

原発事故地域における森林火災後の
放射性物質・再拡散予測システムの開発

五十嵐 康記 (代表者) 福島大学 環境放射能研究所 特任講師
小槻 峻司 (分担者) 千葉大学 国際高等研究基幹 教授

研究の目的と目標

【目的】 森林火災の発生直後から大気・水文過程による放射性物質の拡散予測を可能とし、担当行政機関や社会に向け正確な情報を発信するための基盤システムを開発する。

(I) 詳細な現地観測情報収集とAI・モデル開発支援



(II) 現地・衛星観測の統合解析AIの構築

火災情報（2015年、2020年）を積み重ね精度向上



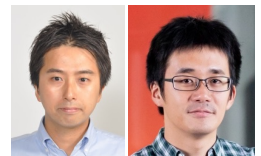
目的 (A): 現地・衛星観測の統合解析AIによる、迅速な森林火災域・焼損度推定を実現

(III) 大気・水文モデルによる放射性物質拡散予測

III-a 大気輸送予測モデル（ウクライナ原子力発電所安全規制機構）

III-b 水文輸送予測モデル（SiBUC: Kotsuki et al., 2013; 2015）

目的 (B): 大気・水文モデルを用いた、森林火災後の放射性物質・再拡散予測



全体研究計画と進捗

4. 研究目標・内容

全体目標	本研究の目的 (A) 現地・衛星観測の統合解析 AI による、迅速な森林火災域・焼損度推定 (B) 大気・水文モデルを用いた、森林火災後の放射性物質・再拡散予測
	本研究の内容 (I) 詳細な現地観測情報収集による AI・モデル開発支援 (II) 現地・衛星観測の統合解析 AI の構築 (III) 大気・水文モデルによる放射性物質拡散予測
	全体目標 ウクライナ・チェルノブイリ規制区域を対象として、森林火災面積・焼損度を推定する AI を構築する。さらに、森林火災監視 AI の出力する焼損度を用いた、森林火災後の大気拡散・水文流出に関する再現実験を行う。特に火災規模の大きかった 2015 年、2020 年の ChEZ 森林火災をターゲットケースに定め、最終的に本研究の推定値を学会発表・論文などで発表する。更に、森林火災推定 AI の世界展開の嚆矢として、日本・福島森林火災の再現実験を行う。
	各課題の目標 (I) 詳細な現地観測情報収集による AI・モデル開発支援 <input type="checkbox"/> 森林火災 AI システム構築のため、チェルノブイリ規制区域内で過去 20 年以内に起こった森林火災を GIS データとして整備する。 <input type="checkbox"/> これまでの現地及び実験室における火災による森林や草地からの放射性物質の拡散量推定係数（燃焼放出係数）をデータベースとして整備する。 <input type="checkbox"/> 火災跡地からの表面流による溶存態・懸濁態それぞれの放射性物質移行係数をデータベースとして整備する。 <input type="checkbox"/> ChEZ とウクライナ・キエフ市における大気及び主要河川水中における放射性物質濃度の観測結果をデータベースとして整備する。 (II) 現地・衛星観測の統合解析 AI の構築 <input type="checkbox"/> チェルノブイリ規制区域において、森林火災域・焼損度推定 AI システムを構築し、2015 年・2020 年森林火災を再現する。 <input type="checkbox"/> 森林火災監視 AI@ChEZ のリアルタイム運用システムを構築する。 <input type="checkbox"/> 森林火災監視 AI を、波江の火災でも検証する。 森林火災監視 AI の精度は NASA の既存プロダクトと同程度以上の検出精度を実現する。 (III) 大気・水文モデルによる放射性物質拡散予測 <input type="checkbox"/> AI の算出する焼損度を利用し、燃焼放出係数を用いて放出量推定サブモデルを開発する。既存の大気拡散予測モデルを利用し、2015 年や 2020 年の森林火災後の放射性物質・大気再拡散の再現実験を行う。 <input type="checkbox"/> 統合陸域水循環モデル SiBUC を、ChEZ で計算可能な様に整備する。更に、放射性物質・流出パラメタリゼーションを導入する。サブ流域にフォーカスしてモデル開発した上で広域実験を行い、原発事故後 30 年間の放射性物質流出量をモデルから明らかにする。

完了したもの

- CEZ2020年火災延焼地域の現地観測データ取得とそのデータベース化
- 現地・衛星観測の統合解析AIの構築
- 放射性物質の拡散シミュレーション検証用観測データの整備

現在進行中

- 現地・衛星観測の統合解析AIの精度向上（CEZ）
- 現地・衛星観測の統合解析AIの応用（福島）
- 放射性物質の拡散シミュレーション

計画になかった進捗

キックオフ時のコメント

- 環境省としては森林の除染が進んでいないこと、表土を剥ぎ取るにも問題があり悩んでいるところ。火災に限らず予期しないイベントが起きたときに、地元では大きなインパクトを持って受け止められ不安材料となる。火災等によってこういった結果が予測されるのか、大丈夫か大丈夫じゃないのか、データとファクトで示していきたい(環境省)
- 環境省予算による事業なので、福島での有益な展開をぜひお願いしたい。2017年の浪江町での森林火災では、放射性物質の再拡散がそれほど大きくはなかったという結果であったが、モデルなどを用いて再検証をしてインパクトが大きく無かった事を示すことが、環境行政にとっては非常に有益であると考え(小山PO)

挑戦中

発展中

令和4年度	令和5年度
<p>(研究計画)</p> <p>前述の全体計画のうち、令和4年度では、</p> <p>[Ib] 燃焼放出係数を用いた放出量推定サブモデルの開発と実装 (五十嵐)</p> <p>大気拡散・水文流出モデルを検証するための観測データは取得済みである。引き続き情報取得に努めつつ、大気・水文再拡散モデルを開発するためのデータを構築する。火災による森林や草地からの放射性物質の拡散量は、実験的に求められた係数および経験式(燃焼放出係数:例えば、Yoschenko et al., 2006; Hao et al., 2018)を用い、パラメトリックに焼損度と放出量を決定する。</p> <p>[IIb] 森林火災監視AI@ChEZの長期解析。焼損度の推定へAIを高度化。(小槻)</p> <p>チェルノブイリ規制区域における過去20年分の森林火災データを用い、森林火災AIシステムを構築し、2020年森林火災結果を再現する。また、リアルタイム運用により、研究期間中に森林火災のあった場合に早期診断可能を確認する。なお、現地では2年に1度程度森林火災が発生している。ここまでで完成したAIは、森林火災域の「面積」推定に特化したものであるが、更に現地観測で「焼損度」の情報を予測値とし、AIによる焼損度推定を実施する。</p> <p>[IIIa] 大気拡散予測モデルによる2020年、及び、過去の火災結果の計算 (五十嵐)</p> <p>ウクライナ原子力発電所安全規制機構により運用されている、大気による放射性物質の拡散予測モデル(Talerko et al., 2014; 2019)を用いる。前述の森林火災AIシステムにより推定された焼損面積及び焼損度モデルの入力値とする。火災による森林や草地からの放射性物質の拡散量はパラメータ化してサブモデルとして大気拡散予測モデルに実装する。これにより、発生地域と焼損度推定の精度向上が、大気過程を介した放射性物質の再拡散にどの程度影響を及ぼしうるのか、既存のモデルとの比較検討をおこなう。焼損面積、焼損度の推定手法の違い、燃焼放出係数の違いを定量的に示すことも本研究の副主題とする。</p>	<p>(研究計画)</p> <p>前述の全体計画のうち、令和4年度では、</p> <p>[IIc] 森林火災監視AI@東北で開発・実験 (小槻)</p> <p>ウクライナのチェルノブイリ規制区域を対象として開発したアルゴリズム(森林火災監視AI)を日本で適用する。チェルノブイリ規制区域・非森林火災域のバンドヒストグラムから、自動的に(志意的な人のチューニングなしに)閾値を推定する手法を適用する。林野庁作成の2017年に福島県浪江町森林火災の報告書を使用する。</p> <p>[IIIa, b] 森林火災監視AIと大気拡散・水文輸送モデルを結合し、ChEZの複数流域における放射性流出・再現実験。現地データと比較し、検証する (五十嵐・小槻)</p> <p>ウクライナ原子力発電所安全規制機構により運用されている、大気による放射性物質の拡散予測モデル(Talerko et al., 2014; 2019)を用いる。前述の森林火災AIシステムにより推定された焼損面積および焼損度をモデルの入力値とする。火災による森林や草地からの放射性物質の拡散量はパラメータ化してサブモデルとして大気拡散予測モデルに実装する。焼損面積、焼損度の推定手法の違い、燃焼放出係数の違いを定量的に示すことも本研究の副主題とする。</p> <p>小槻が開発してきた統合陸域水循環モデルSiBUC(Kotsuki et al., 2013, 2015)に、放射性物質流出モジュールを導入する。小槻はIgarashi et al. (2020)によるパラメタリゼーションをSiBUCの流出過程に組み込み、より広域の放射性物質・流出予測システムを構築する。まず、SiBUCをChEZで実行可能なように入力・計算条件を整備し、現地観測降水量などを使った解析で、現地の水文量(流出量、蒸発散量、地表面温度)が再現可能明らかにする。その上、放射性物質・流出パラメタリゼーション導入する。まず一つのサブ流域にフォーカスしてモデル開発・パラメータ推定を行い、現実の流出量を再現可能を確認した上で広域実験を行い、原発事故後30年間の放射性物質流出量をモデルから明らかにする。</p>

2017年十萬山火災について、

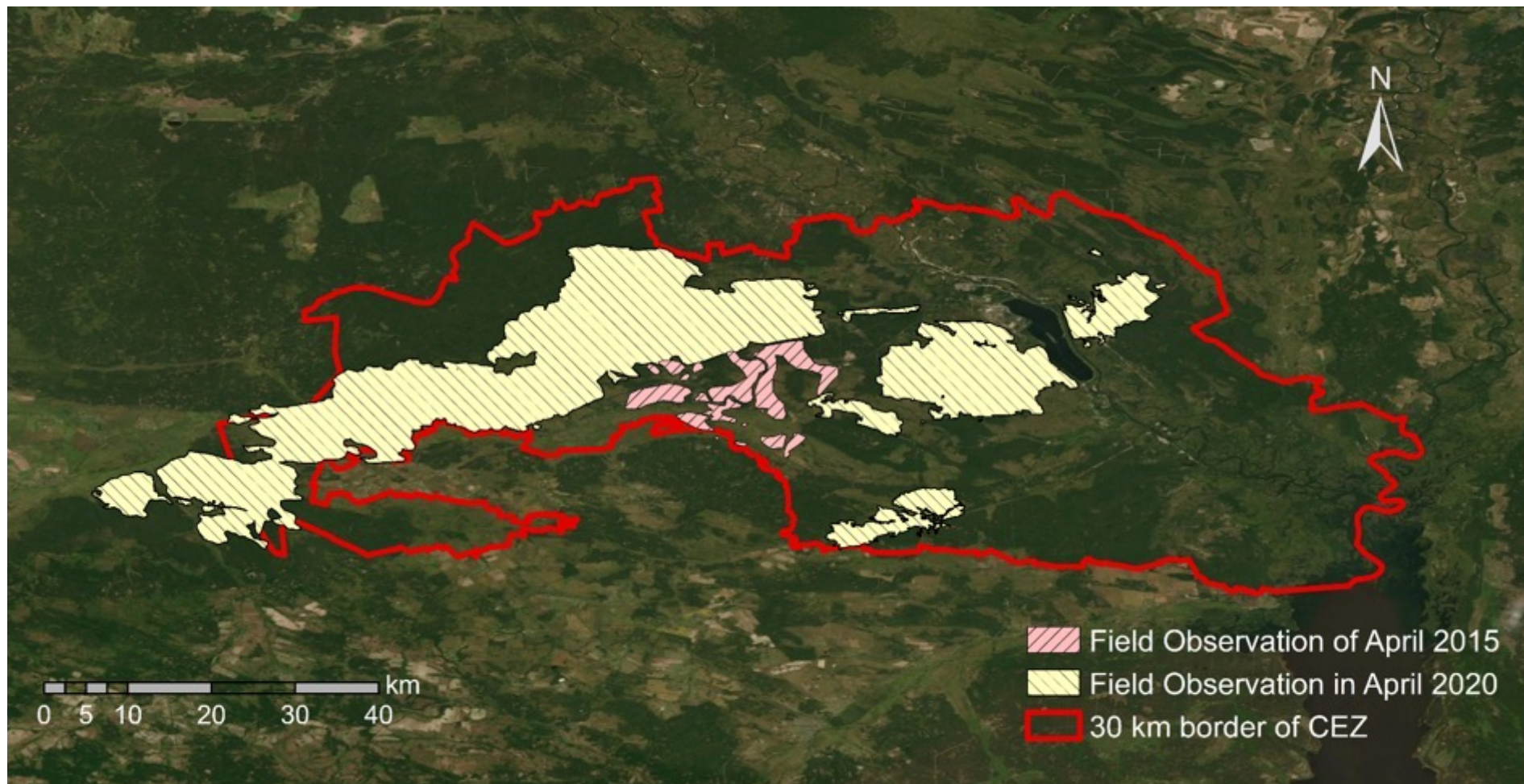
- 統合解析AIを応用中 (Hu)
- 大気拡散シミュレーションの適用 (五十嵐)

進捗報告:

進捗：計画通り進展している

[1a] チェルノブイリ・森林火災現場資料をGISデータとして整備

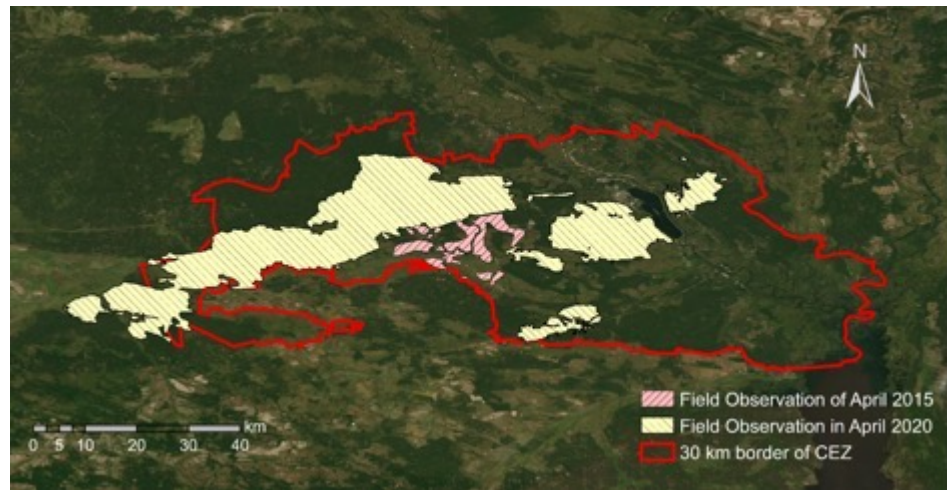
現地観測に基づく2020年火災の焼損面積GISデータの最終版を確定



このデータを観測値として森林火災監視AI@ChEZに使用

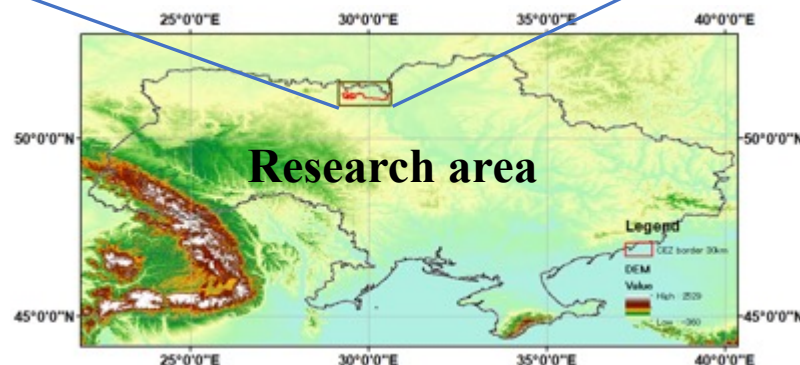
進捗報告:

[II a] 森林火災監視AI@ChEZの精度向上と現地観測を用いた高度化 (小槻)



現在、最も信頼されている焼損域 (BA) データである NASA, MCD64A1 でさえ、推定誤差を有している。

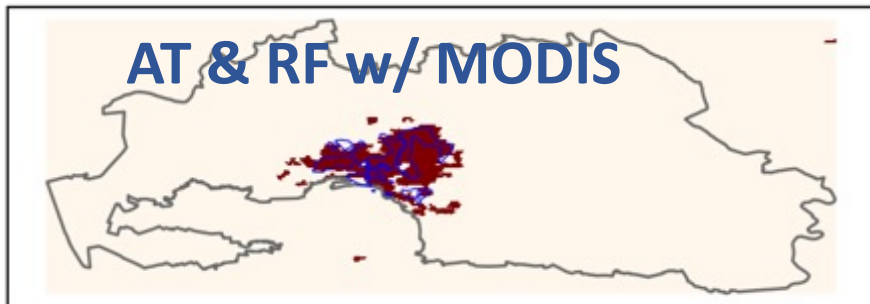
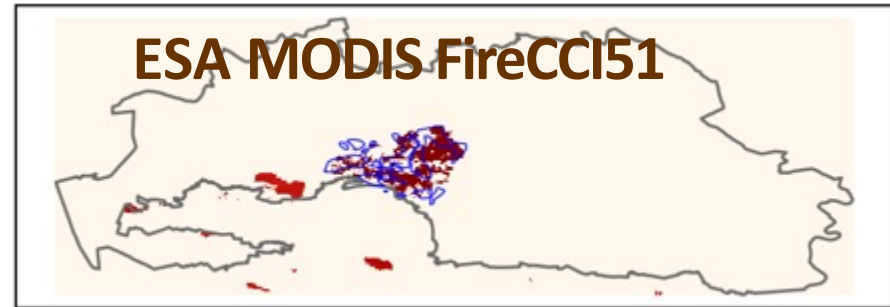
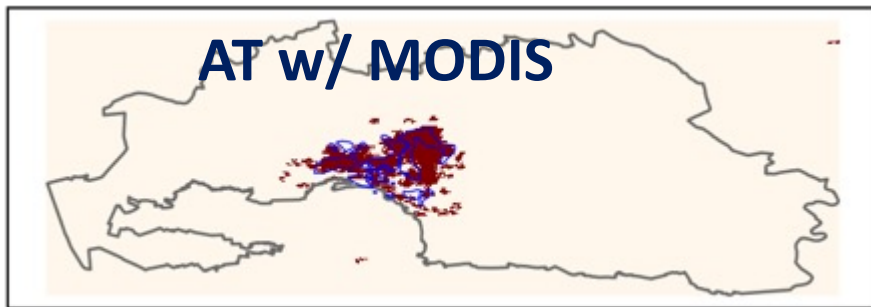
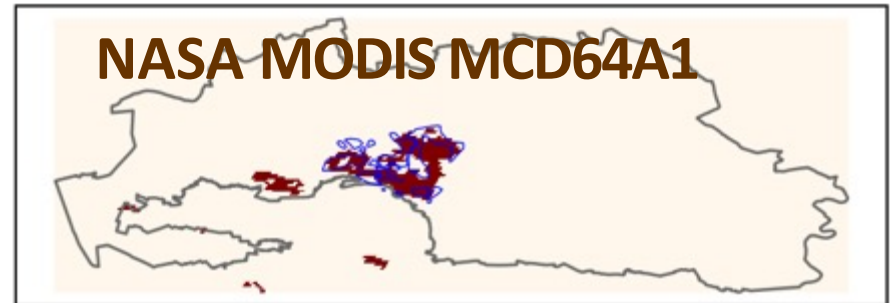
また、閾値を用いた BA 推定であるため、BA の判定に数ヶ月を要する。



閾値を用いずに BA を検出できる森林火災監視AI@ChEZを開発する！

検証は2015, 2020年の森林火災

結果：森林火災の推定精度（2015年）



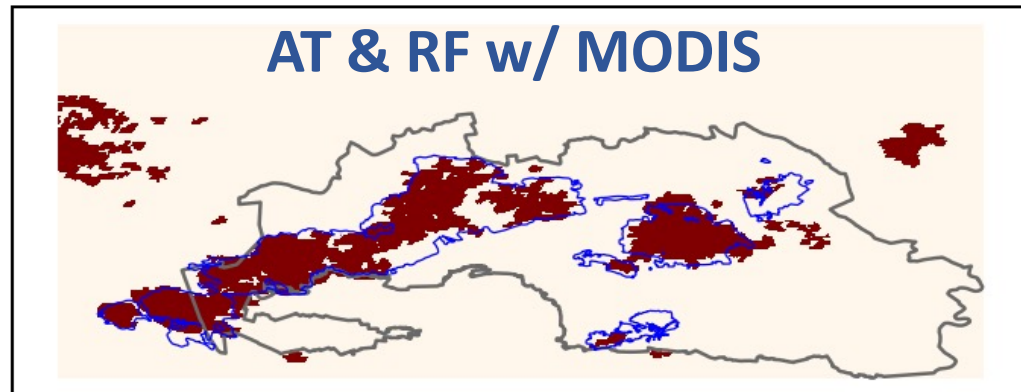
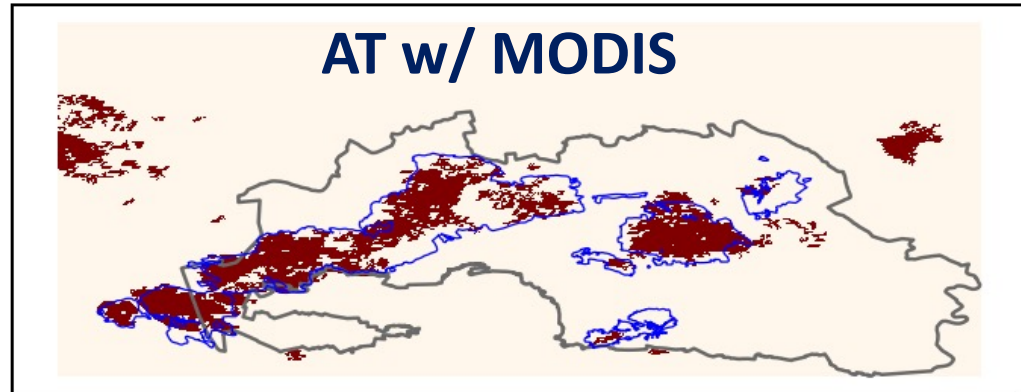
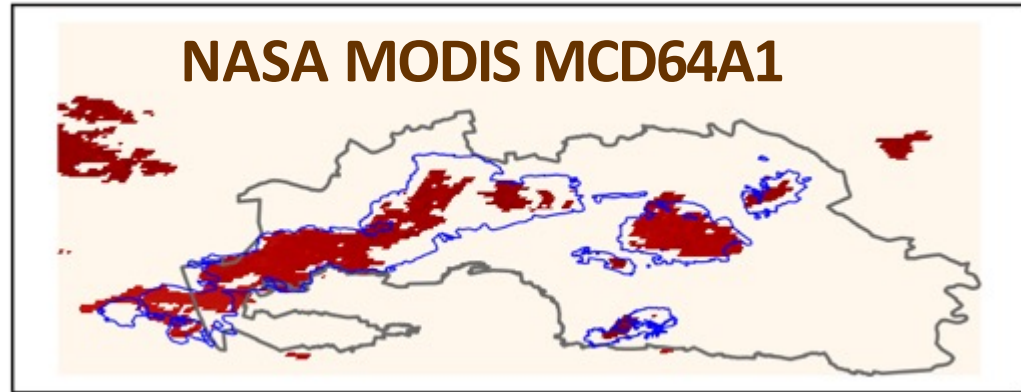
Blue: Field Ob

Red: Detections by Satellite

(%)	AT	AT & RF	NASA	ESA
OA	62.0	63.6	68.4	70.5
KA	28.3	29.9	25.3	25.0
OE	15.6	14.8	44.8	52.7
CE	61.0	59.9	58.8	56.8
CSI	36.5	37.2	30.9	29.1

結果：森林火災の推定精度（2020年）

Field obs. in April 2020



(%)	TA	TA & RF	NASA
OA	86.6	88.2	85.4
KA	59.4	66.7	55.0
OE	43.3	30.1	47.9
CE	16.7	20.6	18.4
CSI	50.9	59.2	46.6

Blue: Field Obs

Red: Detections by Satellite

緊急対応: 2022年のウクライナ戦争

2022年2月のロシア軍の侵攻を受け、本研究で対象とするチェルノブイリ原発汚染区域もロシア軍により占領された。現地の報道から、戦禍の影響とみられる森林火災発生が示唆されていた。2022年2月以降、森林火災の影響推計を緊急対応として実施した。診断結果を順次現地の共同研究者と共有し、放射性物質拡散の危険度をモニタリング中。



[II a] 森林火災監視AI@ChEZの精度向上と 現地観測を用いた高度化（小槻）

教師データを用いない、森林火災域判定AIを開発した。本プロジェクトでは、適応型閾値(AT:adaptive threshold)、ATとランダムフォレスト(RF:random forests)の併用アルゴリズム(AT&RF)を開発し、NASAの既存プロダクトと延焼範囲の検出精度を検討し、下記を明らかにした。

1. ATとAT&RFは、インデックスが多ければ多いほど分類結果が良くなる訳ではない事が明らかとなった。特に、ATでは検出に使用するインデックスを増やすと、抜け落ち（検出できない場所）の誤差も大きくなることを明らかにした。
2. AIを用いた森林火災域判定に、最も重要な要因は適時性であり、次いで植生指標であることが明らかとなった。衛星画像をタイムリーに利用することで、精度高く森林火災域を判定できる事がわかった。
3. 本研究の成果は、既存製品に比べ、誤差を平均で20%以上減少させ、カッパ精度とクリティカルサクセスインデックスをそれぞれ平均で7%と10%以上増加させることに成功した。

R3研究計画の「森林火災監視AIの精度はNASAの既存プロダクトと同程度以上の検出精度を実現する」という、当初目標を達成。

進捗：計画通り進展している

[Ⅲb] 水文モデルSiBUC@ChEZの開発とパラメタリゼーションの導入（小槻）

統合陸域水循環モデルSiBUC (Kotsuki et al., 2013, 2015)をChEZで実行可能なように入力・計算条件を整備した。チェルノブイリ事故以降のChEZ内の河川データの整備をも完了させた。また、現在の条件にて水文量をシミュレーションした。

【整備が完了したデータセット】

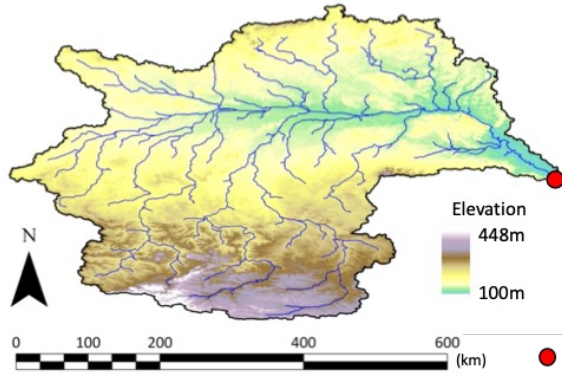
- チェルノブイリ規制区域の河川流量、放射性核種濃度、降水量、降雪量、積雪量、気温、湿度、風向風速
- 初期沈着量
ヨーロッパ全域 (^{137}Cs)、チェルノブイリ規制区域 (^{90}Sr)

【シミュレーション】

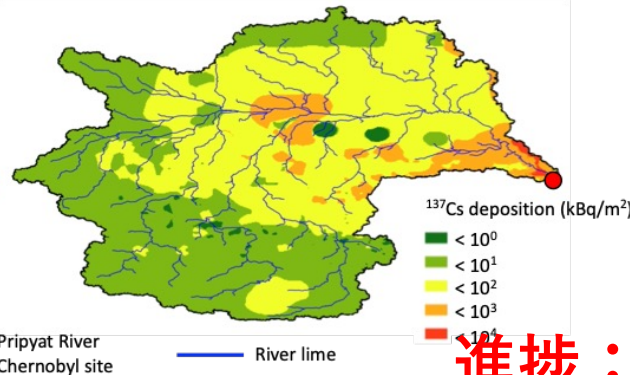
- 現在の条件にて水文量

[Ⅲb] 水文モデルSiBUC@ChEZの開発とパラメタリゼーションの導入 (小槻)

Pripyat River: 108,139 km²



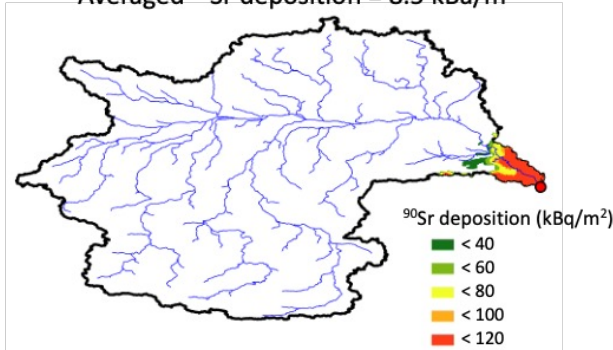
Averaged ¹³⁷Cs deposition = 45.4 kBq/m²



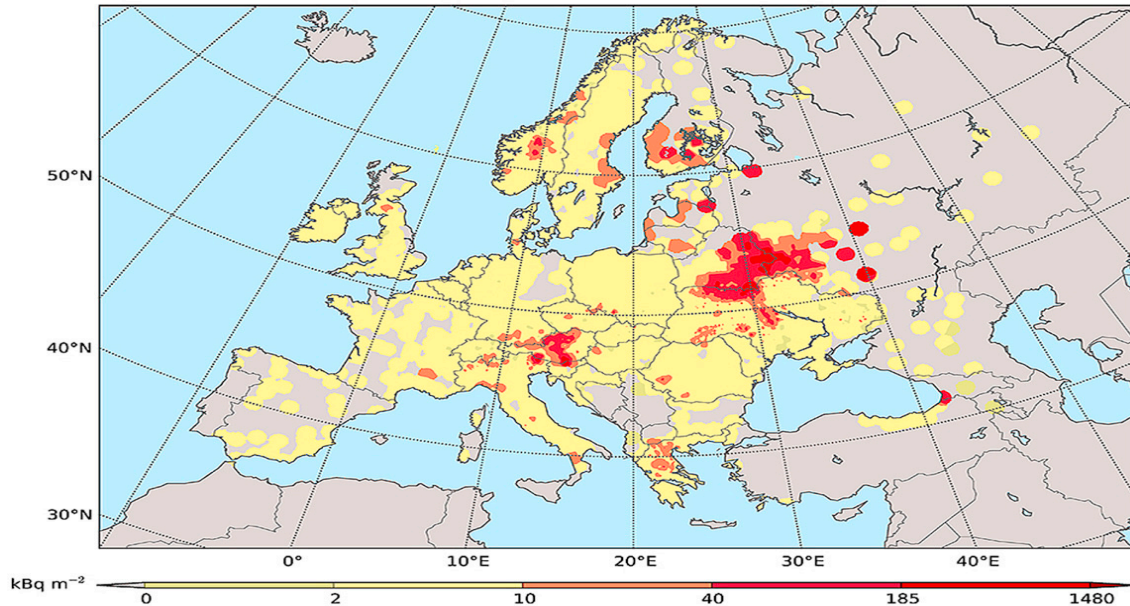
左：プリピャチ川チェルノブイリ地点における流域界と、流域内での¹³⁷Csおよび⁹⁰Srの初期沈着量マップ

進捗：計画通り進展している

Averaged ⁹⁰Sr deposition = 8.5 kBq/m²

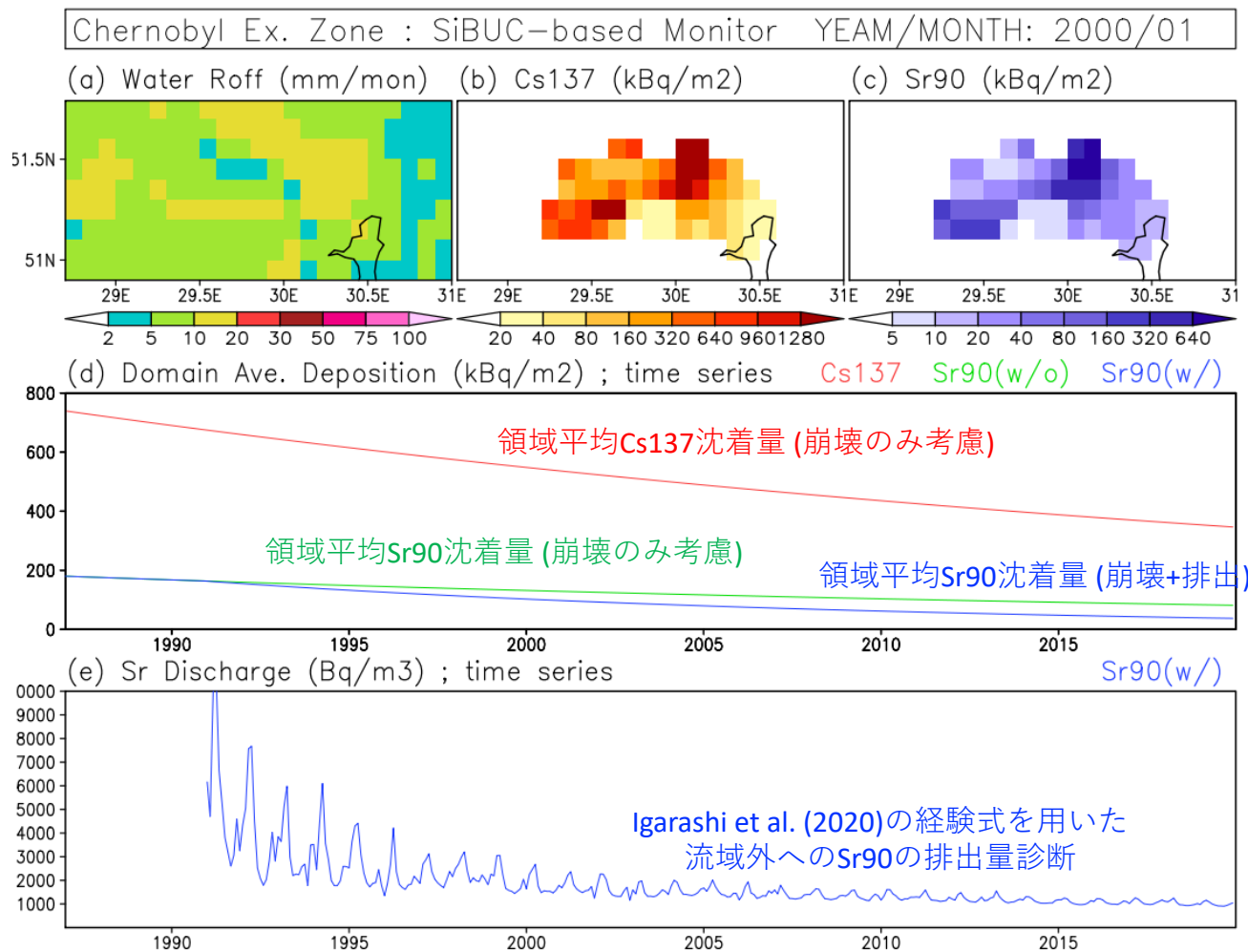


Cs-137 deposition (IDW d=60km)



右：ノルウェー大気研究所によるヨーロッパの¹³⁷Cs沈着量マップ

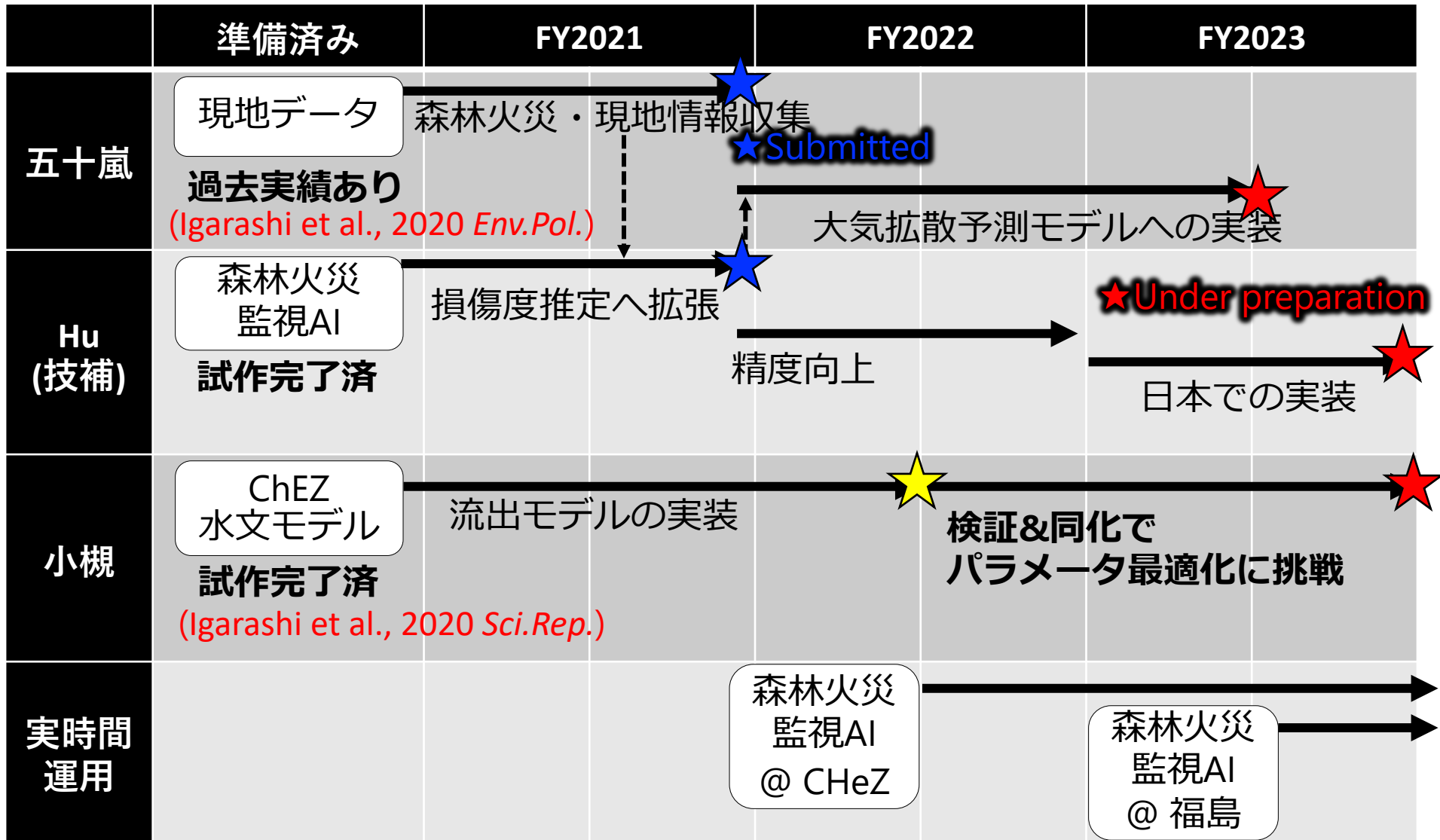
[III b] 水文モデルSiBUC@ChEZの開発とパラメタリゼーションの導入 (小槻)



ChEZを含むウクライナ北部域を対象とした、水文シミュレーションの結果

進捗：計画通り進展している

-これまでの経緯と今後の計画-



★Accepted Igarashi et al (2022). Factors Controlling the Dissolved ^{137}Cs Seasonal Fluctuations in the Abukuma River Under the Influence of the Fukushima Nuclear Power Plant Accident. *JGR Biogeo.*, doi.org/10.1029/2021JG006591 (4.43)