

## 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

#### 3.4 トリチウムの環境移行モデルの検証研究の1例

井上 義和

元放射線医学総合研究所

(原稿受付：2009年6月8日)

放射線医学総合研究所（放医研）で開発された移行モデルを用いて、茨城県東海村村松地区に設定された評価地点での大気水蒸気、降水、松葉の水分、松葉と松年輪の有機物、および地下水のトリチウムの施設寄与分の濃度が計算された。これらの予測値は、国際モデル比較検証研究プロジェクトに提出され、そこで開示された実測値と比較することにより検証された。環境モニタリング家の立場からモデル検証の研究例の概略を紹介する。

#### Keywords:

transfer model, validation, tritium, air moisture, rain, groundwater, pine tree, tritiated water, tissue-free-water-tritium(TFWT), organically-bound-tritium(OBT), monitoring

##### 3.4.1 はじめに

トリチウムによる公衆の線量を推定するための環境移行モデルは世界的に開発されているが、モデルの信頼性を確認するための検証または実証研究が独自に実施されることは稀である。モデルの検証は、従来、国際協力研究に参加する研究機関が放出源情報や野外実測データを基に提案する検証シナリオによってなされてきた。その近年の例は、国際原子力機関 (IAEA) が主催した BIOSphere Modelling and ASSESSment (BIOMASS, 1996年～2001年) [1] や Environmental Modelling for Radiation Safety (EMRAS, 2003年～2007年) [2, 3] である。本章では、筆者らが EMRAS の「トリチウムと放射性炭素ワーキンググループ」の中で提案された「松シナリオ」に参加して、放医研で開発されたモデルの Tritium-EESAD の検証を試みた例を紹介する。

##### 3.4.2 「松シナリオ」の概要 [4]

1980年代に東海村でトリチウムを大気中に放出していた主要な施設は、旧日本原子力研究所 (JAERI) の重水減速型研究炉の JRR2, JRR3 および廃棄物処理施設 (WTF), 旧動力炉・燃料開発事業団 (PNC) の核燃料再処理施設 (NFRP) の4施設であった。「松シナリオ」は、村松地区で1980年代中期に毎月測定された環境試料のトリチウム濃度の数年間のデータを基に作成された。試料はJAERIが測定した月間大気水蒸気 [5] と放医研が測定した月間降水、毎月1回採取された松葉 (水分のトリチウムを TFWT, 有機形のトリチウムを OBT で表す)、地下水、1987年末に採取された松年輪 (OBT) である。図1に放出施設と濃度予測地点 (観測地点でもある) との位置関係を示した。参加

者は複数の予測地点におけるこれらの試料のトリチウム濃度の月変化または年変化を予測することが要求された。

シナリオで提供された代表的な情報は、i) JAERI および PNC が気象観測塔で観測した1981年から1987年の期間の1時間毎の気象データ (風向, 風速, 降水量, 大気安定度, 気温, 放射収支量, 露点), ii) 上記4施設の各スタックからの月間放出量 (WTF のみ年間放出量), iii) スタック

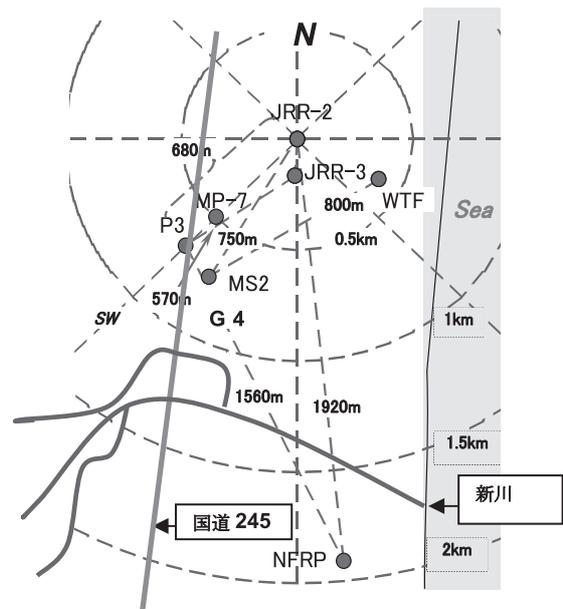


図1 東海村のトリチウム放出施設と濃度予測地点との位置関係 [4].

クの物理的高さ、吹き上げ高さを計算する方法、iii) 施設と濃度予測地点の海拔差、iv) 松の樹高と根茎深さ、表層土壌の性質（深さ毎の粒径分布、pH、有機物含有率、含水率）、v) トリチウムの降水洗浄係数の日本における報告値、vi) ボーリング調査資料に基づき作成された、G4地点付近を通る南北方向の地下約60mまでの地質断面図、vii) 土壌水や地下水の動態計算に必要な現地の文献情報として、土壌空隙率、蒸発散率、水の土壌垂直浸透速度、地下水位、地下水流動速度、流動方向、viii) 地下水の拡散式を解く際に必要なパラメータの文献値の例などであった[4]。

### 3.4.3 放医研のモデル[4]

放医研で開発されたモデルは、放出時の化学形（HT や HTO）に対応し、大気拡散、地表への乾性および湿性沈着、蒸発散、地中浸透、大気水蒸気および土壌水から植物への取り込みの各過程を計算するコード Tritium-EESAD [6]である。地下水の濃度は、Tritium-EESAD で計算された降水の濃度を別に開発されたコンパートメントモデルに入力することにより計算された。それぞれの過程を表現する数式とパラメータは文献[4]に記載されている。大気拡散計算コード（EESAD）は、ランダムウォーク法を用いているが、ガウスプルームモデルと同じように扱われた。風下距離と大気安定度に依存する大気拡散定数については、Pasquill-Meade 式によった。大気中のトリチウムの移動は、風速と大気の流れによる分子の拡散との和によって表現され、時間ごとの放出率と気象データとパラメータを入力して計算された。放出施設のうち、NFRP のトリチウム放出量は比較的多いものの、大気拡散による希釈率が大きく評価地点に及ぼす影響が小さいと推定されたので計算から除外された。大気濃度を計算する際の評価地点の単位面積は、100 m × 100 m とした。

### 3.4.4 予測と観測との比較

放医研がモデル計算し提出した予測結果とその後 EMRAS 会議で開示された観測値と比較した結果を図2から図6に示した[7]。トリチウム濃度は、大気水分や有機物（燃焼水を測定）を含むすべての試料について BqL<sup>-1</sup> 水で示される。すべての試料の予測濃度の時間変化は、主として放出量の時間変化を反映し、実測値の時間変化とほぼ2倍以内で良く一致する結果となった。以下、試料ごとに述べる。i) 最初に計算する大気水分の予測濃度の時間変化（図2）は、他の試料の濃度予測に大きな影響を及ぼすので大変重要であるが、予測地点（P3）が観測地点（JAERIのMP7）と少し離れているにもかかわらず良い一致を示した。これはシナリオ作成のため事前に比較した月間降水濃度のP3（NIRS測定）とMP7（JAERI測定）の1984年～1987年の4年間の年平均値が互いに良く一致していたことと整合する。ii) 図3のP3での降水濃度の時間変化の予測も実測ときわめて良く一致した。採用した洗浄係数値が妥当であったためと判断される。iii) 図4の松葉水分（TFWT）濃度の時間変化予測は、1984年の後半の月以外

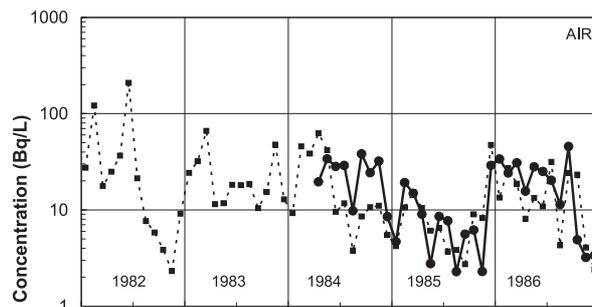


図2 地点P3での大気水分のトリチウム濃度の月変化の予測（---■---）と観測（—●—）の比較[7]。

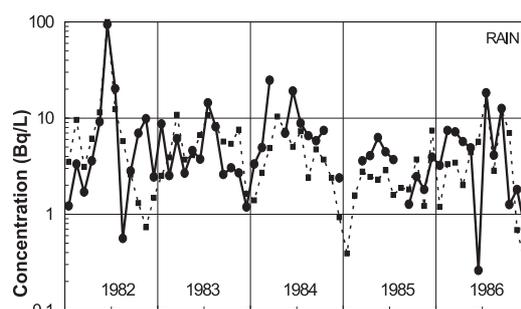


図3 地点P3での降水（雨）のトリチウム濃度の月変化の予測（---■---）と観測（—●—）の比較[7]。

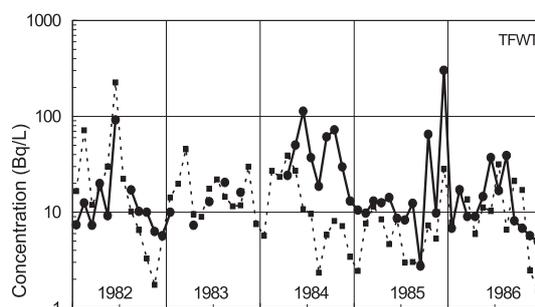


図4 地点P3での松葉の水分のトリチウム（TFWT）濃度の月変化の予測（---■---）と観測（—●—）の比較[7]。

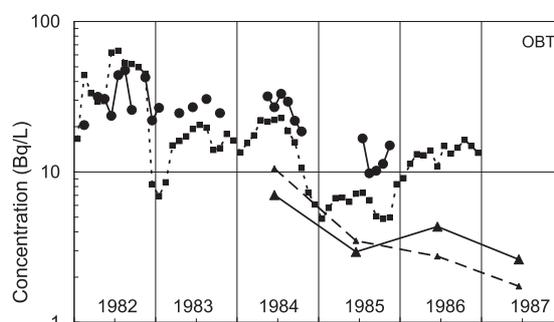


図5 地点P3での松葉の有機形トリチウム（OBT）濃度の月変化の予測（---■---）と観測（—●—）の比較、および地点MS2での松年輪の有機形トリチウム（OBT）濃度の年変化の予測（---▲---）と観測（—▲—）の比較[7]。

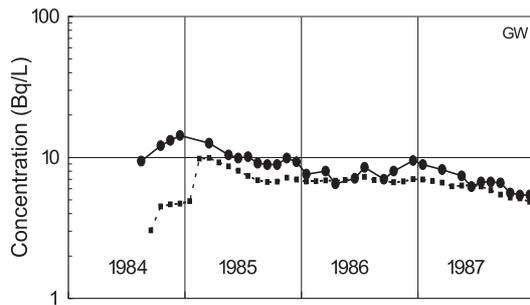


図6 地点G4での地下水のトリチウム濃度の月変化の予測(---■---)と観測(—●—)の比較[7].

は、実測と良く一致した。松葉の水分(TFWT)は速く代謝されることを考えると予測が月平均濃度に対し実測が試料採取日の濃度であったと言う両者間の時間の不整合が不一致の原因と思われる。なお、放医研のモデルでは、TFWT濃度は大気水蒸気濃度から57%、土壌水分濃度から43%の寄与を受ける。iv) 図5の地点P3での松葉OBTおよび地点MS2での松年輪OBTの時間変化予測は、ともに実測と良く一致した。v) 図6の地下水濃度の時間変化予測は、1つの地下水層を仮定する単純なモデルにもかかわらず実測と良く一致した。これはこの地域で長年実施した水文学研究の成果[8]が貢献している。

### 3.4.5 終わりに

モデル開発と検証研究で良い成果を得るために留意すべき事項を列挙する。

i) モデル構築には対象地域でのトリチウムの環境挙動に関する広い知識が必要であるので、モデラーとモニタリング家との共同研究が望ましい。ii) 地域特有の気象(例え

ば、fumigation: 海風時での汚染大気の拡散抑制)、地形、地質、水文、植生などに配慮することが望ましい。iii) 主要パラメータの取捨選択とも関係するが、複雑なモデルが簡単なモデルより予測の正確さが常に勝るとは限らない。iv) 検証データを提供するモニタリングは、予測計算の前提である連続した時間の平均値が求まるよう計画することが望ましい。v) 施設寄与のみの実測濃度を算出するためには、各試料のその地方の一般環境のトリチウム濃度(BG)を長期間、正確に測定しておく必要がある。vi) モデリングにもモニタリングにも多くの不確実性が介在するので、予測と観測がファクタ3(3倍)以内で一致すれば、そのモデルはほぼ信頼できると言えるだろう。

### 参考文献

- [1] IAEA BIOMASS, [http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Biomass3\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Biomass3_web.pdf)
- [2] IAEA EMRAS, <http://www-ns.iaea.org/projects/emras/default.htm>
- [3] 宮本霧子: 保健物理 43,50 (2008).
- [4] IAEA EMRAS Tritium & C14 Working Group, "Pine Tree Report", (2007). <http://www-ns.iaea.org/downloads/rw/projects/emras/pine-tree-report-final.pdf>
- [5] K. Matsuura, Y. Sasa, C. Nakamura *et al.*, J. Radioanal. Nucl. Chem. **197**, 295 (1995).
- [6] K. Yamamoto, T. Sakashita and K. Miyamoto, Fusion Sci. Technol. **48**, 500 (2005).
- [7] K. Miyamoto, K. Yamamoto and Y. Inoue, Fusion Sci. Technol. **54**, 261 (2008).
- [8] K. Miyamoto, Y. Inoue, T. Iwakura *et al.*, Fusion Sci. Technol. **41**, 483 (2002).