

## SVM による放射性物質拡散予測ツールの開発

## Development of the tool for prediction of radioactive materials transport using Support Vector Machine

吉兼 隆生<sup>\*1</sup>  
Takao Yoshikane芳村 圭<sup>\*1</sup>  
Kei Yoshimura<sup>\*1</sup> 東京大学生産技術研究所  
Institute of Industrial Science, The University of Tokyo

It has been reported that the released radioactive materials have caused the serious damages and confusions from Fukushima Daiichi nuclear power plant in March 2011. Some confusion was caused by the undisclosed information about the spread of radioactive materials. In this study, we have developed and verified the tool for prediction of radioactive materials transport using a Support Vector Machine. The largest advantage of this tool is to be able to use simply and well handled on a small budget. Furthermore, rise in risk management awareness is expected by using the tool for risk communication.

## 1. はじめに

## 1.1 福島第一原発事故による放射性物質の拡散

2011年3月の福島第一原発事故により大気中に放出された放射性物質が広範囲に拡散し、深刻な人的および経済的被害が多数報告されている。原発事故の際には「環境モニタリング指針」に従い SPEEDI による放射性物質の拡散予測を行い、避難等に活用することになっていた。しかし、緊急時対策支援システム(ERSS)が正常に作動しなかったため放出源情報が得られず、量的予測の実施が不可能となった。そのため、一定量の放出を仮定した予測に切り替えて実施され、結果が複数の関係機関に配布された[1]。しかし、この結果の扱いには各関係機関が困惑しており、積極的に開示されることはなかった[2]。

一定量の放出を仮定した場合は、量的な予測ではなく、風系の影響を強く受けた放射性物質の拡散状況を定性的に予測することになる。どのくらいの量の放射性物質が輸送されるのかは分からないが、いつ頃、どのあたりに輸送されるのかを大まかに予測することは可能である。放射性物質は風によって運ばれ、風系は気象現象に対応して形成されるためである。例えば西高東低の気圧配置が強まり 2~3 日継続することが天気予報などで分かっているならば、放射性物質が南東方向に輸送されやすくなる。逆に、短時間で大きく変化する気象現象(メソスケール低気圧等)が卓越する場合は、予報が難しくなる。予測される気象現象に応じて、放射性物質予測の信頼性も大きく変わる。

原発事故時に地方自治体が最も知りたいことは、「いつ、どこに向かって放射性物質が拡散しているのか」であり[3]、必ずしも高度かつ詳細な情報を求められている訳ではない。また、拡散モデルの予測には不確実性があり、ピンポイントでの正確な予測は不可能である。本研究では、情報の受け手側のニーズに応え、避難に役に立つ予測ツールの開発に挑戦した。

## 1.2 Support Vector Machine の利用

気象分野では「教師なし学習」である主成分分析やクラスター分析等を用いた調査研究が一般的に行われている。放射性物質の拡散には、様々な気象現象(地上風系)や地形が大きく影響しているため、パターンを分類し予測を行うことは容易ではなかった。しかし、Support Vector Machine (SVM)は、複雑な現

象も精度よく分類ができるため[4]、気象理論に基づいて適切な学習データを準備することにより、高精度での予測が可能になると期待される。第2章以降では、SVM による拡散予測と、検証結果について紹介する。

## 2. 方法

まず、放射性物質の移動方向は地上風系に強く影響されるといふ仮説を立てて、SVM を用いた検証を行った。SVM は統計解析ソフト R のパッケージソフトウェアである kernlab を利用した[5]。今回使用した SVM の詳細について、表1に示す。

SVM software	kernlab – An S4 Package for Kernel Methods in R
SVM-Type	Bound-constraint svm classification
Kernel function	Radial Basis kernel "Gaussian"

表1 使用した SVM の概要

放射性物質の拡散特性から、放出源の風下側では放射性物質が拡散しやすく、風上側では拡散しにくいと仮定し、以下の条件を適用した。放射性物質の拡散方向を、放出源を中心に北東(NE)、北西(NW)、南西(SW)、南東(SE)の4方向に分割し、仮に大気中の放射性物質(131I)の50%以上が南東(SE)領域に

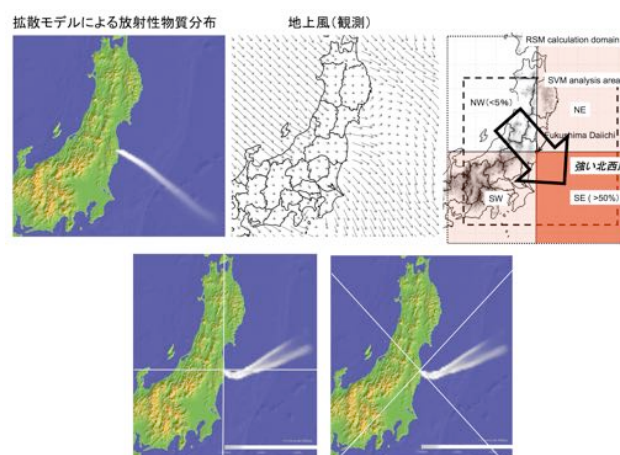


図1 放射性物質の拡散方向の分類

含まれ、その反対側(北西領域: NW)で5%以下となる場合(強い北西風時を想定)に、放射性物質は南東方向に輸送されると定義した(図1右上)。地上風データは図1右上の破線の枠

内を用いた。また、この方法では境界付近で分類が困難になることから、境界を 45 度回転した領域でもデータを整備することにより、問題を解決した。

図2に SVM による放射性物質の拡散予測の概要を示す。拡散モデルは領域スペクトルモデルにセミラグランジアン輸送モデルを適用したものを用いた[6][7][8]。モデル水平解像度は 5km である。地上風観測データには気象庁の領域客観解析値の地上風(高度 10m, 3 時間ごと)のデータを使用した。地上風の水平解像度は 5km である。2009 年から 2013 年までの5年のデータを使用し、テスト対象となる年を除く4年を学習データとした。予測は、1,3,4,7,10 月の各1ヶ月間で行った。

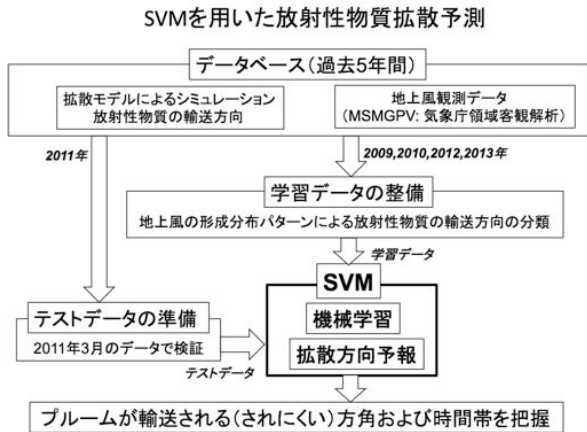


図2 SVM による放射性物質の拡散予測の概要

### 3. 予測結果

2011 年3月の予測結果を図3に示す。「いずれにも該当しない」は、放射性物質が二方向以上に広く拡散する時を意味する。風系が一様でなく、低気圧が通過する場合などに起こりやすい傾向がある。風系が短時間で大きく変化する場合に予測が難しくなるが、1ヶ月を通して概ね一致した。

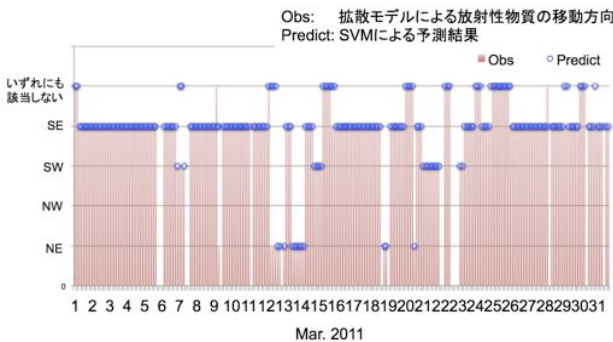


図3 SVM による予測結果 (2011 年 3 月)

図4は、2009 年から 2013 年の 1,3,4,7,10 月について、各年各月を対象として実施したテスト結果的中率を示している。7 月に若干低下するものの、全体的には 80~90%以上となっており、高い精度をもつことが確認された。ちなみに明日の天気予報(降水の有無)的中率が 80%程度であり、それらとの比較により信頼性を実感できる。

次に、地表面に沈着することにより長期的な影響を及ぼすことが懸念される 137Cs(放射性セシウム)の沈着領域について予測を実施した。方法は大気中の放射性物質(131I)の場合と同じで、拡散モデルで再現した 137Cs の沈着量分布の結果を用い

た。沈着には地表面付近の乱流によって地表面に運ばれる乾性沈着と、降水によって大気中の放射性物質が洗い流されて地面に落下する湿性沈着がある。図5は 2011 年 3 月の予測結果で、大気中の放射性物質の結果(図3)と若干異なるが、概ね一致した。図6は 3 月について 2009 年から 2013 年の各年を対象として実施したテスト結果的中率を示す。図4の大気中の拡散予測とほぼ同じ的中率となった。

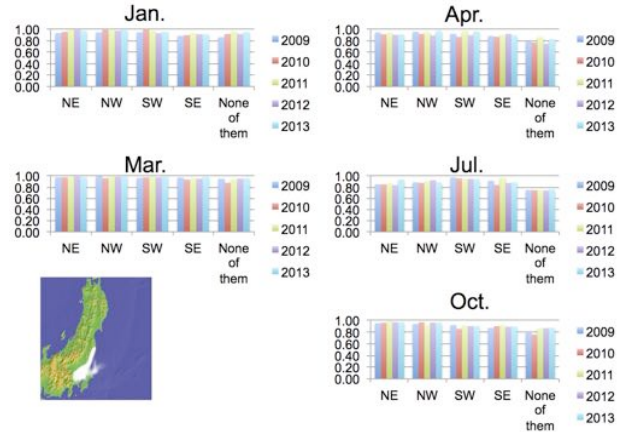


図4 季節や年による的中率の違い

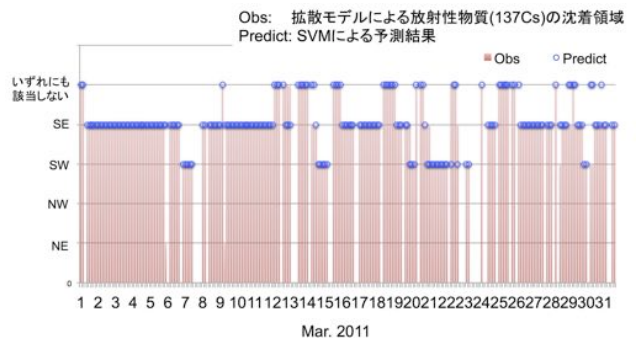


図5 137Cs の沈着領域を予測

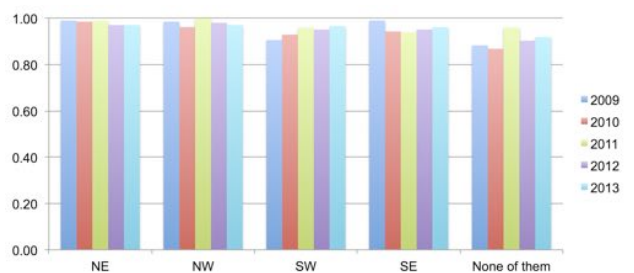


図6 137Cs の沈着領域的中率 (2011 年 3 月)

### 4. 考察

#### 4.1 ツールの利用

実際には地上風の観測値の代わりに予報値(気象庁領域客観解析値:MSMGPV の 33 時間予報値)を用いて拡散方向の予測を行う。時空間スケールの大きな現象(例えば西高東低の気圧配置)が卓越する場合は、放射性物質が長時間一定方向に拡散する特性がある。図3に示されているように、16 日から 18 日にかけて北西季節風が強まり、南東方向への拡散が持続す

る。地方自治体では、24 時間以内に 30km 圏外への避難を目標としている場合が多く、この期間内に拡散方向と反対方向への避難を完了できれば、被曝リスクを小さくできる。逆に短時間で拡散の方向が大きく変化するか、図3の「いずれにも該当しない」の時は、スケールの小さな現象が卓越しており、予測も難しくなる。この期間に避難を行うのはリスクが高いため、屋内退避を選択した方が良いだろう。また、高気圧に覆われている時は、その地域の局地循環(日変化)の特性を知ることにより細かな予測が可能になる。

ツールとしての最大の利点は、コストをかけることなく、誰でも簡単に予測ができることにある。拡散モデルの出力結果から過去数年間のデータベースを作成してデータ統合・解析システム(DIAS)[9]のような大規模サーバー上に置くことができれば、後はデータをダウンロードしてパソコン上で簡単に予測を行うことが可能である。高度な予測システムを導入する必要もなく、システムオペレーションや解析を行う人員も必要としないため、コストをかけずに必要な時にニーズにあった情報が得られる。

一方で、研究レベルでは予測の信頼性向上のために改良を行う必要がある。例えば、複数のモデルによる計算結果や初期値依存性を考慮したアンサンブル予測結果を学習データに加えることにより、信頼性をさらに高めることが可能になるだろう。

SVM は複雑な現象にも対応できること、誰でも簡単に利用できることなどから、放射性物質の輸送の他にも様々な気象災害に活用されるだろう。

## 4.2 ツールの運用について

本研究で示したツールを実際に運用する場合には、法的に問題がないか確認する必要がある。最も関係している気象業務法に明確な規定がない。例えば火山活動に伴う降灰予測は気象業務法で規定されている[10]が、花粉の飛散予測は気象業務許可の対象外とされている[11]。気象庁では放射性物質の拡散予測情報を発表していない[12]。原子力規制委員会では、「緊急時における避難や一時移転等の防護措置の判断にあたって、SPEEDI による計算結果は使用しない」とし、緊急時のみ参考情報として活用する場合もあるとしている[13]。現状では気象庁は放射性物質拡散予測を業務として実施しておらず、気象業務法にも明確な規定がないため、SVM を用いたツールを運用することは特に問題がないと認識している。ただし、地方自治体等の関係機関との研究連携については、誤解なく情報提供がスムーズになるように慎重に行う必要があるだろう。

## 4.3 リスク・コミュニケーションの必要性

リスク・コミュニケーションでは、情報を持つ側は情報を伝える義務があり、市民は情報を知る権利があると考えられている[14]。リスクを伝えることでパニックになるとか、一般の方には理解できないなどの理由でリスク・コミュニケーションをしないのは義務を果たしていないことになる。パニックにならないように、かつ専門的知識を持たない方に理解できるように伝えなければならない。

放射性物質の予測は、専門としている研究者側が、一般市民、地方自治体や水道局などの関係機関、政策決定者に分かりやすく情報を伝える義務がある。そうしないと誰も理解できないし、被曝を回避するための対策を講じることができないだろう[2]。福島原発事故のケースでは、適切に情報を伝えられなかったために大きな混乱を招くことになった。研究者として、このような事態になったことを深く反省し、同じような事態を招かないように改善に努め、安心・安全な暮らしの実現に向けてさらに研究を推進したい。

## 5. まとめ

- SVM を用いた実験結果から、放射性物質の移動方向や沈着分布には地上風が強く関係していることが示された。
- SVM による拡散方向の予測の的中率は 80~90%程度あり、年や季節の違いに関係なく高い信頼性を示した。
- コストをかけず、誰でも簡単に予測でき、予測結果をイメージして理解できることが本ツールの最大の利点である。

## 参考文献

- [1] 茅野政道: SPEEDI を真に原子力防災に生かすために, Isotope News, 日本アイソトープ協会, 2014.
- [2] 内閣官房: 聴取結果書, 東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会事務局, 2012, [http://www.cas.go.jp/jp/genpatsujiko/hearing\\_koukai/618\\_koukai.pdf](http://www.cas.go.jp/jp/genpatsujiko/hearing_koukai/618_koukai.pdf).
- [3] 松江市: 市政情報 市長定例記者会見(3 月 14 日), <http://www1.city.matsue.shimane.jp/shisei/kouhou/kisha/2016/0314.html>.
- [4] 津田宏治: サポートベクターマシンとは何か, 電子情報通信学会誌, VoL83 No.6 pp460-466, 2000.
- [5] Zeileis, Achim, et al., kernlab-an S4 package for kernel methods in R, Journal of statistical software, 11.9, 2004.
- [6] Yoshimura et al., Regional downscaling for stable water isotopes: A case study of an Atmospheric River event, J. Geophys. Res., 115, D18, 2010.
- [7] Chang, E.-C. & Yoshimura K., A semi-Lagrangian advection scheme for radioactive tracers in the NCEP Regional Spectral Model (RSM), Geosci. Model Dev., 8, 3247-3255, 2015.
- [8] Yoshikane et al., Long-distance transport of radioactive plume by nocturnal local winds, Scientific Reports, doi:10.1038/srep36584, 2016.
- [9] データ統合・解析システム: <http://www.diasjp.net/>.
- [10] 気象庁: 気象業務法(抄録) - 予報業務関連 -, [http://www.jma.go.jp/jma/kishou/minkan/yohou\\_law.html](http://www.jma.go.jp/jma/kishou/minkan/yohou_law.html).
- [11] 気象庁: 気象等の予報業務許可についてよくある質問と回答, [http://www.jma.go.jp/jma/kishou/minkan/q\\_a\\_m.html](http://www.jma.go.jp/jma/kishou/minkan/q_a_m.html).
- [12] 気象庁: 気象等の予報業務許可についてよくある質問と回答 その他, <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/knownow/faq/faq16.html>.
- [13] 原子力規制委員会: 緊急時迅速放射能影響予測ネットワークシステム (SPEEDI) の運用について, <http://www.nsr.go.jp/data/000027740.pdf>.

---

[14] 吉川肇子: リスク・コミュニケーション, 保健物理, 35(4),  
485~490, 2000.