

川内原発事故時の市内への放射線予測 ①前提

青山貞一（環境総研）、鷹取敦（環境総研）、池田こみち（環境総研）

2014年の春段階において日本全国各地で運転休止中の原子力発電所（以下原発と略）の中で運転の再稼働が具体的に課題となっているのは、九州電力川内原発（鹿児島県薩摩川内市）である。実際には桜島爆発による影響評価が電力会社、原子力規制委員会などで行われていないことから再稼働は2014年9月以降とされている。同川内原発は約10万人規模の都市、薩摩川内市の西端に位置しているため、理由を問わず福島第一原発事故並みの過酷な事故が生じた場合、原発直近（PAZ）のみならずUPZ（おおむね原発から30km）に居住する多くの住民への放射性物の移流、拡散の影響が懸念される。本論では環境総合研究所（東京都目黒区）が研究開発し活用してきた大気汚染などを対象とした有限差分法を用いた数値計算モデル（3次元流体シミュレーションモデル）と国土地理院のデジタル標高データ、鹿児島管区気象台などの気象データをもとに、事故時の原発周辺地域の自治体への影響の予測と評価を行うことを目的としている。

1. シミュレーションの前提

1-1 予測モデル

放射性物質の拡散現象を再現する大気拡散シミュレーションモデルには、大別して①定常モデルと非定常モデル、また②正規モデルと非正規モデルがあるが、地形を詳細に考慮可能であること、予測結果を1時間単位の平均値として表現可能な定常・非正規モデルを用いることとした。さらに大気拡散現象をシミュレーションするためのモデルには、①解析解モデル（正規プルームモデル・パフモデル）、②数値計算モデル（有限差分法などを使った3次元流体モデル）、③統計モデル、④模型実験（風洞実験）、⑤ランダムウォークモデルなどがある。本研究では地形を考慮可能なこと、費用対効果などを考慮しコンピュータ、それもパソコンで稼働する数値計算モデルを用いることとした。なお、コンピュータ・シミュレーションモデルは、当初、森口祐一ら国立環境研究所メンバーにより研究開発された。コンピュ

ータ・モデルの使用言語はFortranであり、国立環境研究所のスーパーコンピュータ用として開発されたモデルを環境総合研究所（東京都目黒区）がパソコン用に改良し、かつ計算結果を3次元コンピュータグラフィックスに連動させるシステムを構築し用いている。同コンピュータ・モデルの精度検証には国立環境研究所の風洞実験が使われている。図1は国立環境研究所の風洞実験設備である。

1-2 予測の方法

数値計算モデルを用いて原発事故時の放射性物質の移流、拡散現象をシミュレーションするためには、図2に示すフロー図にあるように、はじめに地形を考慮した風の流れをシミュレーションし、そのデータをもとに汚染物質の流れをシミュレーションする。その場合、調査対象の範囲の設定、すなわち拡散の場、境界条件の設定のための検討が重要なものとなる。

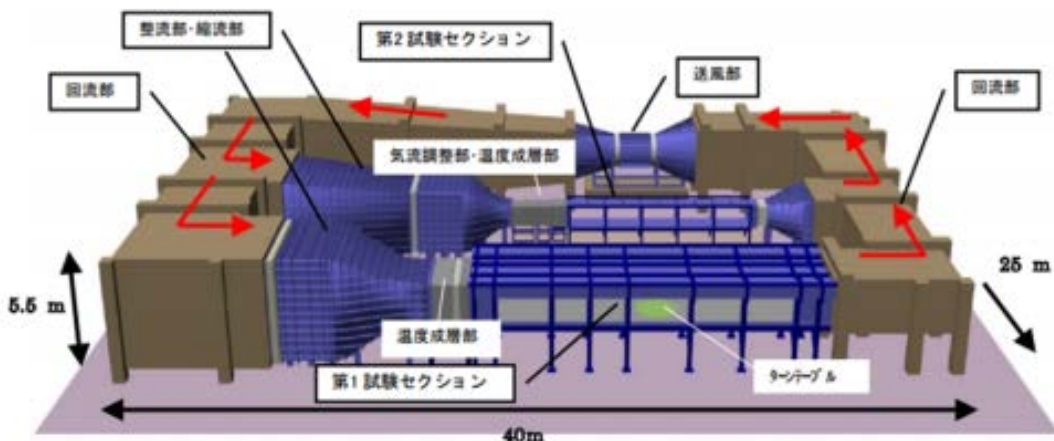


図1 コンピュータ・シミュレーションモデルの精度検証に用いた風洞実験設備

それをもとに条件の仮設定を行い、課題があれば再設定することになる。境界条件を設定する際には、直接的な調査対象範囲の周りに相当規模の予備的な空間を確保する。実際の数値計算は、それら予備的な空間を含めて行う。この予備的空間の設定が不十

分な場合、計算が発散するなど、収束せず正しい計算結果が得られなくなることが多い。その意味でいかに調査対象の範囲の設定を適切に行うかが差分法を用いた3次元流体シミュレーションの鍵となると言っても過言ではない。

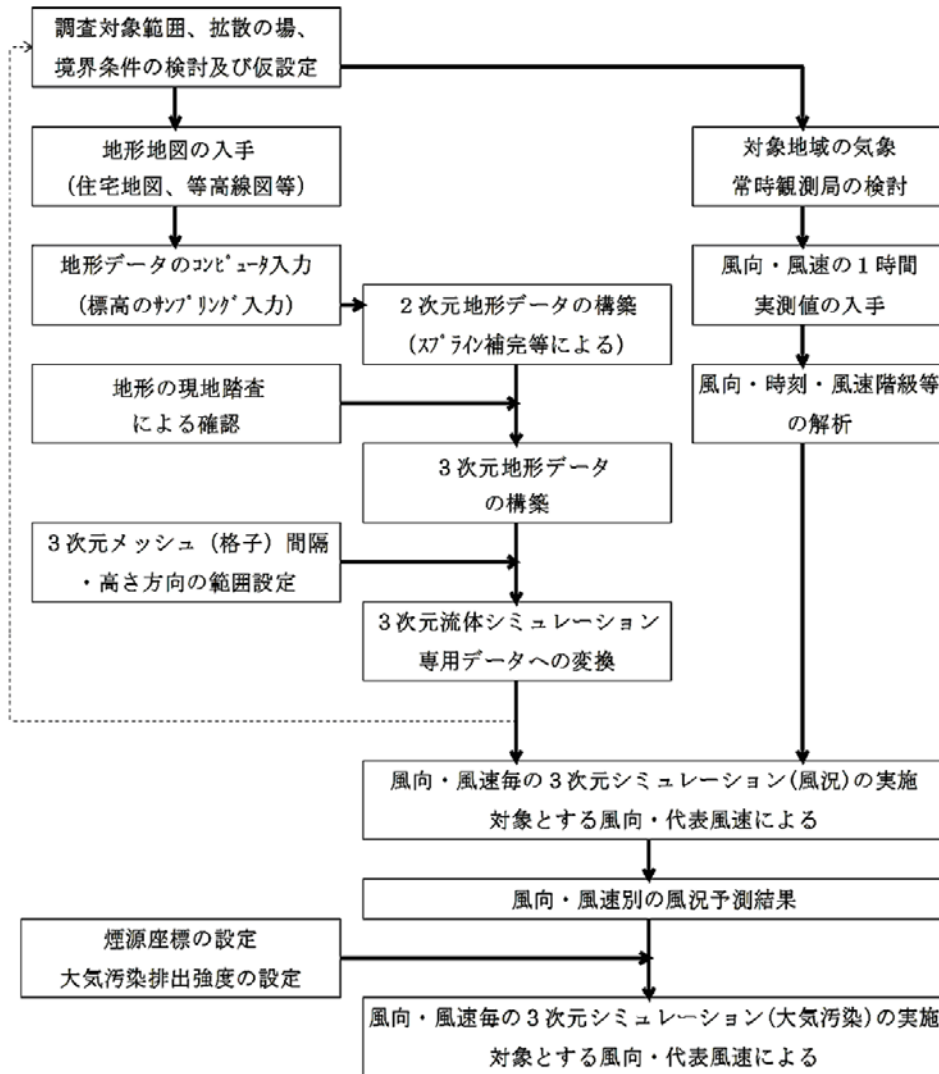


図2 地形を考慮した3次元流体シミュレーションの流れ

なお、図3と図4に数値計算のイメージを示す。

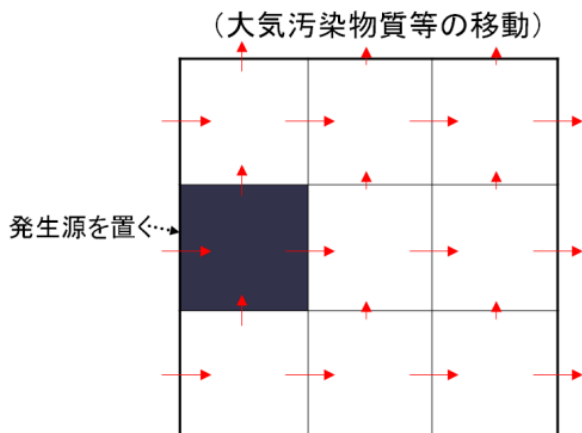


図3 数値計算のイメージ

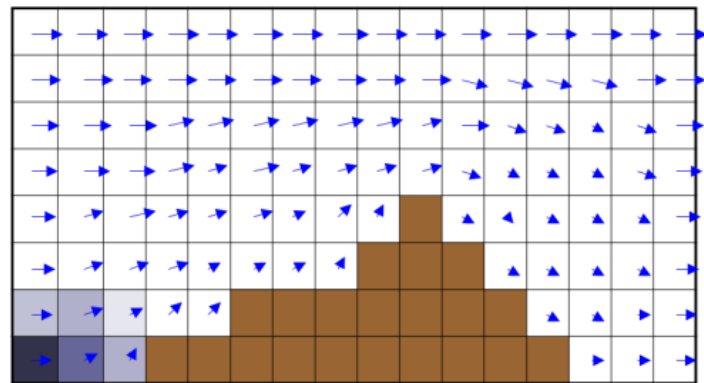


図4 数値計算のイメージ

1-3 シミュレーションの要素・要件

数値計算では、以下が重要な要素となる。

(1) 発生源の強度

爆発の規模、放射性物質の排出量
拡散開始点の高さ（有効煙突高）

(2) 気象条件

風向・風速
大気安定度（大気の乱れ）
降雨(Fall out)、積雪・降雪

(3) 地形条件

山・丘・谷・窪地、建築物・構造物など

(4) 測定条件

測定する高さ(通常、グランドレベル、GL)
地表面粗度

(1) 発生源の強度

まず(1)の発生源の強度だが、シミュレーションでは、通常単位時間当たりの排ガス量と排ガス濃度から排出強度を計算する。原発の場合、排出強度はベクレル（放射線を放出する強度を表す放射能の単位）、予測する対象は空間放射線量率であり、時間当たりのシーベルトである。しかし、原発事故では当然のことながら、あらかじめ発生強度や排出量が分かっていない。そこで地形を考慮した3次元流体シミュレーションモデルを用い、2011年3月15日、福島第一原発事故時の原発から風下に位置するモニタリングポストにおける空間放射線量率をもとに逆シミュレーション法を用いて1時間平均の発生源強度を求めた。ただし、実際には理想的な気象条件と地表での放射線量の測定が存在したわけでは無いので、さまざまな条件下で試行錯誤を試みた。図5は逆シミュレーションデータの例である。

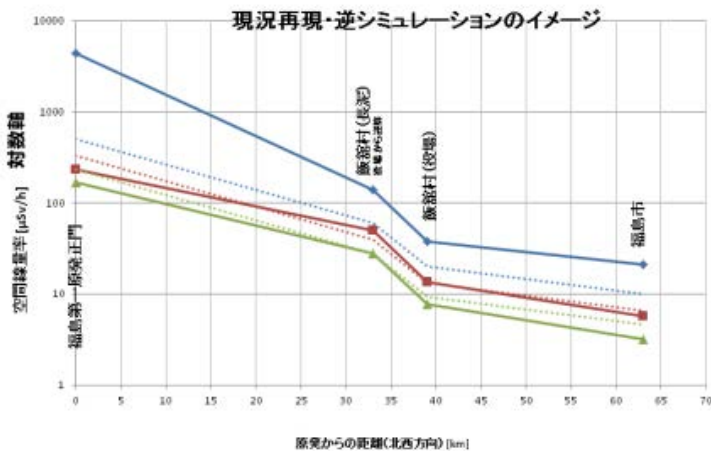


図5 逆シミュレーションデータの例

なお、逆シミュレーション法は、神奈川県厚木基地に隣接する場所にあった神奈川環境保全という産業廃棄物業者の焼却炉から出るダイオキシン類を含

む排ガスの濃度を求めるため、煙突から離れた5地点で3ヶ月にわたりダイオキシン類の大気環境濃度を測定し、それらのデータをもとに発生源の汚染濃度を推定し、別途求めた排ガス量とあわせ発生源強度を推定した。これについては、環境アセスメント学会誌及び環境行政改革フォーラム論文に概要を掲載している。

(2) 気象条件

風向、風速、大気安定度（大気の乱れ）とともに降雨(Fall out)、積雪・降雪などの気象データは放射性物質の大気拡散にとってきわめて重要な要素である。シミュレーションの初期段階で風向、風速を与える場合はもとより、放射性物質の移流・拡散は風向、風速、大気安定度は地形の影響を強く受ける。さらに原子力防災においては汚染物質の初期到達時間との関連においても重要なものとなる。図6は2000-2009年平均の月別の鹿児島管区気象台の風向データである。

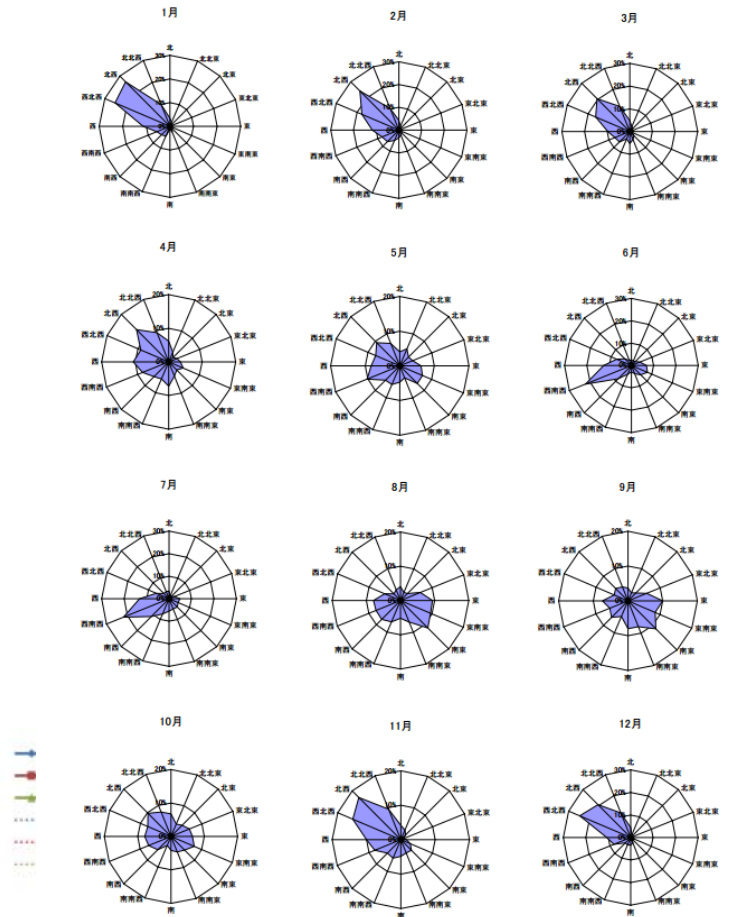


図6 月別の鹿児島管区気象台の風向データ

さらに図7は、2000年1月から2006年12月における鹿児島空港における年間を通じての風配図（年間風配図）である。風配図から鹿児島県南部では圧倒的に北北西の風が卓越していることが分かる。

気象データにおける風向は、通常、北から北北西まで16の方位にモデル化している。シミュレーションにおける風向もこれに沿って用いている。

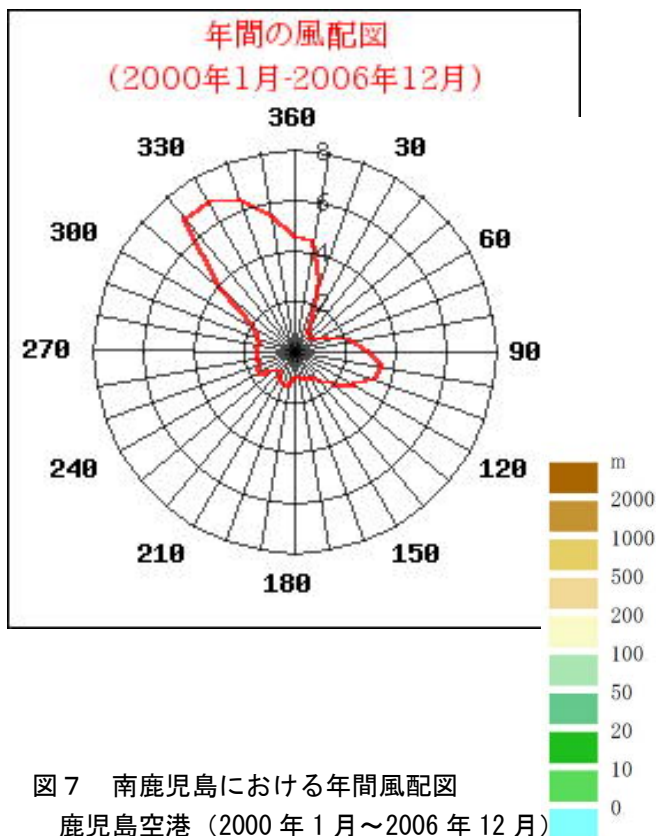


図7 南鹿児島における年間風配図
鹿児島空港 (2000年1月～2006年12月)

(3) 地形条件

本研究は鹿児島県南部など広域を対象としているが、地形条件としては山・丘・谷・窪地、等を考慮する必要がある。データとしては国土地理院が製作し公表している50m×50mメッシュのデジタル標高データを集約して用いた。

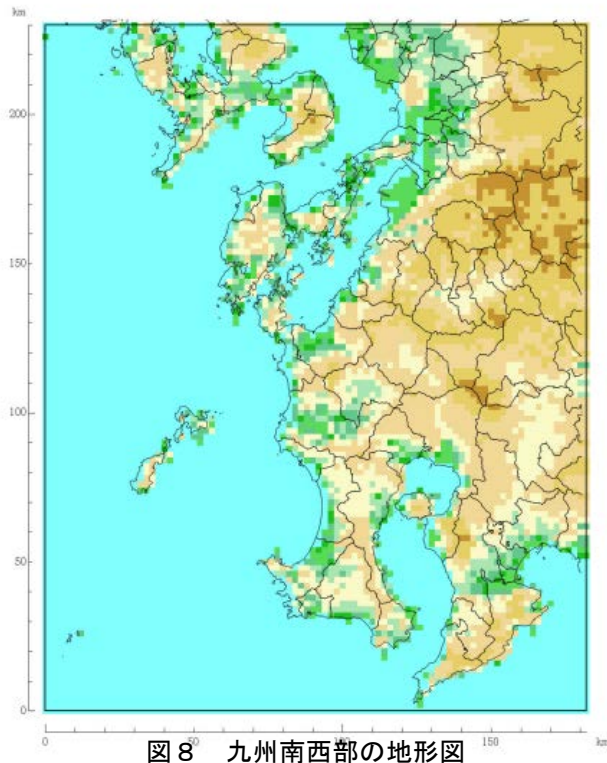


図8 九州南西部の地形図

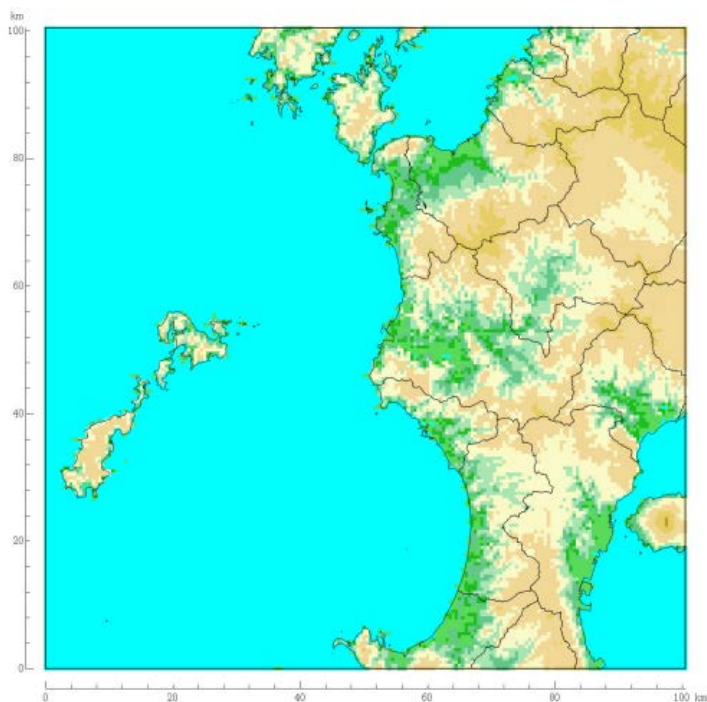


図9 鹿児島県南西部の地形図



図10 鹿児島県南西部の3次元地形図
ただし本図は高さ方向を3倍拡大している

(4)測定条件

シミュレーションの数値計算は、上から見るとXY軸、碁盤の目のようなメッシュ図となるが、3次元流体計算ではさらに鉛直方向が加わり図11のようになる。繰り返し行われる差分計算の結果は、図中のグリッドの交点○の中にしまわれる。

空間放射線量の測定は通常地上1.5mで行われているが、数値計算シミュレーション結果は、地表面に最も近い図13の交点にしまわれる。

シミュレーション結果は、通常、地表面に最も近いグリッドの値としているので、地形が平坦の場合は、予測結果は地表面の一時間当たりの空間放射線量率ということになる。実際のシミュレーションでは、平面方向、すなわちX軸、Y軸それぞれ1メッシュを500mから2km、さらにZ軸方向(鉛直方向)に高さにより異なるが計算結果を入れるグリッドを設定して行くことになる。したがって、250メッシュ×250メッシュ×50メッシュを設定するような場合には、グリッドの数は、300万個以上になる。

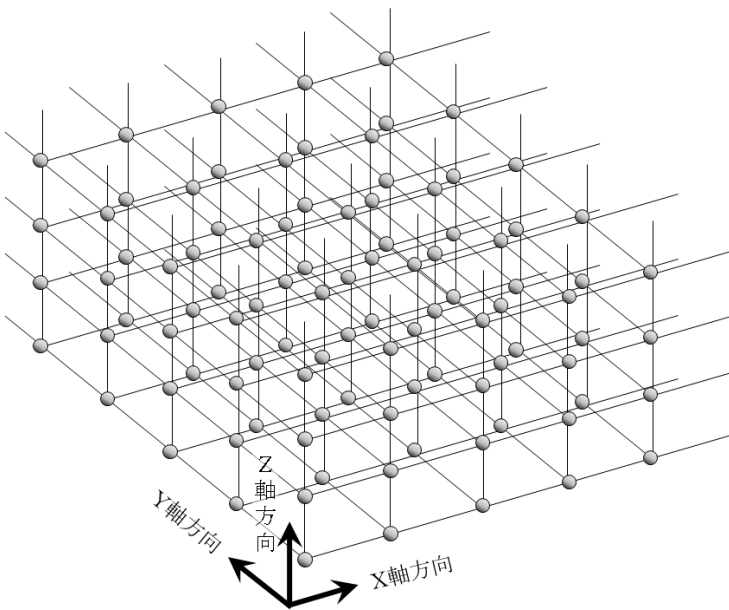


図11 3次元流体計算における計算結果を格納するグリッドイメージ図

なお、実際には原発から拡散した放射性物質は雨や重力により地表面に沈降する。その際、地表面がアスファルトやコンクリートのような場合と土壌、底質、森林などの場合により、その後、その場所の放射能や発せられる放射線量は異なるが、シミュレーションでは底までは考慮していない。

1-4 モデルによる結果の違い

ここで鹿児島県の川内原発事故時シミュレーションに移る前に、シミュレーションモデルの違いによる結果の違いを具体的な事例で示してみたい。

図12と図13はともに福島第一原発事故規模、北風、2m/sを想定した北海道泊原発事故時のシミュレーション結果である。図12は地形を考慮できない正規プルームモデル、図13は地形を考慮した3次元流体(数値計算)モデルの結果である。

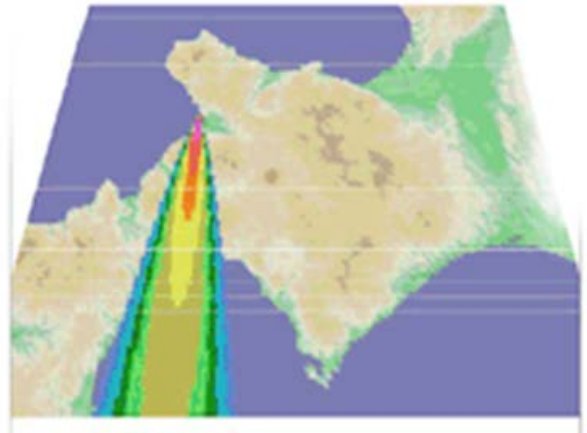


図12 正規プルームモデルによる結果

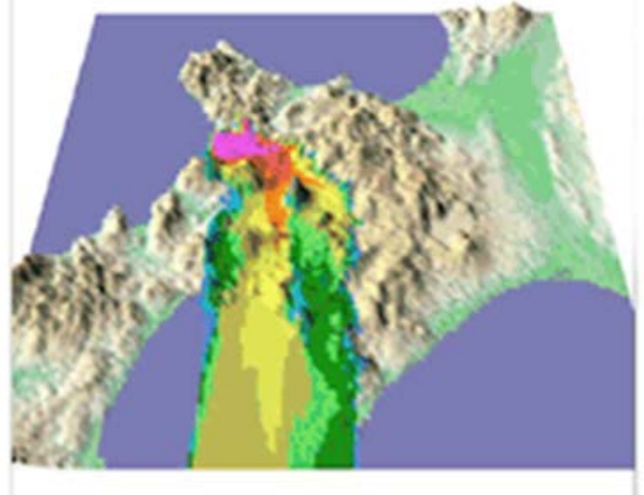


図13 3次元数値計算モデルによる結果

同じ前提条件でありながら結果がまったく異なったものとなっていることが図14図15より分かる。
つづく

◆引用参考文献

- 1) 青山貞一・鷹取敦・池田こみち：福島原発事故に起因する放射性物質による地域汚染の実態解明と汚染構造の把握、環境アセスメント学会誌、2011年,Vol.9 No.2
- 2) 青山貞一、梶山正三、鷹取敦、[環境大気濃度から排ガス濃度を推定する手法の研究～厚木米海軍基地に隣接する産廃焼却炉を事例として～](#)、環境行政改革フォーラム2001年度研究発表会予稿集、2001年12月
- 3) 青山貞一、鷹取敦、地形・構造物・建築物を考慮した大気拡散シミュレーション～川内原発事故を事例として、講演パワーポイント、2014年4月