



小特集 施設起源トリチウムの移行モデルと環境トリチウム分布

3. トリチウムの環境移行モデル

3.1 簡易モデルによる河川水中のトリチウム濃度の解析

高橋知之, 山西弘城¹⁾
 京都大学原子炉実験所, ¹⁾核融合科学研究所
 (原稿受付: 2009年6月8日)

核融合科学研究所が継続して実施している土岐地区の河川水中トリチウム濃度測定について、濃度レベルと経年変動の特徴を検討した。また、1982年から1990年の河川水のトリチウム濃度の経時変化のデータに、簡易なコンパートメントモデルを適用して河川水中トリチウムの挙動解析を試みた結果、概略的なトリチウムの減少傾向を再現することができた。

Keywords:

tritium concentration, Toki river, river water, groundwater, dynamic compartment model

3.1.1 はじめに

名古屋大学プラズマ研究所は、大気圏内核実験によって過去に大量注入されたトリチウムの環境挙動を調べることで、地下水や河川水の流れを追跡したり、自然バックグラウンド変動の様子を把握することを目的とし、土岐地区における河川水のトリチウム濃度測定を1982年に開始した[1]。この測定は核融合科学研究所(以下、「核融合研」と記述する。)に改組した後も継続して実施している[2]。本章では、これまでの河川水のトリチウム濃度測定によって得られた変動の特徴について紹介するとともに、1982年から1990年の河川水のトリチウム濃度の経時変化のデータから、簡易なコンパートメントモデル^{*9)}によって、土岐地区の河川水中トリチウムの挙動解析を試みた結果を紹介する。

3.1.2 河川水の採取地点と採取方法

土岐地区における河川は、図1に示すように、土岐市北部を東から西に流れる土岐川があり、それに肥田川、妻木川、生田川等の小河川が土岐川に合流している。採水は図に示す地点で3ヶ月ごとに行い、1点1回あたりの採水量は1リットル以上としている。なお、採水は、降雨の影響を排除するため、降雨日や降雨日の翌日はできるだけ避け、午前中に完了することとしている。採水した水に含まれるトリチウムの濃度は、液体シンチレーションカウンター法[3]により測定している。

3.1.3 河川でのトリチウム濃度変動の特徴[2]

(i) 環境水中トリチウムの経年変動

この地域の濃度変化と地点間の濃度のばらつきを表すために、採水地点7点(A-1, A-3, B-1, B-3, C-1, F-1, F-2)について、1982年から1998年の平均濃度の経年変化を図2に示す。誤差棒は7点のデータの標準偏差で示した。これら7点は核融合研周辺の主要な河川の採水点から選定したものである。同一河川において支流合流前後の2点で採水している場合には合流前の採水点のみを採用している。

濃度レベルは、測定当初の1982年から徐々に低下している。1980年代は一般に河川水の濃度が雨水よりも高い傾向を示しており、これは大気圏内核実験が実施されていた頃に雨水として供給されたトリチウムが地下水に流入し、その後時間をおいて河川へ再流出してきていることによる。しかしながら、1990年頃以降は降水、河川水ともに検出下限値程度の濃度となっている。なお、1990年以降は地点間の濃度の差異はほとんど認められなくなった。

(ii) 採水地点間のトリチウム濃度の差異

各採水点において得られたトリチウム濃度は、降水中トリチウム濃度の変動等に起因して変動しているが、概略的には指数関数的に減少している。この濃度レベル低下傾向の見かけの半減期を評価した結果、採水点によって2.3~7.2年と大きくばらついた。ここで、見かけの半減期は降水として供給され、河川水になるまでの所要時間を反映した希釈の速さを示していると考えられる。また、採水点によって濃度差が認められたが、合流によって濃度変化が観測されるほどの濃度差ではなかった。

地点Zは、他の河川水に比べてトリチウム濃度が少し高

3. Transfer Models of Tritium in the Environment

3.1 Estimation of Tritium Concentration in River Water by Using a Simple Model

TAKAHASHI Tomoyuki, YAMANISHI Hirokuni

authors' e-mail: tomoyuki@rri.kyoto-u.ac.jp, yamanishi.hirokuni@nifs.ac.jp

* 9 用語集参照

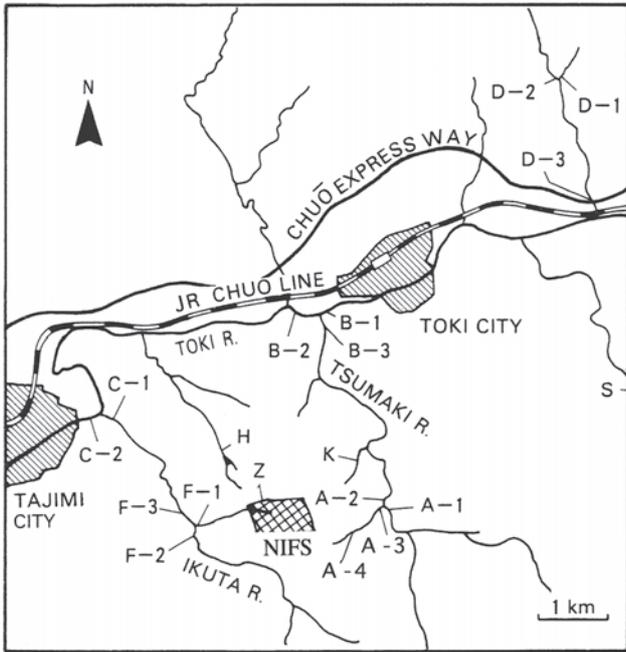


図1 土岐地区における河川水の採水地点。

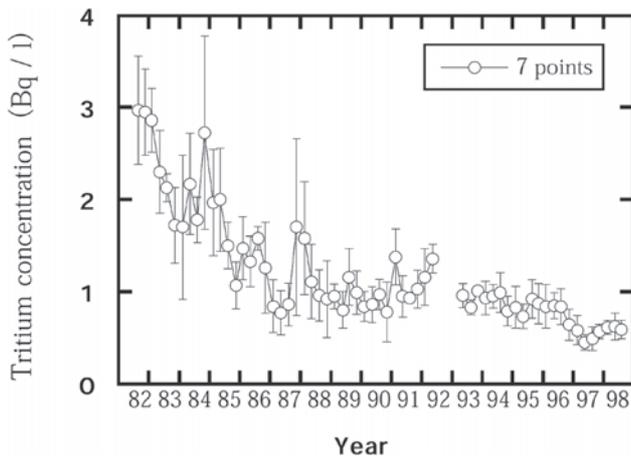


図2 河川水トリチウム濃度の経時変化（7地点の平均値）。

めであった。地点Zは、核融合研の敷地の地下を流れる水脈で、研究所の調整池と合流する手前の地点である。降雨等に起因する表層水の占める割合が他の河川に比べて小さく、比較的濃度の高い地下水の割合が大きいため、結果として他の採水地点より少し高めのトリチウム濃度となっていたと考えられる。

採水点間の類似性を評価する目的でクラスター分析を行った結果では、顕著な濃度差がないため明確な分類はできないが、同じ川で距離の近い上流と下流とでは類似度が高いことが明らかとなった。その逆に、B-2地点とC-2地点とは土岐川の採水点であるが類似度は低い。B-2地点からC-2地点へ至る間に流入があり、それによって濃度変動が異なる結果になったと考えられる。

(iii) 流量と濃度との関係

上述したように、河川水中のトリチウム濃度レベルは測定開始時から概略的には指数関数的に低下しているが、それから外れた増減も示している。この濃度の増減と河川の

流量との関係について検討した結果、明瞭な関係は認められなかった。そこで、短期的変動を除去して、時間中のより長い変動について検討したところ、5点の移動平均値、流量の増減と濃度偏差の増減とが逆になっている傾向が見られた。

雨水は地下水に圧力をかけてそれを押し出す作用をしているものと考えられている[4,5]。雨水が流入した量だけ地下水に圧力がかかり、それと同量が地下水から河川に流出して地下水は一定量を保っている。そのため、降水量が少なく河川流量が少ないときは、河川水中のトリチウム濃度は比較的高くなると思われる。しかしながら一方で、降水の地下浸透速度には限界があり、降水量が増大すると河川への直接流出が発生する。雨水中のトリチウム濃度は地下水のトリチウム濃度よりも低いので、降水量の増加に伴って河川の流量が多くなるとは、河川水中のトリチウム濃度が低下すると考えられる。

3.1.4 簡易モデルによる解析

(i) モデルの概要

施設起源のトリチウムが降雨等によって地表面に沈着した場合、あるいは排水系に流入した場合の広域移行を評価するためには、当該地域の河川系によるトリチウム移行を把握する必要がある。その一例として、土岐地区におけるトリチウムの移行挙動を評価するため、前述した河川水中トリチウム濃度データをもとに、土岐地区におけるトリチウムの河川流出モデルの構築を試みた。流出モデルには動的コンパートメントモデルを使用し、モデルの構築および解析には日本原子力研究開発機構が開発したMOGRA[6]を使用した。

本モデルで解析対象とした土岐地区における河川ネットワークを図3に示す。それぞれの記号は図1に示した採水点を表しており、実線枠は合流点におけるそれぞれの河川の上流を含む流域を表し、破線枠は合流点の下流地点を意味する。すなわち、例えば妻木川は、合流点Aにおいて二つの河川が合流しているが、その上流側の採水点が合流前のそれぞれの河川の流域の下流に相当するA-1地点とA-3地点であり、合流した後の採水地点がA-2地点となる。その後下流して土岐川との合流点Bに到るが、B-3地点では、A-2地点からの河川水に加え、合流点Aから合流点Bまでの流域からの水も合流している。合流点Bにおいて土岐川

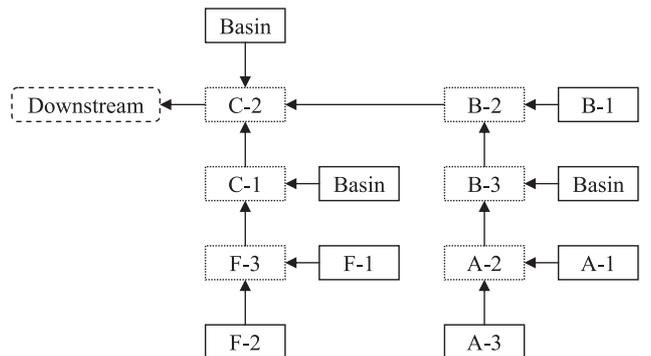


図3 本解析で設定した河川ネットワーク。

の上流側の B-1 地点と合流して、合流点 B の下流側の採水点である B-2 地点となる。

前述したように、雨水は地下水に圧力をかけてそれを押し出す作用をしているものと考えられている。すなわち、地下水には過去の雨水が蓄積しており、徐々に新たな雨水と交換しながら、河川に流出していると考えられる。本モデルではこのような移行挙動を簡易的にモデル化するため、それぞれの流域について、雨水の表面流出水である河川水コンパートメントと、当該流域において地下浸透した地下水コンパートメントの2つのコンパートメントに分割する。流域には降水量から蒸発散量を除いた水余剰量が供給されるとし、その一部は表面流出水として河川水コンパートメントに流入し、残りは浸透水として地下水コンパートメントに流入するとする。なお、モデルの簡便化のため、地下水コンパートメントから流出した水は流域内において河川水に合流して、下流に流れるとする。また、合流地点では上流側の河川水コンパートメントから河川水が流入し、下流の河川水コンパートメントに流下させるとする(図4参照)。

(ii) パラメータの設定

本解析で対象とする流域における詳細な降雨量データや、河川流況に関するデータは得られていないため、本解析では概略的なトリチウムの移行挙動を把握することを目的とする。このため、流域面積を除く移行パラメータはすべての流域で共通の値を用いることとする。測定点上流側の水余剰量は、気象庁多治見観測所の1986年～1998年の平均値より840 mm/yとし、季節変動や年変動は考慮しない。また、核融合研が1998年に施設近傍4点で測定した地下水涵養量の結果から、河川流出量の水余剰量に対する比が0.81であったことから、水余剰量の80%が河川水コンパートメントに移行し、20%が地下水コンパートメントに移行するとする。流域面積は各河川については国土交通省のデータ[7]を用い、各河川内の個別の流域については1983年2月～1992年2月の河川流量平均値からこの流域面積を按分することによって推定した。

各流域に対するトリチウムの供給量は、水余剰量と流域面積の積に、降水中トリチウム濃度を乗じることにより与えられる。ここで、降水中トリチウム濃度は、1982年～

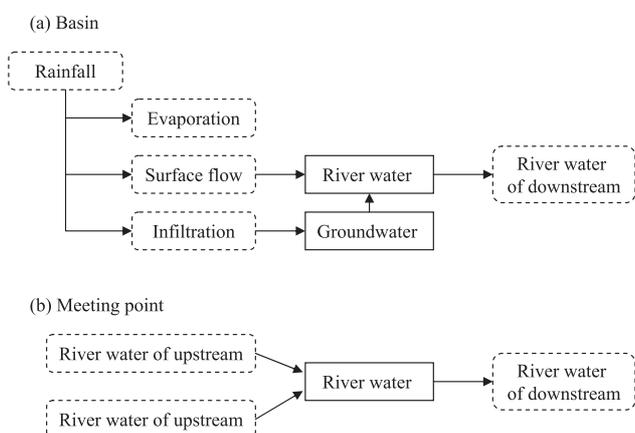


図4 河川流域および合流地点のコンパートメントモデル構造。

1990年[8]について得られている値を四半期ごとに降雨量で補正した平均値を用いた。これらのデータは九州地区において取得されているが、2.3章に記述したように、土岐地区と九州地区の河川水中濃度の差は顕著ではないことから、降水中濃度も大きな差はないと考えられ、本解析においても使用可能であると考えられる。なお、地下水中トリチウム濃度については別途測定された核融合研敷地内のボーリング水中濃度のデータを参考にして設定することとした。

(iii) 解析結果と考察

解析結果の例として、B-1 地点における河川水中トリチウム濃度及び地下水中トリチウム濃度の推定値の経時変化を、B-1 地点における河川水中トリチウム濃度の実測値及び核融合研敷地内のボーリング水中トリチウム濃度の実測値とともに図5に示す。初期値である1982年初頭におけるトリチウム濃度は、河川水、地下水ともに5 Bq L⁻¹とし、河川水の交換速度は0.01年、地下水の交換速度は4年としている。1980年代前半は、過去の比較的トリチウム濃度の高い雨水が蓄積した地下水の流入により、河川水中トリチウム濃度が雨水よりも高いが、徐々にその濃度が減少している傾向がモデル解析によって再現されている。

本解析は概略的なトリチウムの移行挙動を把握することを目的とし、これまで測定された河川水中トリチウム濃度および地下水中トリチウム濃度を用いて、モデルの構築およびパラメータの設定を行っている。本来、各流域における河川水や地下水の滞留時間は、その地形や、地下水の性状等によって大きく異なると考えられるが、測定された河川水中トリチウム濃度の経時変化から各流域の滞留時間を推定することは困難であったことから、本解析ではその差異について考慮していない。今後、さらなるデータの蓄積と解析を進めることにより、より妥当性の高いモデルの構築およびパラメータの設定が必要である。

3.1.5 おわりに

土岐地区の河川水中トリチウム濃度測定について、濃度レベルと経年変動の特徴を検討した。また、簡易なコンパートメントモデルを適用して、河川水中トリチウムの挙

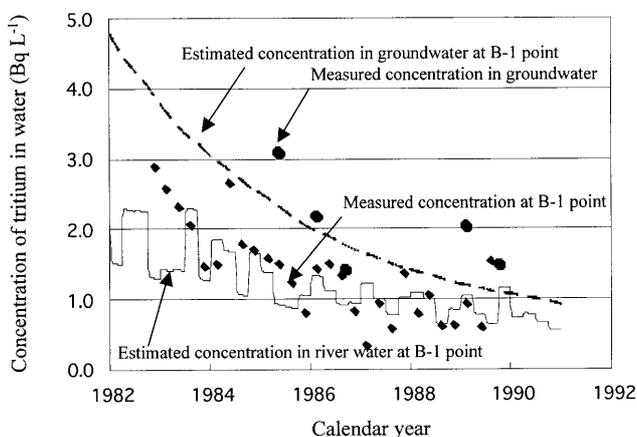


図5 河川水および地下水中トリチウム濃度の実測値と推定値の経時変化。

動解析を試みた結果、概略的なトリチウムの減少傾向を再現することができた。

施設起源トリチウムの移行挙動評価をより高精度に行うためには、特に施設近傍における河川水および地下水の移行挙動の評価を精度良く実施することが重要であり、今後、3.3章に記述するような種々のデータの測定や解析することにより、適切なモデルの構築および妥当性の高いパラメータ値の同定を進める必要がある。

本研究の一部は、核融合科学研究所研究費（04KOBS008, 07KOBS011）によって遂行された。

参考文献

- [1] H. Obayashi, H. Amano, K. Komura, Y. Sakuma, J. Kodaira, H. Sakamoto, Y. Mizuguchi, T. Hayashi and K.L. Tan, Nucl. Eng. Des./Fusion **4**, 425 (1987).
- [2] 山西弘城, 佐久間洋一, 大林治夫: Radioisotopes **52**, 235 (2003).
- [3] 文部科学省科学技術・学術政策局原子力安全課防災環境対策室: トリチウム分析法 (日本分析センター, 2002).
- [4] 放射線医学総合研究所: 環境と人体におけるトリチウム研究の諸問題 (実業広報社, 1983).
- [5] 大沼章子, 茶谷邦男: Radioisotopes **41**, 444 (1992).
- [6] H. Amano, T. Takahashi, S. Uchida, S. Matsuoka, H. Ikeda, H. Hayashi and N. Kurosawa, J. Nucl. Sci. Technol. **40**, 975 (2003).
- [7] <http://www.cbr.mlit.go.jp/tajimi/senmon/sabou0202/shonai/index.html>
- [8] N. Momoshima and Y. Takashima, Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ. Ser C, **21** (1991).