

# DEM による表層流予測と放射性物質移動に関する考察

## A Study on Surface Flow and Radioactive Matters Migration

沢野伸浩

### 要旨：

2011年3月11日に発生した東日本大震災と引き続き発生した津波より福島第一原子力発電所が被災し、炉心溶融を含む深刻な事故が発生した。この事故により放出された放射性物質は風とともに拡散し、関東圏を含む東日本一帯の地域が放射性物質により汚染される結果となった。今回の原子力発電所の事故により、地上の汚染として最も懸念されるのは半減期が30.1年のCs-137であり、この物質が地上に降り注いだ場合、地表から5cm程度の表層に留まることが知られている。地表面の土壌は、降雨によって形成される地表流によって下流側へと移動する。そこで、その流れを高密度デジタル標高モデルと累積水量により予測し、今回の事故による将来的な放射能汚染分布の予測と対策について考察した。

キーワード：東日本大震災、放射能汚染、デジタル標高モデル、累積水量

Great East Japan Earthquake, Digital Elevation Model,

Radioactive Pollution, Flow Accumulation

### 1. チェルノブイリ事故と福島第一原発事故の概要

1886年4月26日にウクライナ共和国プリピャチのチェルノブイリ原子力発電所4号炉が非常用電源系の実験運転中に制御不能状態に陥り、爆発事故を起こし放射性物質が飛散する同時に深刻な土壌汚染を引き起こした。2011年現在、原発から半径30km以内の地域で居住が禁止され、原発から北へ約350kmの範囲内には「ホットスポット」と呼ばれる高濃度汚染地帯が100カ所以上点在し、その範囲内や周辺地域では全面的な経済活動が禁止ないし制限された状態となっている。放出された放射能の総量は $5.2 \times 10^{16}$ Bq (520万テラBq) とされている<sup>1)</sup>。

一方、福島第1原発の1号炉などは東日本大震災に引き続き発生した巨大な津波により補助電源装置などが利用できず、原子炉の冷却が不可能な状態となり「空だき」となった。さらに原子炉建屋の水素爆発が発生し、原子力安全保安院は2011年6月、大気中へ総放出量を $0.85 \times 10^{16}$ Bq (85万テラBq) とそれまで公表されていた値を上方修正した<sup>2)</sup>。

## 2. 放射能計測データと汚染分布

チェルノブイリ、福島 of いずれの原子力発電所の事故も炉心溶融を伴う過酷なもので、結果的にはほぼ不可逆と言える深刻な放射線による土壤汚染を引き起こす結果となった。

事故後の放射能測定は様々な国・自治体、大学等によって行われているが、測定点を特定し得る位置情報を伴ったいわゆる一次データ (raw data) は、福島県測定のものなどを除くとほとんど公表されていない。そのような中、米国政府は独自に福島第一原発事故後、日本国内の各地で大気や土壤の放射能測定を行い測定点の位置を含む詳細なデータを2011年10月21日より国家核安全保障局 (NNSA: National Nuclear Security Administration) のウェブサイトから公開した。データは福島県を中心に関東一帯の航空機や地上計測による空間線量、サンプリングによる土壤汚染の調査が2011年3月下旬から5月上旬にかけて実施されている<sup>3)</sup>。

図1に計測が行われた飛行経路と原発の位置を示す。航空機 (C13) は、ほぼ500m 間隔 (一部200m 間隔) で飛行し、計測が行われたことがわかる。計測の精度等、詳細は不明だが放射能の最大値は、11,766,000Bq/m<sup>2</sup> (Cs-134)、12,617,000Bq/m<sup>2</sup> (Cs-137) と極めて高い値が東経140.339445° 北緯37.317671 (福島県須賀川市上空) で4月26日8時30分に記録されている。

図2は記録されたCs-134の値を逆距離加重補間 (IDW: Inverse Distance Weighting) を行い、自然分類により20段階に色分けしたものである。この図は、文部科学省が2011年10月18日に公開した「放射線量等分布マップ」<sup>4)</sup>と酷似するが、このマップや解説に最大値等の値が示されていないため、詳細な比較をすることができない。しかし、解説によれば計測は「4月6日以降に実施され」とあり、また、マップの凡例に示された最大値の範囲は、3,000,000Bq/m<sup>2</sup>と読み取ることができるため、その差は3倍程度であり、NNSAにより計測された値と大きな差はないものと考えられる。

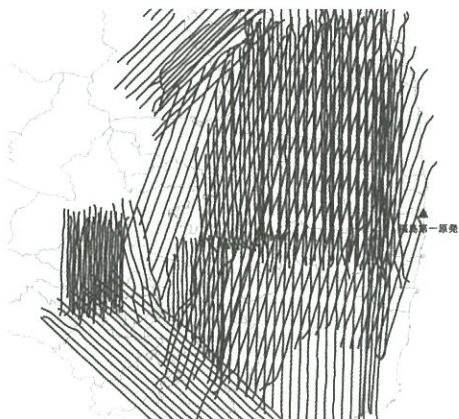


図1 飛行経路

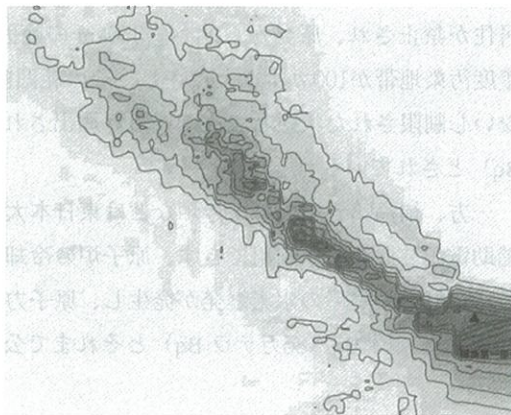


図2 IDW 補間による放射能分布

次に土壤汚染について NNSA は、福島県の福島第一原発から約50km の範囲内で土壤サンプリングを行っている。分析項目は、Ba-140、Ce-144、Cs-134、Cs-136、Cs-137、I-131、I-132、Mo-99、Sr-89、Sr-90、Sr-Total、Te-129m、Te-132の合計13項目に及ぶ。公開されているデータの単位は、 $\mu\text{Ci/g}$  であるため、他の日本で一般的に公開されているデータとの比較を考慮し、 $\text{Bq/kg}$  および  $\text{Bq/m}^2$  に変換し、Cs-134およびCs-137についての換算結果を表1に示した。なお、 $\text{Bq/kg}$  から  $\text{Bq/m}^2$  への変換は、日本保健物理学会に示された方法により<sup>5)</sup>、土壤の密度を  $1.3\text{g/m}^3$ 、NNSA のデータに示された“Depth”の単位を  $\text{cm}$  と仮定し、2 cm の深さで採取したものとして換算を行った。

この表に示したとおり、計測された最大値は、Cs-134とCs-137の合計で  $1,740,896\text{Bq/m}^2$  と極めて高い値が4月17日に東経  $140.758208^\circ$  北緯  $37.585847^\circ$ （福島県相馬郡飯館村飯樋川）で採取された土壤サンプルから計測されており、この値はチェルノブイリ原発事故の際、強制移住の対象となった  $555,000\text{Bq/m}^2$  をこの2つの核種だけで大幅に超えていることがわかる。

表1 NNSAによる土壤放射能測定地点および結果

No.	Latitude	Longitude	Cs-137( $\text{Bq/m}^2$ )	Cs-134( $\text{Bq/m}^2$ )	137+134
1	37.662836	140.792067	1,962	1,953	3,915
2	37.28636	140.241271	9,283	9,437	18,721
3	37.648951	140.336887	16,546	16,835	33,381
4	37.574271	140.402088	23,184	23,184	46,368
5	37.288639	140.222573	26,166	26,166	52,333
6	37.28524	140.241362	49,543	50,409	99,952
7	37.283033	140.251686	76,287	77,056	153,343
8	37.585847	140.758208	82,636	83,021	165,656
9	37.243893	140.281769	84,752	86,869	171,621
10	37.497711	140.325378	151,580	154,710	306,290
11	37.345527	140.310126	153,356	155,477	308,833
12	37.418513	140.302478	279,748	286,091	565,839
13	37.38648	140.261076	446,362	458,431	904,794
14	37.672485	140.339475	449,716	458,878	908,594
15	37.237714	140.241824	557,313	567,238	1,124,551
16	37.663411	140.713638	855,730	885,166	1,740,896

### 3. 表層流と放射性物質の移動

チェルノブイリ原発事故により飛散し、地表に降下した放射性物質の地表面での移動については、様々な研究が行われている。まず、人為的な攪乱がなければCsなどは地下にはほとんど浸透せずに、表層から2～5cmの深さまで留まること、さらに降雨によって発生する地表流とともに徐々に地形的な窪み（depression）に溜まり、結果として高濃度に汚染されたいわゆる「ホットスポット」を形成することや、最終的に河川、海へと流入

すること等である。

Bixio らの研究は、ウクライナ共和国内で事故後、強制移住の対象なった区域内で事故後10年以上を経過した1990年代後半～2000年にかけて実施されたもので、点状に存在するホットスポットと50m メッシュによるデジタル標高モデル (DEM: Digital Elevation Model) から計算で得られる depression の位置が高い確率で一致することを報告した<sup>6)</sup>。

現在、日本においては、国土地理院が日本全域について10m メッシュによる DEM を「基盤地図情報」として公開しており、Bixio らと比較してさらに精密なモデルの作成が可能となっている。図3は、福島第一原発から約10km の範囲で、累積水量が100セル以上の領域を図2に示した航空機から計測された放射能の分布図と重ねたものである。図中、赤～黄は、計測された放射能の強弱を示している。

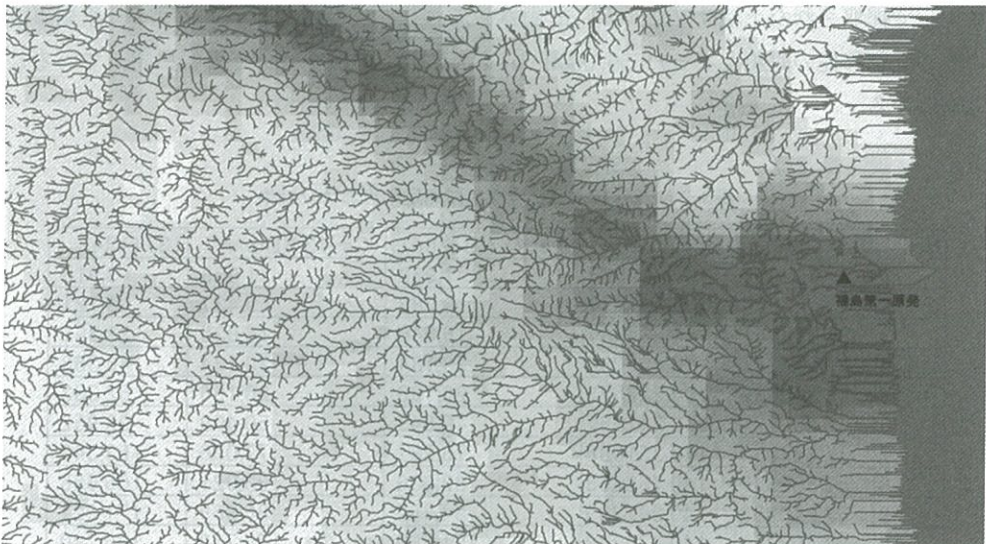


図3 放射能分布と累積水量

図3に示したとおり、放射性物質により高濃度に汚染された地域のほとんどで大まかに西から東に向かう地表流があることがわかる。また、原発からある程度距離が離れているにもかかわらず、高濃度な汚染が見られる福島県飯館村などでは、今後汚染が全体的に北東～東北東方向へ移動するものと予測することができる。

#### 4. まとめと考察

今回の原発事故により、極めて広範囲の地域が放射性物質により汚染され、降下した Cs-137 の約30年の半減期を考慮すれば、今後、数十年といった時間のスパンで除染活動を行わねばならない。短期的には、高濃度に汚染されたエリアを見つけて、その場の除染を優先させる必要があるが、長期的にはチェルノブイリがそうであったように、降雨の影響

により徐々に汚染現場から見て「下流側」に放射性物質が移動することは間違いない。特に大量の降雨を見た場合、強い表層流とともに一気に下流側へと移動することも十分に考えられる。従って、効率的な除染を行う上で、地形と地表流を十分に考慮した対策の立案が急務といえよう。

また、政府や関係機関は汚染の実態の公表を「地図化」など、データを加工してから行うのではなく、できる限り NNSA のように「生データ」として公表するべきである。こうすることで、様々な分野の問題解決に対する知見を得やすくなることは言うまでもない。

米国政府機関が公表しているデータを事故の当事国である日本の関係機関がほとんど公表していない実態は、あまりに奇妙であるとしか表現しようがない。

#### 脚注：

- 1) 東洋経済新報社等の報道による  
<http://www.toyokeizai.net/business/society/detail/AC/4a546378912796c19640c6d3dfef63ac/>
- 2) 原子力保安院および経済産業省発表資料  
<http://www.meti.go.jp/press/2011/10/20111020001/20111020001.pdf>
- 3) 米国核安全保障局ホームページ  
<http://explore.data.gov/Geography-and-Environment/US-DOE-NNSA-Response-to-2011-Fukushima-Incident-Fi/kxp6-xc7d>
- 4) 文部科学省「放射線量等分布マップ」  
<http://ramap.jaea.go.jp/map/>
- 5) 日本保健物理学会ホームページ「専門家が答える暮らしの放射線 Q&A」  
<http://radi-info.com/q-759/>
- 6) Bixio, A. et al.: Modeling groundwater-surface water interactions including effects of Morphogenetic depressions in the Chernobyl exclusion zone. *Environmental Geology*, 42: 162-177, 2002.

(ホームページについては、いずれも2011年12月11日確認)