide.

溶解度: 80g/l (water;20℃)

検出・分析方法: 蛍光測定

励起波長: 440nm(main), 345, 282

蛍光波長( $\lambda$  max): 518nm

毒性: LD<sub>50</sub>; 8524mg/kg(rat, oral)

入手先: HOECHST (Amido-Flavin FF-PW)

参考文献:

12-1) Werner K., Tracing Technique in Geohydrology, p.48 (1998), A.A.BALKEMA.

12-2) Emilian Gaspar, MODERN TRENDS in TRACER HYDROLOGY, Vol.1,  
p.10-11 (1987), CRC Press, Inc.

色素名:13. Brilliant sulfonavine は化合物 11. Lissamine と同一である。

色素名: 14. Erythrosine

化学名: 3',6'-dihydroxy-2',4',5',7'-tetraiodospiro[isobenzofuran-1(3H),9'-[9H]xanthen]-3-one disodium salt

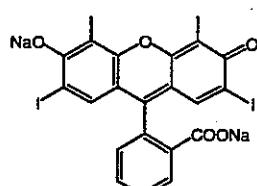
別名: Acid red 51

CAS No.: 568-63-8

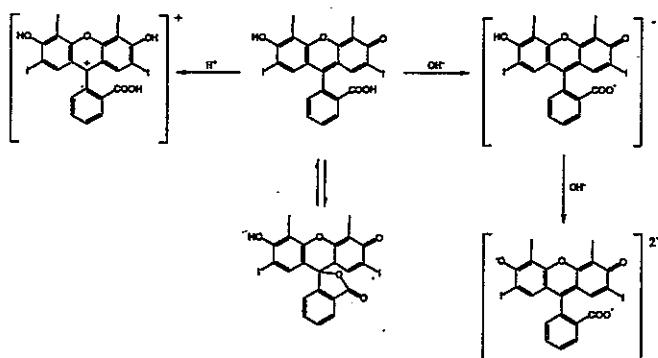
Colour Index No. 45430

分子式: C<sub>20</sub>H<sub>6</sub>I<sub>4</sub>Na<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

分子量: 879.87



平衡:



溶解度: Soluble in water, alcohol

検出・分析方法: 蛍光測定

励起波長: 525nm

蛍光波長( $\lambda$  max): 547nm

毒性: LD<sub>50</sub>; 2891 mg/kg(rat, oral)

入手先: 東京化成(T0557, Erythrosine B, 25g:2950 円)

参考文献:

14-1) Beil. 19, 231 (III/IV p. 466-467)

14-2) Merck Index 12, 3734

14-3) Walter C. Holmes et al., I. Am. ahem. Soc., 49, 1594-1598 (1927)

14-4) Werner K., Tracing Technique in Geohydrology, p.42-43 (1998),  
A.A.BALKEMA.

色素名: 15. Lanaperl fast yellow

化 学 名 : 4-(4'-Methyl-3'-sulfanilido-1-azo)-3-methyl-1-(4"-sulfo-phenyl)-pyrazol-5-one-sodium

別名: Acid yellow 25

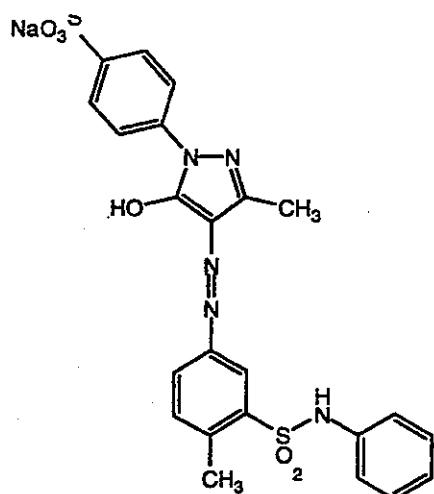
CAS No.: 6359-85-9

Colour Index No. 18835

分子式: C<sub>23</sub>H<sub>20</sub>N<sub>5</sub>NaO<sub>6</sub>S<sub>2</sub>

分子量: 549.55

構造式:



溶解度: Good (water)

検出・分析方法: 蛍光測定

励起波長: 449nm(main), 478, 265nm

蛍光波長(λ max): 508nm

毒性:

入手先: Aid(Acid Yellow 25;20196-0, 100g;6000 円)

参考文献:

15-1) Werner K., Tracing Technique in Geohydrology, p.47-48 (1998),  
A.A.BALKEMA

色素名: 16. Bengal rose

化学名: 4,5,6,7-Tetrachloro-3',6'-dihydroxy-2',4',5',7'-tetraiodospiro[isobenzofuran-1(3H),9'-[9H]xanthen]-3-one disodium salt

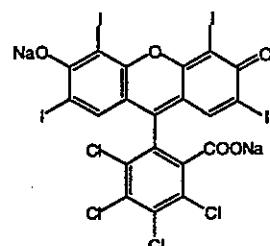
別名: Acid red 94

CAS No.: 632-69-9

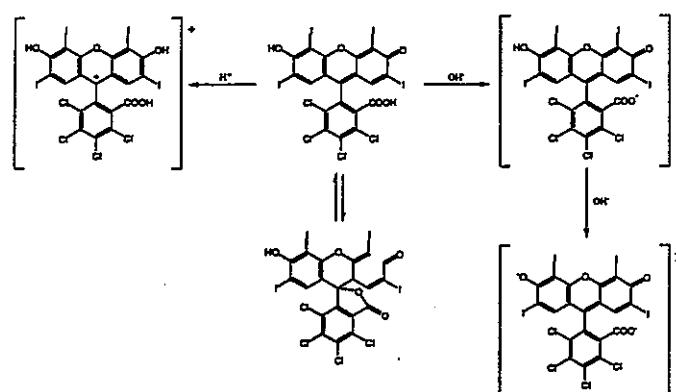
Colour Index No. 45440

分子式:  $C_{20}H_2Cl_4I_4Na_2O_5$

分子量: 1017.64



平衡:



溶解度: Soluble in water

検出・分析方法: 萤光測定

励起波長: 547nm、514nm

蛍光波長( $\lambda$  max): 570nm

毒性:

入手先: 東京化成(R0041, Acid red 94, 25g:3700 円)

参考文献:

16-1) Beil. 19(2), 261

16-2) Ibid. 19(6), 468

16-3) Merck Index 12, 8421

16-4) Werner K., Tracing Technique in Geohydrology, p. 43 (1998), A.A.BALEEMA.

色素名: 17. Pyranine

化学名: 8-Hydroxy- 1,3,6-pyrenetrisulfonic acid, trisodium salt

別名: Solvent green 7

CAS No.: 63358-69-6

Colour Index No. 59040

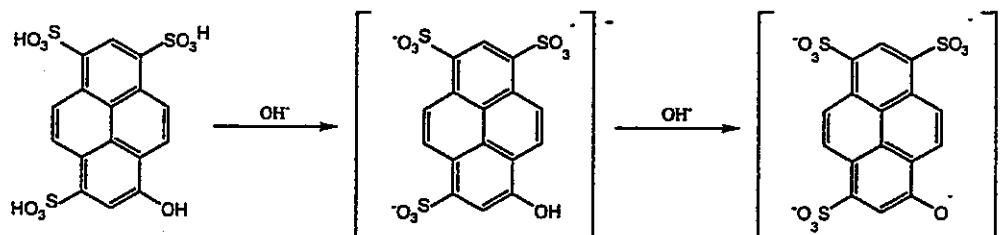
分子式:  $C_{16}H_7Na_3O_{10}S_3$

分子量: 524.39

構造式:



平衡:



溶解度: 178g/l (20°C) (solvent; water)

検出・分析方法: 蛍光測定

励起波長: 455nm (>pH7.7) , 405nm (<pH7.7)

蛍光波長( $\lambda$  max): 512nm (>pH2.5) , 445nm (<pH2.5)

毒性: LD<sub>50</sub>; >5000mg/kg (rat, oral)

入手先: 東京化成(P0802, 25g:4400 円)

参考文献:

17-1) Beil. 11(3) 565

17-2) Werner K., Tracing Technique in Geohydrology, p.43-46(1998),  
A.A.BALKEMA.

17-3) Emilian Gaspar, MODERN TRENDS in TRACER HYDROLOGY, Vol.1,  
p.10-11 (1987), CRC Press, Inc.

色素名: 18. Fluorescein (Uranine は Fluorescein の Na 塩である)

化学名: 2-(3,6-Dihydroxy-9H-xanthen-9-yl)-benzoic acid

別名: Solvent Yellow 94

CAS No.: 2321-07-5

Colour Index No. 453501

分子式: C<sub>20</sub>H<sub>12</sub>O<sub>5</sub>

分子量: 332.31

溶解度: 0.05g/l (water; 20°C), soluble in alcohol and ether.

検出・分析方法: 蛍光測定

励起波長: Uranine 参照

蛍光波長(λ max): Uranine 参照

毒性: LD ; 2.5g/kg (rat, oral)

入手先: ナカラライ(161-06、25g:5800 円)

参考文献:

18-1) Beil. 19, 222 (III/IV p. 456-461)

18-2) Merck Index 12, 4194

18-3) Environmental Health Information Service (EHIS) ホームページ

[http://ehis.niehs.nih.gov/ntp/docs/chem\\_hs.html](http://ehis.niehs.nih.gov/ntp/docs/chem_hs.html)

18-4) Werner K., Tracing Technique in Geohydrology, p.21-31(1998),  
A.A.BALKEMA. (Uranine は Fluorescein の Na 塩であるため 1. Uranine の文  
献を参照)

色素名: 19. Amino G acid

化学名: 7-Amino-1,3-naphthalenedisulfonic acid potassium salt

別名:

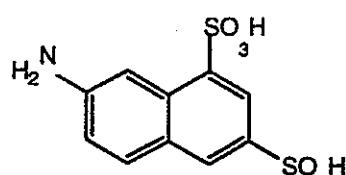
CAS No.: 86-65-7

Colour Index No.

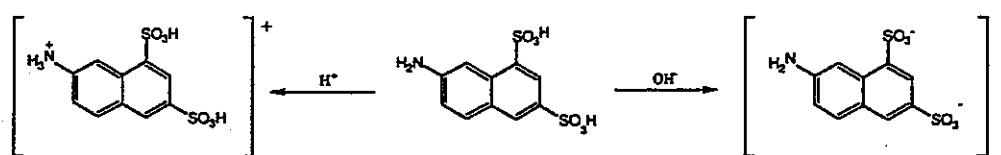
分子式: C<sub>10</sub>H<sub>9</sub>NO<sub>6</sub>S<sub>2</sub>

分子量: 303.32

構造式:



平衡:



溶解度: moderate (water)

検出・分析方法: 蛍光測定

励起波長: 355nm, 308, 247, 218nm

蛍光波長(λ max): 450nm

毒性: LC<sub>50</sub> (96h, Fish); 1400mg/l (see ref. B-1)

入手先: 東京化成 (A0337、Amino G acid Monopotassium Salt, 25g:1800 円) (入手可能な試薬は Amino G acid のカリウム塩である)

参考文献:

19-1) Merck Index 12,421

19-2) Werner K., Tracing Technique in Geohydrology, p.46-47 (1998), A. A.B  
ALKEMA.

色素名: 20. Photine CU

化学名:

別名: Fluorescent brightener 15

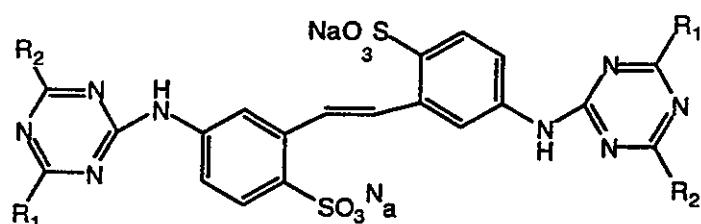
CAS No.: 61725-16-4

Colour Index No.

分子式:

分子量:

構造式:



溶解度:

検出・分析方法: 蛍光測定

励起波長:

蛍光波長( $\lambda$  max):

毒性:

入手先:

参考文献:

20-1) Werner K., Tracing Technique in Geohydrology, p.54-55 (1998), A.A.B ALKEMA.

20-2) Emilian Gaspar, MODERN TRENDS in TRACER HYDROLOGY, Vol. I, p.11 (1987), CRC Press, Inc.

色素名: 21. Tinopal CBS-X

化学名: 4,4'-Bis-(2-sulfostyryl)-1,1'-biphenyl-disodium

別名: Fluorescent brightener 351

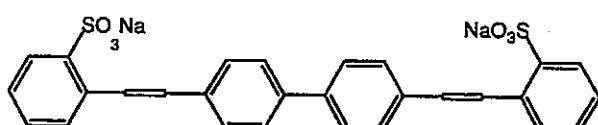
CAS No.: 27344-41-8

Colour Index No.

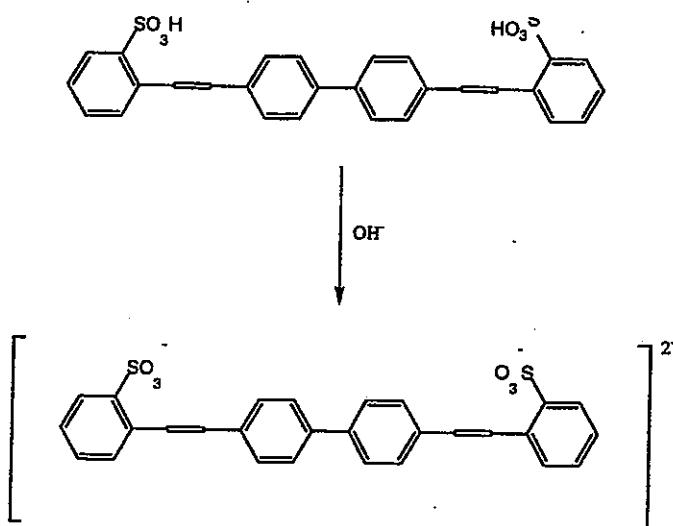
分子式: C<sub>28</sub>H<sub>20</sub>Na<sub>2</sub>O<sub>6</sub>S<sub>2</sub>

分子量: 562.57

構造式:



平衡 :



溶解度: 0.4 – 0.5g/l (water ;10°C), 25g/l(water;25°C)

検出・分析方法 : 萤光測定

励起波長: 346nm(main), 223nm

螢光波長(λ max): 435nm

毒性: LD<sub>50</sub>: 7800mg/kg (mouse, oral)

入手先:

参考文献:

21-1) Werner K., Tracing Technique in Geohydrology, p.51-53 (1998), A. A.BALKEMA.

21-2) Emilian Gaspar, MODERN TRENDS in TRACER HYDROLOGY, Vol.1, p.11 (1987), CRC Press, Inc.

色素名: 22. Tinopal ABP Liquid

化学名: 4,4'-Bis[3-diethanolamino-5-(4-sulfoanilino)-1-triazinyl-amino]-stilbene-2,2'-disulfonic acid tetrasodium salt

別名: Fluorescent brightener 15

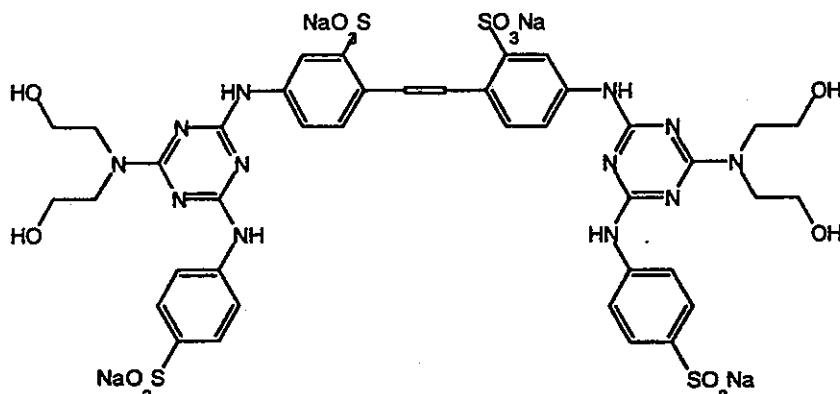
CAS No.:

Colour Index No.

分子式: C<sub>40</sub>H<sub>40</sub>N<sub>12</sub>O<sub>16</sub>Na<sub>4</sub>S<sub>4</sub>

分子量: 1165.04

構造式:



溶解度:

検出・分析方法: 蛍光測定

励起波長: 350nm(main)

蛍光波長( $\lambda$  max): 435nm

毒性: positive(in-vitro test, see ref. B-2)

入手先: CIBA- GEIGY

参考文献:

22-1) Werner K., Tracing Technique in Geohydrology, p.53-54 (1998), A.A.BALKEMA.

22-2) Emilian Gaspar, MODERN TRENDS in TRACER HYDROLOGY, Vol.1, p.11 (1987), CRC Press, Inc.

色素名: 23. Leucophor BS

化学名: Fruorescent brightener 49

別名:

CAS No.:

Colour Index No.

分子式: Unspecified

分子量:

溶解度:

検出・分析方法 :

励起波長:

蛍光波長( $\lambda$  max):

毒性:

入手先:

参考文献:

23-1) Werner K., Tracing Technique in Geohydrology, p.54 (1998), A. A.BALKEMA

23-2) Emilian Gaspar, MODERN TRENDS in TRACER HYDROLOGY, Vol.1,  
p.11 (1987), CRC Press, Inc.

色素名: 24. Leucophor C

化学名:

別名: Fluorescent brightener 232

CAS No.: 115469-37-9

Colour Index No.

分子式: Unspecified

分子量:

溶解度:

検出・分析方法 : 蛍光測定

励起波長:

蛍光波長( $\lambda$  max):

毒性:

入手先:

参考文献:

24-1) Werner K., Tracing Technique in Geohydrology, p.54. (1998), A.A.BALKEMA.

24-2) Emilian Gaspar, MODERN TRENDS in TRACER HYDROLOGY, Vol.1,  
p.11 (1987), CRC Press, Inc.

色素名: 25. Chalcofluor white ST

化学名: 4,4'-Bis(3-anilino-5-diethanolamino-1-triazinylamino)-stilbene-2,2'-disulfbnic acid disodium salt

別名: Fluorescent brightener 28, Phorwite BBH Pure

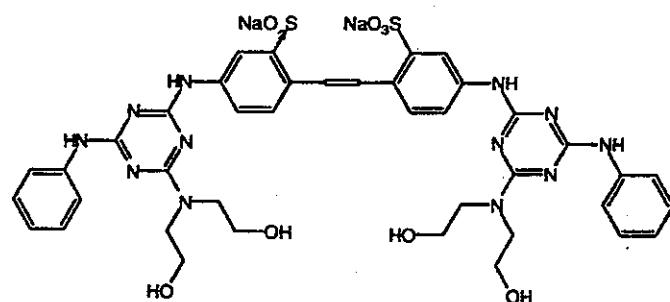
CAS No.: 4404-43-7

Colour Index No. 40622

分子式: C<sub>40</sub>H<sub>42</sub>N<sub>12</sub>Na<sub>2</sub>O<sub>10</sub>S<sub>2</sub>

分子量: 960.96

構造式:



溶解度: Good (water)

検出・分析方法: 蛍光測定

励起波長: 349nm(main), 240nm

蛍光波長 ( $\lambda$  max): 430nm

毒性: LC<sub>50</sub>(96h, Fish); > 1000mg/l (see ref. B-1)

入手先:

参考文献:

25-1) Werner K., Tracing Technique in Geohydrology, p.55 (1998), A.A.BALEEMA.

25-2) Emilian Gaspar, MODERN TRENDS in TRACER HYDROLOGY, Vol.1, p.11  
(1987), CRC Press, Inc.