



TOHOKU
UNIVERSITY

ISSN 2436-0066

東北大学
サイバーサイエンスセンター

大規模科学計算システム広報

SENAC

Vol.58 No.3 2025—7



Cyberscience
Center

Supercomputing System
Tohoku University

www.ss.cc.tohoku.ac.jp

大規模科学計算システム関連案内

<大規模科学計算システム関連業務は、サイバーサイエンスセンター本館内のデジタルサービス支援課が担当しています。>

<https://www.ss.cc.tohoku.ac.jp/>

階	係・室名	電話番号(内線)* e-mail	主なサービス内容	サービス時間
				平日
一階	利用相談室	022-795-6153 (6153) 相談員不在時 022-795-3406 (3406)	計算機利用全般に関する相談 大判プリンタ、利用者端末等の利用	8:30～17:15 9:00～21:00
	利用者談話室	(3444)	自販機	8:30～21:00
	展示室(分散コンピュータ博物館)*	*見学希望の方はスーパーコンピューティングサポートユニットまでご連絡ください。	歴代の大型計算機等の展示	9:00～16:00
三階	総務係	022-795-3407 (3407) cc-som@grp.tohoku.ac.jp	総務に関すること	8:30～17:15
	会計係	022-795-3405 (3405) cc-kaikai@grp.tohoku.ac.jp	会計に関すること、負担金の請求に関すること	8:30～17:15
	スーパーコンピューティングサポートユニット	022-795-3406 (3406) cc-uketuke@grp.tohoku.ac.jp	利用手続き、利用相談、講習会、ライブラリ、見学、アプリケーションに関すること	8:30～17:15
		022-795-6252 (6252) cc-sys@grp.tohoku.ac.jp	共同研究、計算機システムに関すること	8:30～17:15
	デジタルプラットフォームユニット	022-795-6253 (6253) i-network@grp.tohoku.ac.jp	ネットワークに関すること	8:30～17:15
四階	研究開発部	022-795-6095 (6095)		
五階	端末機室	(3445)	PC 端末機(X 端末)	

* () 内は東北大学内のみの内線電話番号です。青葉山・川内地区以外からは頭に 92 を加えます。

本誌の名称「SENAC」の由来

昭和 33 年に東北地区の最初の電子計算機として、東北大学電気通信研究所において完成されたパラメロン式計算機の名前で SENAC-1 (SENdai Automatic Computer-1) からとって命名された。

[共同研究成果]

3次元フェーズフィールドモデルとデータ同化による がんオルガノイドの細胞力学モデル

川村 洸太郎 千葉 紀風 今井 正幸

東北大学大学院理学研究科

概要: 本研究では、がんオルガノイドの形態形成を理解するために、3次元 フェーズフィールドモデルを用いた数値シミュレーションを実施し、多細胞集合体における管腔構造の形成機構を解析した。特に、内腔圧と細胞周期の変化が管腔構造の形成に及ぼす影響を調査し、特定の閾値において凝集構造から管腔構造への転移が起こることを明らかにした。さらに、データ同化手法（アンサンブル変分法）を導入し、実験観察データに基づく最適なモデルパラメータの推定を行った。シミュレーション結果と観測データの誤差を最小化することで、データ同化によるモデルパラメータ推定が多細胞集合体でも適応可能であることを示した。本研究の成果は、がんオルガノイドの細胞力学モデル解析の基盤を提供し、将来的にがん研究への応用が期待される。

序論

細胞は生命を構成する最小単位であり、細胞同士の接着や集合により組織を形成することで、特定の機能を持つ器官を構築する。細胞組織の形態形成は、上皮細胞の配置や変形によって制御されるが、そのメカニズムを理解するためには数理モデルを活用したシミュレーションが有用である。

本研究では、がん細胞の増殖と組織形成に着目し、特にがんオルガノイドに関する解析を行う。がんオルガノイドは、患者由来のがん細胞を培養することで作成され、生体内の腫瘍に近い形態を再現できる特徴を持つ [1]。特に、腫瘍の管腔構造の異常ががんの進行に深く関与することが示唆されている [2]。

既存の力学モデルとして Vertex model などが用いられてきたが、多層構造やトポロジーの変化を再現するには複雑なアルゴリズムが必要であり、実装が困難である。一方で、フェーズフィールドモデルは連続体モデルとして柔軟なモデリングが可能であり、計算コストが大きくなるものの、より詳細な細胞組織の挙動を再現できる [3, 4]。

本研究の目的は、3次元のフェーズフィールドモデルを用いてがんオルガノイドを模倣した多細胞集合体の形態形成をシミュレーションし、管腔構造の形成を支配する物理学的・生理学的パラメータを明らかにすることである。さらに、実験データを数値シミュレーションに組み込む手法としてデータ同化を導入し、がんオルガノイドの実験観察データからモデルパラメータを推定する手法の確立を目指す。

3次元におけるがんオルガノイドのフェーズフィールドモデル

方法

がんオルガノイドは腫瘍から抽出した細胞を培養して形成される細胞集合体であり、その基本的な構造は細胞集合体である細胞組織と水を主成分とする内腔からなる。このような基本構造に対して、フェーズフィールド法では細胞や内腔の形状を相の拡散界面として扱う。相は空間の位置 $\mathbf{r} = (x, y, z)$ 、時間 t で表されるフェーズフィールド変数 $u(\mathbf{r}, t)$ を用いて表される。後述する理由により、フェーズフィールドが非保存場であることを仮定すると、時間発展は系の自由エネルギーの汎関数微分 $\tau \frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{\delta E}{\delta u}$ に従う。管腔構造の場合、個々の細胞のフェーズフィールド $u_m(\mathbf{r}, t)$ と内腔のフェーズフィールド $s(\mathbf{r}, t)$ について自由エネルギーを定義する。まず、 m 番目の細胞の自由エネルギーを以下のように表す、

$$\begin{aligned} E[u_m] = & \int_{\Omega} \left[\frac{D_u}{2} |\nabla u_m|^2 + \frac{1}{4} u_m^2 (1 - u_m)^2 \right] d\mathbf{r} \\ & + \frac{\alpha}{12} (V_{m,0} - V(u_m))^2 + \sum_{n \neq m}^{N_c} \frac{\beta}{12} \int_{\Omega} h(u_m) h(u_n) d\mathbf{r} + \frac{\beta_s}{12} \int_{\Omega} h(u_m) h(s) d\mathbf{r} \\ & + \sum_{n \neq m}^{N_c} \frac{\eta}{6} \int_{\Omega} \nabla h(u_m) \nabla h(u_n) d\mathbf{r} + \gamma \int_{\Omega} |\nabla h(u_m)|^2 d\mathbf{r} \end{aligned}$$

ここで、第1項の被積分関数は勾配自由エネルギー密度およびダブルウェルポテンシャルを表す。係数 D_u は勾配の幅と界面張力の大きさを決める。第2項は細胞の体積を $V_{m,0}$ に拘束するペナルティ項を表す。係数 α は十分大きい値を指定する。また、細胞 m の体積を $V(u_m) = \int_{\Omega} h(u_m) d\mathbf{r}$ で表す。ここで Ω は空間での有限の領域を表す。第3項と第4項はそれぞれ細胞間、細胞と内腔間の排除体積を表す項であり、係数 β, β_s はペナルティの強さを表す。また、関数 $h(u) = u^2(3 - 2u)$ は数値計算の安定性のために導入する。第5項は細胞間の接着による寄与であり、係数 η は細胞間の接着力である。最後に、第6項は界面が無限に拡がることを拘束するペナルティ項を表す。係数 γ は接着力 η よりも大きい値に指定する。

次に内腔の自由エネルギーを以下のように表す、

$$\begin{aligned} E[s] = & \int_{\Omega} \left[\frac{D_s}{2} |\nabla s|^2 + \frac{1}{4} s^2 (1 - s)^2 \right] d\mathbf{r} \\ & + \sum_{n \neq s}^{N_c} \frac{\beta_s}{12} \int_{\Omega} h(s) h(u_n) d\mathbf{r} - \frac{\xi}{6} \int_{\Omega} h(s) d\mathbf{r} \end{aligned}$$

上記の細胞と同じように、第1項の被積分関数は勾配自由エネルギー密度およびダブルウェルポテンシャル

であり、係数 D_s は勾配の幅と界面張力の大きさを決める。第2項は細胞と内腔間の排除体積を表すペナルティ項である。第3項は内腔の圧力による寄与であり係数 ξ は細胞組織を隔てた内腔の圧力差を表す。

本研究の系では細胞分裂により新たな細胞のフェーズフィールドが生成される。また、内腔のフェーズフィールドは圧力差によって生成および消滅する。したがって細胞相・内腔相は非保存場と仮定して、時間発展方程式をフェーズフィールドの汎関数微分で以下のように表す、

$$\tau \frac{\partial u_m}{\partial t} = D_u \nabla^2 u_m + u_m(1 - u_m) \left(u_m - \frac{1}{2} + f_u(u_m, \psi) \right).$$

$$f_u(u_m, \psi) = \alpha(V_m - V(u_m)) - \beta(\psi - h(u_m)) + \eta \nabla^2(\psi - h(u_m)) + \gamma \nabla^2 h(u_m).$$

および、内腔の時間発展方程式、

$$\tau \frac{\partial s}{\partial t} = D_s \nabla^2 s + s(1 - s) \left(s - \frac{1}{2} + f_s(s, \psi) \right).$$

$$f_s(s, \psi) = -\beta_s \psi + \xi$$

ここで、係数 τ は単位時間を表す正の定数である。変数 $\psi(\mathbf{r}, t) = \sum_m^{N_c} h(u_m(\mathbf{r}, t))$ はある位置における細胞のフェーズフィールドの和を表す。以上の時間発展方程式について3次元空間で単位時間ステップごとにオイラー法で更新する。シミュレーションのプログラムはFortran、ノード内の並列処理はOpenMPで実装した。また、計算機はAOBA-Sを用いて1VEあたり16コアの並列処理で計算を実行した。

結果

細胞周期 τ_d と内腔圧 ξ の関係を解析した結果、内腔形成に大きな影響を与えるパラメータが明らかとなった(図1a, b)。特に、内腔圧が低い場合には、細胞は凝集した構造を形成し、内腔は十分に発達しないことが確認された。一方で、内腔圧が一定値以上になると、細胞組織の中心部に明確な管腔が形成されるようになり、管腔構造が安定的に維持されることが示された。細胞周期が長くなると、細胞の成長と分裂が遅れ、内腔形成の進行が抑制される傾向がみられた。また、内腔圧が過度に高くなると、内腔が管腔構造の外側へと漏出することが確認された。

内腔占有率 (Lumen Occupancy, $\phi = \frac{V(s)}{V(s) + \sum_{m=1}^{N_c} V(u_m)}$) の時間変化を解析したところ、内腔圧が

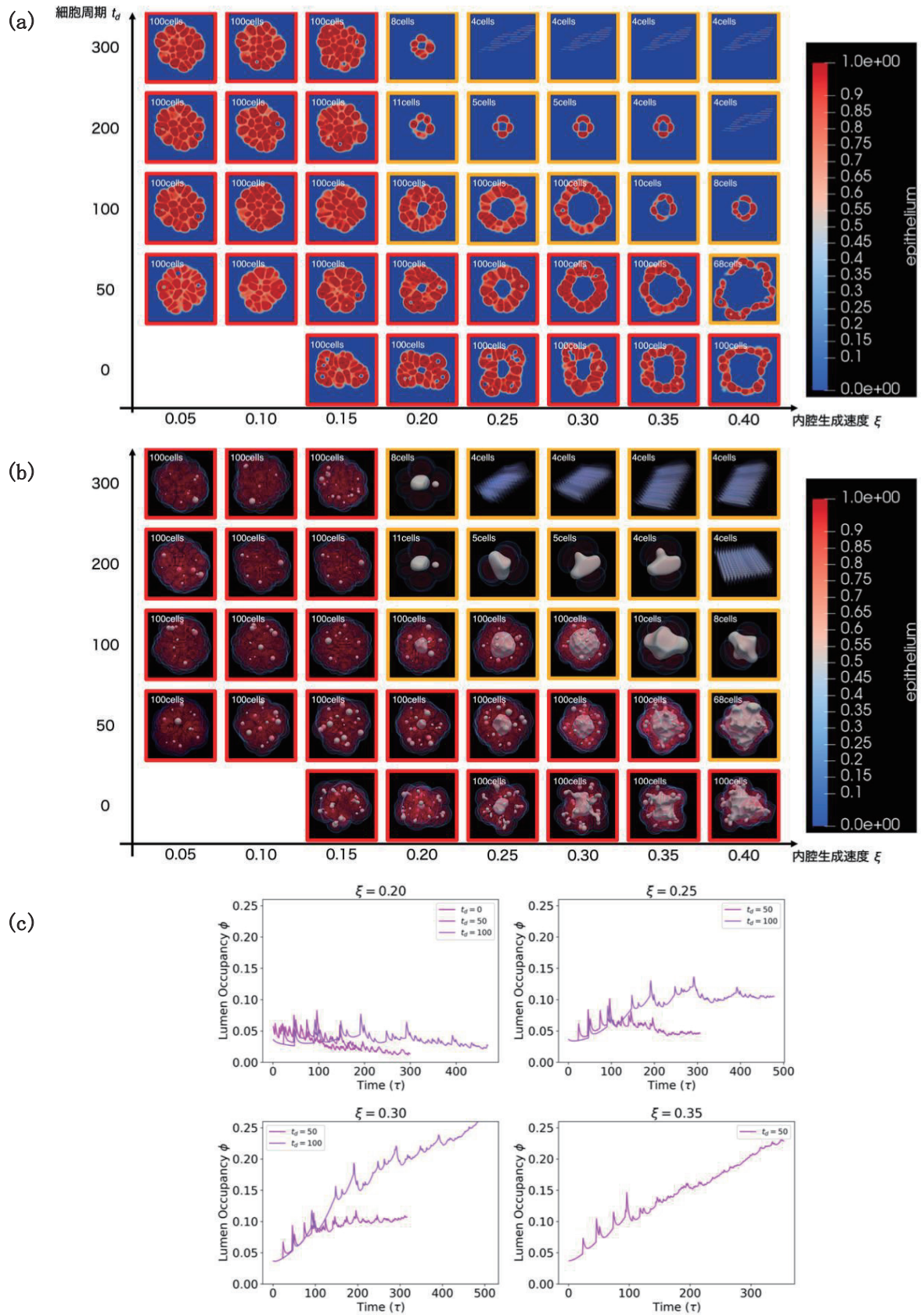


図1 3次元フェーズフィールドモデルで得られたオルガノイド形態の細胞周期 t_d と内腔圧 ξ に対する相図; (a) 断面, (b) 3次元投影; 細胞組織の秩序変数 u_m の値を右側面のカラーコードを用いて色分けして表示. 内腔の秩序変数を白色で表示, (c) 管腔構造を有する形態における Lumen Occupancy ϕ の時間変化

低い条件では細胞分裂のたびに一時的に内腔が拡張するものの、最終的には細胞の増殖により圧縮され、安定的な内腔が維持されないことがわかった（図1c）。一方、内腔圧が一定値以上の場合には、細胞分裂後の内腔の拡張が維持され、時間の経過とともに内腔の占有率が増加し、最終的に安定した値に収束する傾向が見られた。

データ同化によるがんオルガノイドの形態再現

方法

データ同化は、観測データを考慮しながらシミュレーションモデルのパラメータを最適化するための手法である。本研究では、まずモデルパラメータが確率変数であると仮定したうえでモデルパラメータの事前確率 $P(\mathbf{x})$ を定義し、統計的な仮説に基づいた初期値を設定する。次に、観測データとシミュレーション結果の誤差を確率分布として表現する尤度 $p(\mathbf{y}^{obs}|\mathbf{x})$ を導出し、データ同化によるパラメータ修正を可能とした。そして、シミュレーション結果が観測データと一致するようにパラメータを調整することで、事後分布 $p(\mathbf{x}|\mathbf{y}^{obs})$ を求めた。このプロセスを通じて、観測データを最大限活用しながら、モデルの精度を向上させることを目指した。

最尤推定法は、観測データとシミュレーション結果の誤差を最小化することで、最適なモデルパラメータを推定する手法である。本研究では、最尤推定法とアンサンブル変分法（EnVar）を組み合わせ、最適なパラメータ推定を行った [5, 6]。まず、データ同化のプロセスでは、以下のコスト関数 $J(\mathbf{x})$ を最小化することで、観測データに適合するパラメータ推定を行った。

$$J(\mathbf{x}) = \frac{1}{2}(\mathbf{x} - \mathbf{x}')^T \mathbf{B}^{-1'}(\mathbf{x} - \mathbf{x}') + \frac{1}{2}(\mathbf{H}\mathbf{M}(\mathbf{x}) - \mathbf{y}^{obs})^T \mathbf{R}^{-1}(\mathbf{H}\mathbf{M}(\mathbf{x}) - \mathbf{y}^{obs})$$

このコスト関数には、事前情報に基づく背景誤差と、観測データとシミュレーション結果の差異を示す観測誤差の二つの項が含まれる。アンサンブル変分法では、複数のパラメータセット（アンサンブルメンバー）を導入し、確率的な手法でパラメータ推定を行う。各アンサンブルメンバーは以下のように定義される、

$$\mathbf{x}_i = \bar{\mathbf{x}} + \mathbf{X}\boldsymbol{\omega}_i$$

ここで、 $\bar{\mathbf{x}}$ はアンサンブルメンバーの平均、 $\mathbf{X}$ は各メンバーの偏差行列、 $\boldsymbol{\omega}_i$ はメンバーごとの重みを示す。背景誤差共分散行列 $\mathbf{B}$ は以下のように近似される、

$$\mathbf{B} \approx \mathbf{X}^T \mathbf{X}$$

最適化の過程では、最急降下法を用いて重みベクトルを更新し、コスト関数を最小化する、

$$\boldsymbol{\omega}_{j+1} = \boldsymbol{\omega}_j - \alpha \nabla J(\boldsymbol{\omega}_j)$$

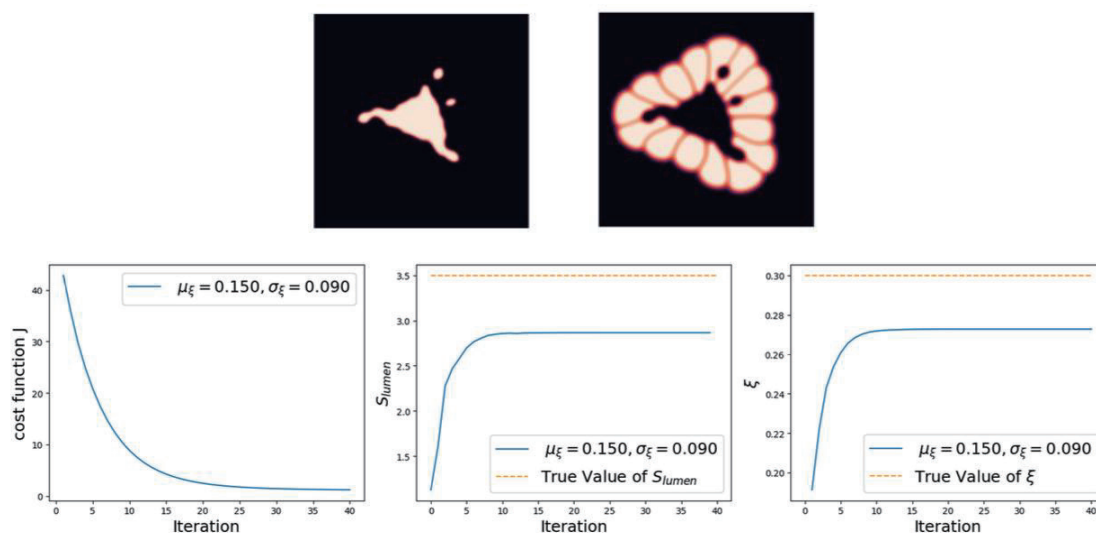
コスト関数の勾配は次式で表される。

$$\nabla J(\boldsymbol{\omega}) = \boldsymbol{\omega} + (\mathbf{H}\mathbf{M}\mathbf{X})^T \mathbf{R}^{-1}(\mathbf{H}\mathbf{M}(\bar{\mathbf{x}} + \mathbf{X}\boldsymbol{\omega}) - \mathbf{y}^{obs})$$

結果

本研究では、内腔圧の真値が既知である場合において、アンサンブル変分法を適用し、推定されたパラメータが適切な値に収束するかを検証した。その結果、推論された内腔圧の値は真値に対して誤差 10%の精度で収束しており、データ同化手法が適切に機能していることが確認された（図 2 a）。また、推定されたパラメータを用いたシミュレーションの最終的な内腔面積を観測データと比較したところ、誤差 20%の精度を示した。このアルゴリズムを 3 次元で検証したところ、推論値と真値との誤差は-17%の精度で収束することが確認できた（図 2 b）。

(a)



(b)

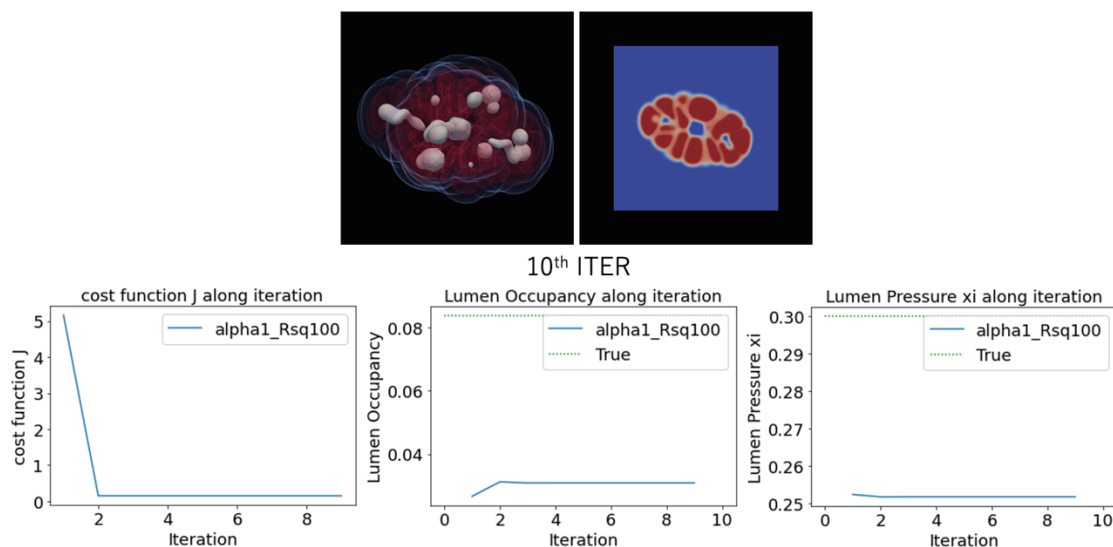


図2 データ同化におけるパラメーターの推移; (a) 2次元; (b) 3次元; (上段) データ同化で推論された内腔と細胞組織の秩序変数を色分けして表示; (下段) データ同化の計算ステップに対して、左から順に、コスト関数 $J(x)$ 、特徴量（内腔の面積，または内腔占有率）、モデルパラメータ（内腔圧 ξ ）を示す。

加えて、同化プロセスにおいてアンサンブル平均や標準偏差がデータ同化の収束性に依存することが明らかになった。実際に、これらのパラメータの初期値が真値から大きく乖離し、かつアンサンブルのばらつきが過度に大きい場合には、コスト関数の収束が遅くなる傾向が見られた。このことから、適切な初期値の設定およびアンサンブルの選択が、データ同化の成功に重要な要素であることが明らかになった。

結論

本研究では、多細胞集合体の3次元フェーズフィールドモデルを構築し、内腔圧力と細胞分裂周期の変化に伴う形態形成のシミュレーションを実施した。その結果、多細胞集合体における管腔構造の形成が、内腔圧および細胞周期により制御されることを明らかにした。また、特定の内腔圧を閾値として、凝集構造から管腔構造へと形態が転移する現象が確認された。

さらに、データ同化手法（アンサンブル変分法）を導入し、実験観察データを数値シミュレーションに適用する手法を構築した。本手法の推定精度は多少の誤差を示すものの、2次元および3次元のフェーズフィールドモデルにおいてデータ同化によるパラメータ推定が可能であることを示唆した。また、データ同化を収束させるためにアンサンブル平均や標準偏差を適切に設定することが重要であることが明らかになった。

本研究の成果は、がんオルガノイドの形態解析における数理モデルの適用可能性を示すものであり、今後のがん研究への応用展開が期待される。

謝辞

本研究は、東北大学サイバーサイエンスセンターのスーパーコンピュータを利用することで実現することができました。また、研究にあたっては同センター関係各位に有益なご指導とご協力をいただきました。改めてここで感謝いたします。

参考文献

- [1] Kopper, O. *et al.* An organoid platform for ovarian cancer captures intra- and interpatient heterogeneity. *Nat. Med.* **25**, 838–849 (2019).
- [2] Fiore, V. F. *et al.* Mechanics of a multilayer epithelium instruct tumour architecture and function. *Nature* **585**, 433–439 (2020).
- [3] Nonomura, M. Study on multicellular systems using a phase field model. *PLoS One* **7**, e33501 (2012).
- [4] Akiyama, M., Nonomura, M., Tero, A. & Kobayashi, R. Numerical study on spindle positioning using phase field method. *Phys. Biol.* **16**, 016005 (2018).
- [5] Ishii, A., Yamanaka, A., Miyoshi, E., Okada, Y. & Yamamoto, A. Estimation of solid-state sintering and material parameters using phase-field modeling and ensemble four-dimensional variational method. *Modell. Simul. Mater. Sci. Eng.* **29**, 065012 (2021).
- [6] Sueki, S., Ishii, A., Coppieters, S. & Yamanaka, A. Inverse characterization of a material model using an ensemble-based four-dimensional variational method. *Int. J. Solids Struct.* **279**, 112350 (2023).

[共同研究成果]

日本領域長期再解析 (RRJ-Conv) の長期データ整備と関連する研究開発： 線状降水帯の統計的研究

島村優作、伊藤純至、小原涼太、山崎剛（東北大学理学研究科）
福井真、廣川康隆（気象研究所）

本研究グループでは日本領域長期再解析 RRJ-Conv を実施し、1958 年～2023 年の期間について日本付近を対象とした高解像度の大気場のデータセットを作成した。本稿では、RRJ-Conv において計算された線状降水帯の特徴について、過去 45 年分のデータを用いた解析結果を示す。

1. はじめに

線状降水帯は、次々と発生する発達した雨雲（積乱雲）が列をなした、組織化した積乱雲群によって、数時間にわたってほぼ同じ場所を通過または停滞することで作り出される、線状に伸びる長さ 50～300 km 程度、幅 20～50 km 程度の強い降水をともなう雨域[1]である。浸水害や土砂災害により大きな被害をもたらすことから関心が高まっている一方で、正確な予測が難しい現象として研究が進められている。

東北大学と気象研究所の共同研究により、日本域を対象として水平格子間隔 5 km で計算する領域再解析のデータセット（RRJ-Conv）[2, 3]が作成された。RRJ-Conv は従来型データのみを同化することによって長期間にわたるデータ品質の一貫性を維持しつつ、全球再解析では解像できないメソスケールの極端気象の再現が期待される。

本研究では、RRJ-Conv の長期データに基づいて線状降水帯を抽出し、その出現頻度分布や RRJ-Conv による再現精度、線状降水帯の発生環境場に関する統計解析を実施した。本報告の内容の一部は、日本気象学会の学術誌に掲載された[4]。

2. 使用データ・線状降水帯抽出手法

線状降水帯の抽出と発生環境場の解析に、RRJ-Conv のグリッド値（水平格子間隔 5 km、時間間隔 1 時間）を用いた。対象期間は 1976 年～2020 年の 45 年間である。

線状降水帯の抽出には、積算降水量に基づく客観的な抽出手法[5, 6, 7]を適用した。最大値 100 mm 以上を含む 3 時間降水量 80 mm 以上の連続した領域（強雨域候補）を 1 時間ごとに抽出し、連続する時間で同じ位置に生じる強雨域候補を同一事例（強雨域）として集約した。次に、継続時間が 5 時間以上、面積が 625～12500 km²、集約された 1 つ以上の強雨域候補の長軸短軸比が 2.5 以上である強雨域を抽出した。その中から台風や非停滞性のメソ対流系に伴う強雨域を除外して線状降水帯とした。

3. 結果

3.1 RRJ-Conv における線状降水帯の出現頻度

RRJ-Conv において、1976 年～2020 年の期間に 6760 事例の線状降水帯が抽出された（図 1）。日本では南西諸島、九州、四国太平洋側、紀伊半島で出現頻度が高く、観測データ（解析雨量[8]）から抽出された線状降水帯の分布[5]と概ね一致している。また、日本の周辺地域では、朝鮮半島や中国東部、台湾で多く出現しているほか、東シナ海や太平洋など海上の広い範囲で出現することが確認された。

図 2 に RRJ-Conv から抽出された線状降水帯の年別頻度を示す。RRJ-Conv において線状降水帯

は年間で平均約 150 事例出現しており、±50 事例程度の年々変動がみられる。長期変化傾向としては、10 年間で約 7.7 事例の増加傾向が見られる。t 検定を行うことで、この増加傾向は信頼水準 95%以上で統計的に有意であることが確かめられた。長期変化傾向に基づいて 1976 年と 2020 年を比較すると、線状降水帯の出現頻度は 45 年間で 1.25 倍に増加した。

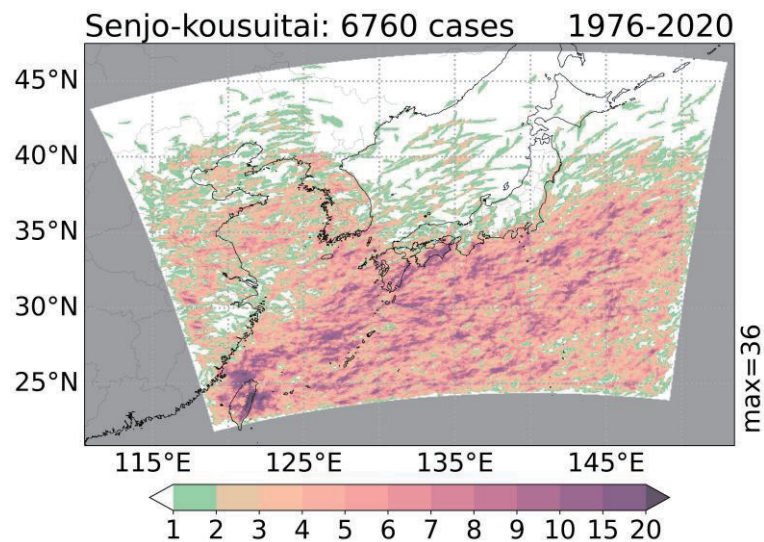


図1 1976 年～2020 年に RRJ-Conv から抽出された線状降水帯の分布。

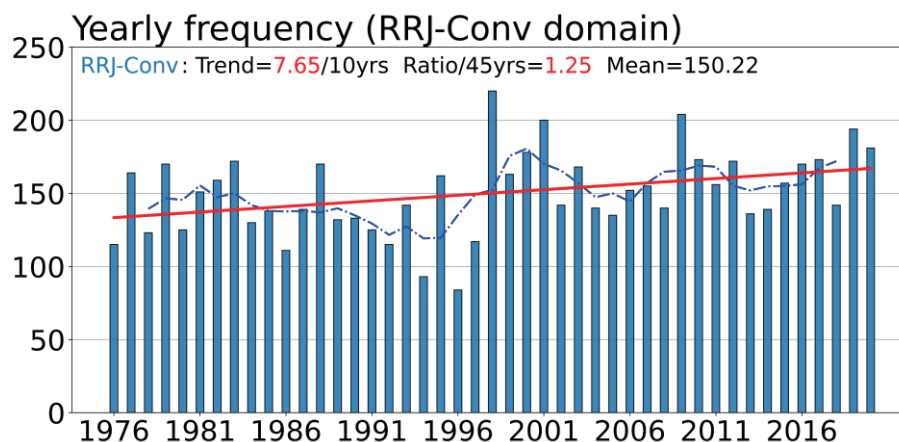


図2 線状降水帯の年別出現頻度。青破線は 5 年移動平均、赤実線は長期変化傾向を示す。

3.2 RRJ-Conv による線状降水帯の再現精度

RRJ-Conv による線状降水帯の再現精度を検証するため、2009 年～2020 年の期間に日本で解析雨量から抽出された線状降水帯[7]と、同期間・領域で RRJ-Conv から抽出された線状降水帯の一致事例の調査を行った。一致の条件は以下のとおりである。

1. 解析雨量における線状降水帯の発生期間から前後 5 時間延長した期間に、RRJ-Conv における線状降水帯の発生期間が重複。
2. 解析雨量と RRJ-Conv における線状降水帯の最大 3 時間降水量地点のずれが 300 km 以内。

2009 年～2020 年の日本において、解析雨量から 384 事例の線状降水帯が抽出されており、このうち 94 事例は RRJ-Conv で再現されていた (図 3a)。また、RRJ-Conv では同期間・領域で 228 事例が抽出されており、このうちの 87 事例が解析雨量における線状降水帯と一致した (図 3b)。過去日本で発生した顕著な線状降水帯事例のうち、令和 2 年 7 月豪雨において 7 月 3～4 日に九州地

方で発生した事例（図 3c, d）や、平成 27 年 9 月関東・東北豪雨において 9 月 10～11 日に東北地方で発生した事例等に対応する線状降水帯が、RRJ-Conv において出現していることが確かめられた。一方で RRJ-Conv では再現されない事例もみられ、線状降水帯等メソスケール現象の計算には改善の余地があると考えられる。

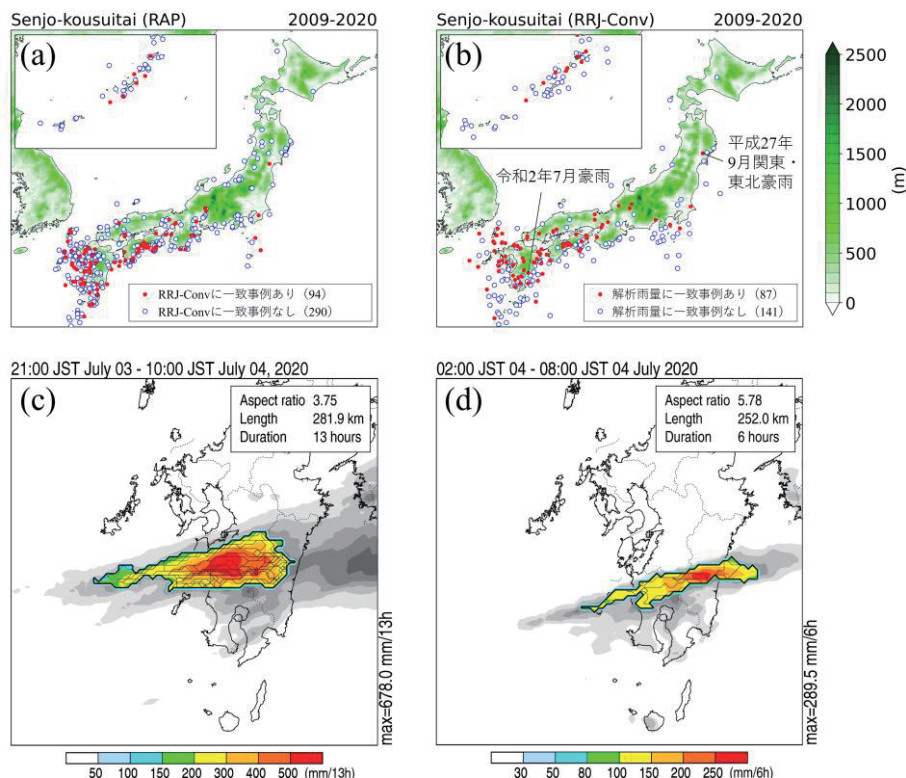


図 3 2009 年～2020 年に日本で (a) 解析雨量、(b) RRJ-Conv から抽出された線状降水帯の最大 3 時間降水量地点。赤点は一致事例、白点は一致しない事例を示す。(c) 解析雨量において 2020 年 7 月 3 日～4 日に九州で抽出された線状降水帯、(d) (c) に対応する RRJ-Conv における線状降水帯。

3.3 線状降水帯と環境風の関係

従来の統計解析で活用されてきたラジオゾンデ等の高層観測に比べ、時空間解像度の高い RRJ-Conv の 4 次元データを活用した、多数の線状降水帯における発生環境場の統計解析が可能である。本稿では、その発生環境場のうち環境風の特徴について述べる。

線状降水帯発生時の環境風は、線状降水帯を覆う矩形領域内の平均風として計算し、線状降水帯の走向（長軸の方向）との関係を調査した。

図 4 に、RRJ-Conv から抽出された線状降水帯の発生 3 時間後の様々な気圧面（200、400、600、800、950 hPa）における風向と線状降水帯の走向の関係を示す。対流圏下層 950 hPa では線状降水帯発生時の風向は東～南～西の範囲で事例ごとに大きく異なり、走向との相関は弱い（相関係数 0.10）。風向と走向の相関は中層 600 hPa で最も強く（相関係数 0.63）、600 hPa の風向に対して線状降水帯の走向は平均して 8.23° 時計回りにずれている。風向は上空に向かって順転しており、環境風が地衡風であると仮定すると、線状降水帯発生時は暖気移流場であることが示唆される。なお、解析雨量における線状降水帯との一致が確認された事例に限定した場合も同様の関係がみられ、RRJ-Conv において線状降水帯の走向と風向に関する統計的性質は捉えられていると考えられる。

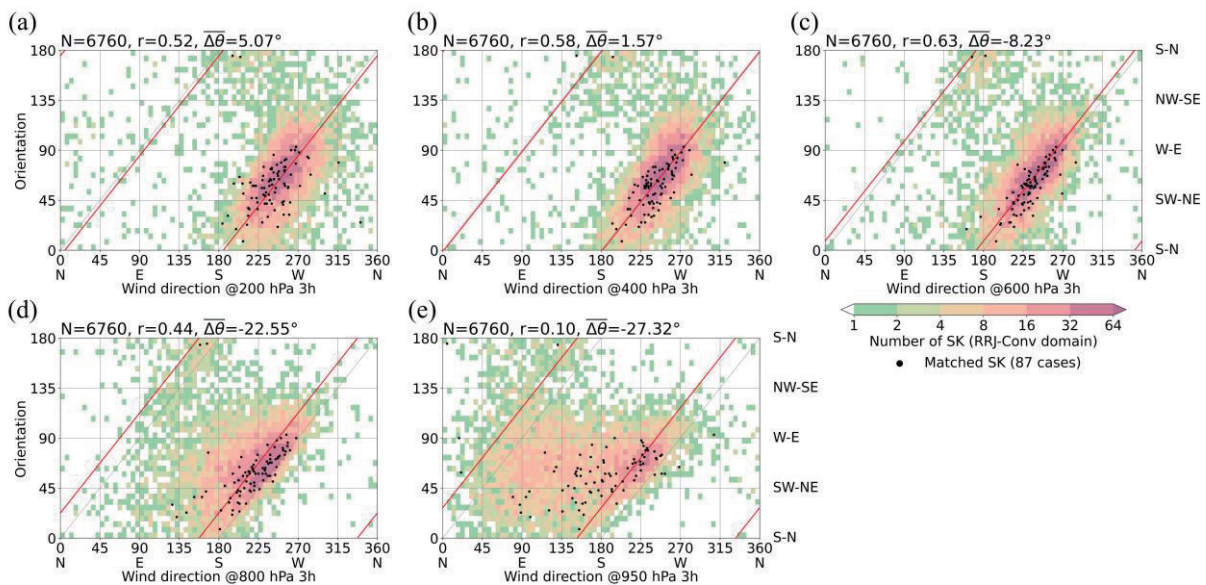


図4 RRJ-Conv から抽出された線状降水帯の走向と発生3時間後の (a) 200 hPa、(b) 400 hPa、(c) 600 hPa、(d) 800 hPa、(e) 950 hPa の風向の関係 (カラー)。各図上部に走向と風向の相関係数 (r)、走向と風向の差の平均 ($\Delta\theta$) を示す。黒点は解析雨量における線状降水帯と一致した、RRJ-Conv における線状降水帯の走向と風向の関係を示す。

謝辞

本研究は、東北大学サイバーサイエンスセンターの共同研究「日本領域長期再解析 (RRJ-Conv.) の長期データ整備と関連する研究開発」により、同センターのスーパーコンピュータを利用し、関係各位にご指導とご協力をいただいた。また、東北大学と気象庁気象研究所の共同研究の一環として行った。JST 共創の場形成支援プログラム JPMJPF2013 の支援を受けた。

参考文献

- [1] Kato, T., Quasi-stationary band-shaped precipitation systems, named “senjo-kousuitai”, causing localized heavy rainfall in Japan. *J. Meteor. Soc. Japan*, **98**, 485–509, 2020.
- [2] Fukui, S., T. Iwasaki, K. Saito, H. Seko, and M. Kunii, A feasibility study on the high-resolution regional reanalysis over Japan assimilating only conventional observations as an alternative to the dynamical downscaling. *J. Meteor. Soc. Japan*, **96**, 565–585, 2018.
- [3] Fukui, S., E. Shirakawa, D. Soga, R. Ohara, K. Usui, K. Takiguchi, K. Ono, T. Hirose, S. Matsushima, J. Ito, T. Yamazaki, K. Saito, H. Seko, and T. Iwasaki, Long-term regional reanalysis for Japan with assimilating conventional observations (RRJ-Conv). *J. Meteor. Soc. Japan*, **102**, 677–696, 2024.
- [4] Shimamura, Y., J. Ito, S. Fukui, and Y. Hirockawa, A statistical study on Senjo-Kousuitai in a regional reanalysis for Japan (RRJ-Conv). *SOLA*, **21A**, 20–27, 2025.
- [5] Hirockawa, Y., T. Kato, H. Tsuguti, and N. Seino, Identification and classification of heavy rainfall areas and their characteristic features in Japan. *J. Meteor. Soc. Japan*, **98**, 835–857, 2020.
- [6] Hirockawa, Y., T. Kato, K. Araki, and W. Mashiko, Characteristics of an extreme rainfall event in Kyushu district, southwestern Japan in early July 2020. *SOLA*, **16**, 265–270, 2020.
- [7] Hirockawa, Y., and T. Kato, Improvements of procedures for identifying and classifying heavy rainfall areas of linear-stationary type. *SOLA*, **18**, 167–172, 2022.
- [8] Nagata, K., Quantitative precipitation estimation and quantitative precipitation forecasting by the Japan Meteorological Agency. *RSMC Tokyo Typhoon Center Technical Review*, No. 13, 37–50, 2011, <https://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/jma-center/rsmc-hp-pub-eg/techrev/text13-2.pdf>.

[共同研究成果]

窒化物半導体におけるキャリアのドーパント準位への無輻射緩和過程の 解明

— TDDFT による自発緩和シミュレーション —

屋山 巴¹、宮本 良之²

1 工学院大学、2 産業技術総合研究所

半導体中における不純物（微量な異種元素）はドーパントとして機能したり、キャリア散乱体としてデバイスの効率を低下させたりするなど、デバイスにとって有益にも不利益にもなる様々な影響を及ぼす。本研究では、光デバイスやパワーデバイス材料として期待される窒化ガリウム (GaN) に着目し、GaN におけるありふれた不純物である炭素による置換型欠陥によって生じるホールの状態が時間に依存して変化する様子を、時間依存密度汎関数理論 (TDDFT) に基づく第一原理計算の下で解析した。炭素置換によって生じたホールの励起状態を初期状態とし、TDDFT および第一原理分子動力学を連成させて時間発展的に電子状態を計算したところ、約 360fs というごく短時間で基底状態に遷移した。このことは、炭素置換によって生じたホールが励起状態を維持することができないことを示しており、炭素ドーブでは GaN を p 型化できない実験結果とも整合する。

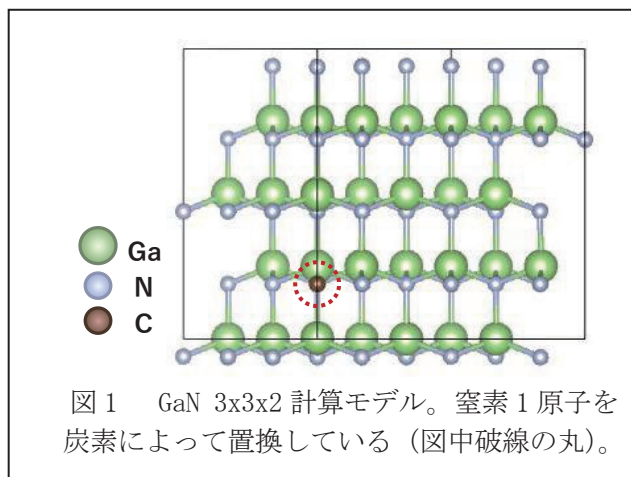
1. 背景

窒化ガリウム (GaN) はワイドバンドギャップ半導体であることから、短波長域の光源や、太陽光発電素子材料として有力であるだけでなく、パワーデバイス材料としても広く期待されている。しかし、p 型化技術が十分に確立されていないことが GaN の実用化拡大の課題となっている。理論的には V 族元素である窒素を IV 族元素である炭素 (C) によって置換することで GaN にホールを導入することが可能であるはずであり、例えば、GaN と同じ III-V 族半導体であるガリウムヒ素では炭素ドーブによる p 型化が実際に行われている。しかし、GaN においては C を導入することによる p 型化は実現されていない。現時点で GaN を p 型化できるドーパントはマグネシウムのみである。ここで、ドーパントは少数キャリアを生じるために人為的に導入されるものである一方で、置換型、あるいは格子間欠陥となり、キャリアの散乱体として量子効率を低下させる要因ともなる。このような半導体中の微量な異種元素が単なる不純物欠陥となるか、ドーパントとして機能するかは、これらの異種元素によって生じる電子状態と、そこでのキャリアダイナミクスの理解によって明らかとなる。本研究グループでは、このように時間に依存する電子状態変化をあらわに考慮するために、時間依存密度汎関数理論 (TDDFT) を用いて電子状態の解析を行っている。本報告では、窒素原子を炭素置換した GaN についての結果を報告する。炭素は有機金属気相成長法による GaN 成長の原料に含まれることから GaN におけるありふれた不純物であり、かつ先述のように p 型化に寄与しないことから、その要因を明らかにすることにより、GaN の p 型化の要件解明の一端となると考えられる。

2. 計算手法とモデル

GaN ユニットセルはウルツ鉱構造をもつ結晶であり、Ga, N 原子をそれぞれ 2 原子ずつ含む。ユニットセルをあらかじめ通常の DFT 計算の下で構造最適化し、格子定数は $a=b=3.249\text{\AA}$,

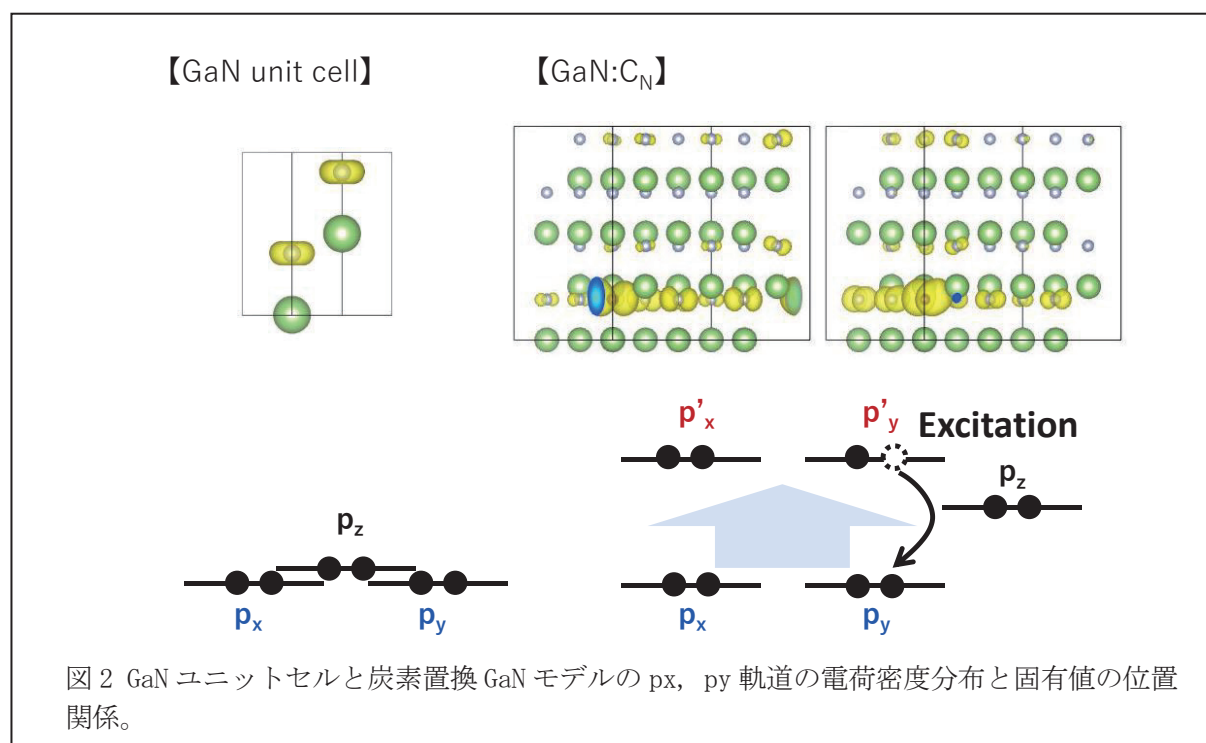
$c=5.283\text{\AA}$ と求められた。図 1 に示す GaN ユニットセルを $3\times 3\times 2$ 倍したスーパーセルについて、窒素原子 1 つを炭素原子に置き換えた 72 原子置換モデルを用いて、TDDFT により約 580 フェムト秒のダイナミクスを計算した。格子の初期温度を 750K として乱数により各原子に初速度を与え、実時間の TDDFT 計算と分子動力学計算を同時に実行した。TDDFT の計算には、FPSEID²¹ を用いた [1, 2]。カットオフエネルギーは 62Ry とし、 Γ 点 1 点計算を行った。ノルム保存型擬ポテンシャルを用いて、Ga の 3d 軌道の電子はコアとして扱った。



TDDFT により、電子の波動関数の時間発展を格子振動と連成して数値計算する際に、電子の波動関数に対して時間依存 Kohn-Sham 方程式を数値的に解く必要がある。このことにより電子格子相互作用を低次の摂動近似で扱う従来法よりも高い精度で取り扱うことができ、軽元素を含み極性のある化合物半導体にて有意にシミュレーションを行えると期待している。この際に、各波動関数の時間発展を並列計算するが、Suzuki-Trotter 分解法の採用により波動関数の規格直交関係は自動的に維持されるので、並列計算の際にプロセッサ間の波動関数のデータ通信は必要なくなる。一方で、計算結果の高精度を維持するために時間依存 Kohn-Sham 方程式に含まれる空間微分の項(電子の運動エネルギー演算子)を Fourier 変換にて計算する箇所と、Suzuki-Trotter 分解された Hamiltonian のうち非局所擬ポテンシャルを波動関数に演算する箇所は、メモリの非局所的なアクセスが頻繁に発生するのであるが、AOBA-S のベクトルコアによる演算により大幅に加速することができた。

3. 結果と考察

図 2 に、完全な GaN 結晶(左)および、今回考察した窒素原子を炭素置換した GaN モデル(右)に



おける価電子帯端近傍の固有値の位置関係と、注目する電子状態の電荷密度分布を示した。まず、完全結晶の GaN では、 Γ 点上に価電子帯端があり、その近傍の状態は窒素の p 軌道に由来している。GaN は z 軸周りに 3 重回転対称性を有するため、px, py 軌道は縮退しており、pz 軌道に由来する準位のエネルギーはそれらよりわずかに高く、単独で VBM (valence band maximum) となっている。これに対し、炭素置換 GaN では、価電子帯端近傍のバンドギャップ中に、px, py 軌道に似た状態が生じることがわかった。これは、炭素置換によりバンド端近傍の px, py 軌道由来の準位の縮退が解けて生じたアクセプタ準位にほかならない。この準位は置換した炭素近傍の電荷密度が高いものの、全体に広がった結晶的な状態であることがわかる。今回の TDDFT 計算では、基底状態ではアクセプタ準位に存在するホール 1 つを、縮退が解ける前の px, py 状態に励起した状態を始状態に定めた。

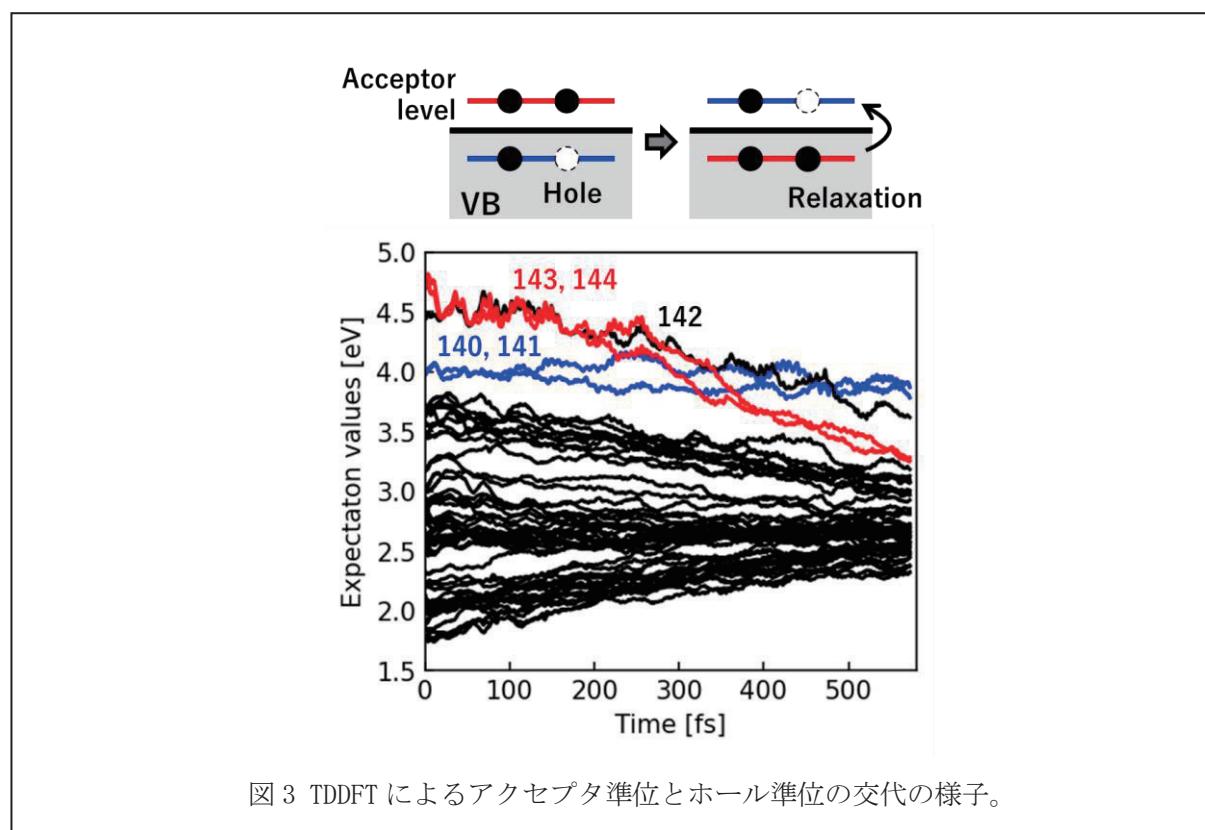


図 3 TDDFT によるアクセプタ準位とホール準位の交代の様子。

図 3 に、TDDFT による固有値の時間変化を示す。数字はバンドインデックスを表している。142 番は完全な GaN における VBM である pz 軌道に対応している。その直下の 140, 141 番の準位はそれぞれ縮退した px, py 軌道に対応している。一方、143, 144 番の準位は、炭素置換によって生じたアクセプタ準位であり、先述の px, py 軌道に似た形状の電荷密度分布をもつ状態である。これらの状態は基底状態では縮退しており、1 つのホールを有している。計算の初期状態として、143, 144 番の準位にあったホールを縮退した 140 番、141 番に均等に割り当て、励起状態を生じさせた。ホールが存在するバンドを青で示し、完全に電子が占有している状態を赤で示している。固有値の時間発展をみると、200fs を過ぎたところから状態間の重なりが見られはじめ、360fs を過ぎると完全に状態の入れ替わりが生じていることがわかる。このことは、ドーパント自身によるキャリア捕獲の状況がシミュレーションにより再現されたことを示す。数百 fs で基底状態に遷移したことから、炭素置換によるアクセプタ準位がホールを保持することができないことを示しており、窒素原子の炭素置換は GaN の p 型化に寄与しない実験結果とも整合する。

今回の計算サイズではドーパント濃度が高い極限ではあるが、本研究における計算テクニックにより原子レベルのキャリアダイナミクスを追えることを実証できた。今後は、より大きな結晶モデルへの展開や、種々の欠陥種の下でのキャリアダイナミクスを検証していく予定である。

謝辞

本研究は、東北大学サイバーサイエンスセンターのスーパーコンピュータ AOBA-S を利用することで実現することができた。また、研究にあたっては同センター関係各位に有益なご指導とご協力をいただいた。

参考文献

- [1] O. Sugino and Y. Miyamoto, Phys. Rev. B, **59** (1999) 2579; Phys. Rev.B 66, 089901(E) (2002).
- [2] FPSEID²¹ official site (<https://staff.aist.go.jp/yoshi-miyamoto/>)

[大規模科学計算システム]

WEB ストレージサービス（Nextcloud）の利用方法

1 はじめに

本ドキュメントは、Nextcloud を利用した GUI による AOBA システムストレージ領域の利用者向け手順書となります。システムを利用するために必要な情報として、Nextcloud へのログイン方法やストレージへのアクセス方法などを記載します。

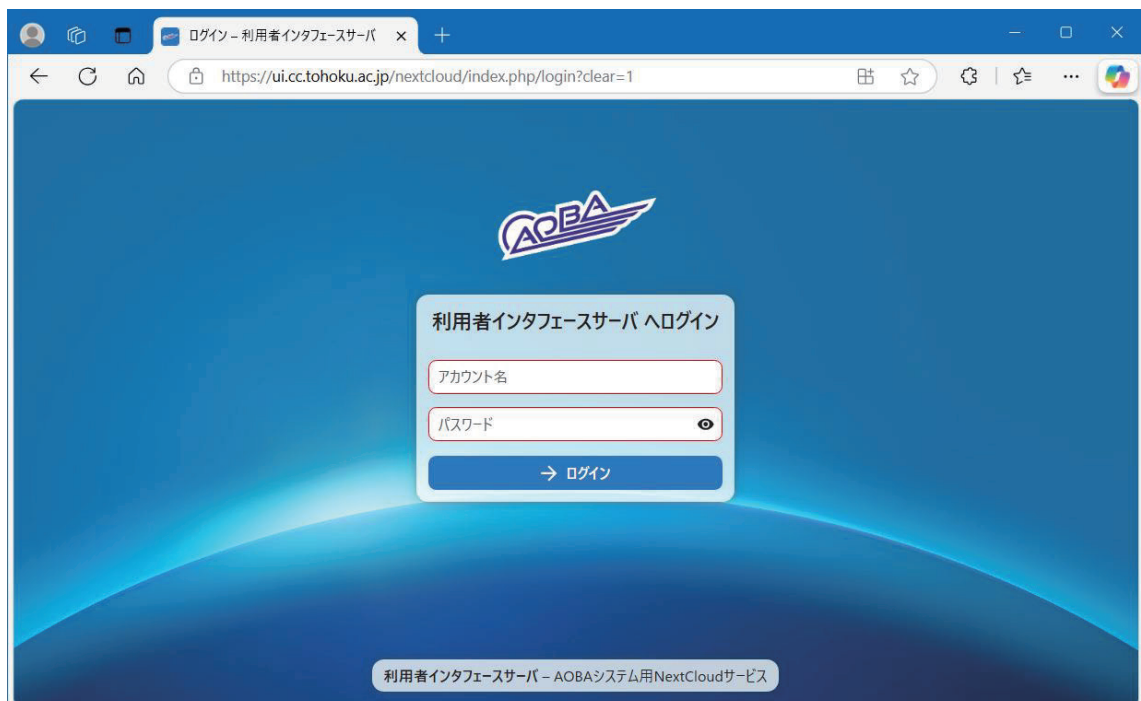
既定のストレージとして AOBA-S システムのユーザホーム領域「AOBA-S HOME」と AOBA-A/B システムのユーザホーム領域「AOBA-AB HOME」が利用可能です。Nextcloud サービスを利用するには、AOBA システムの利用者 ID を取得している必要があります。

2 Nextcloud ログイン方法

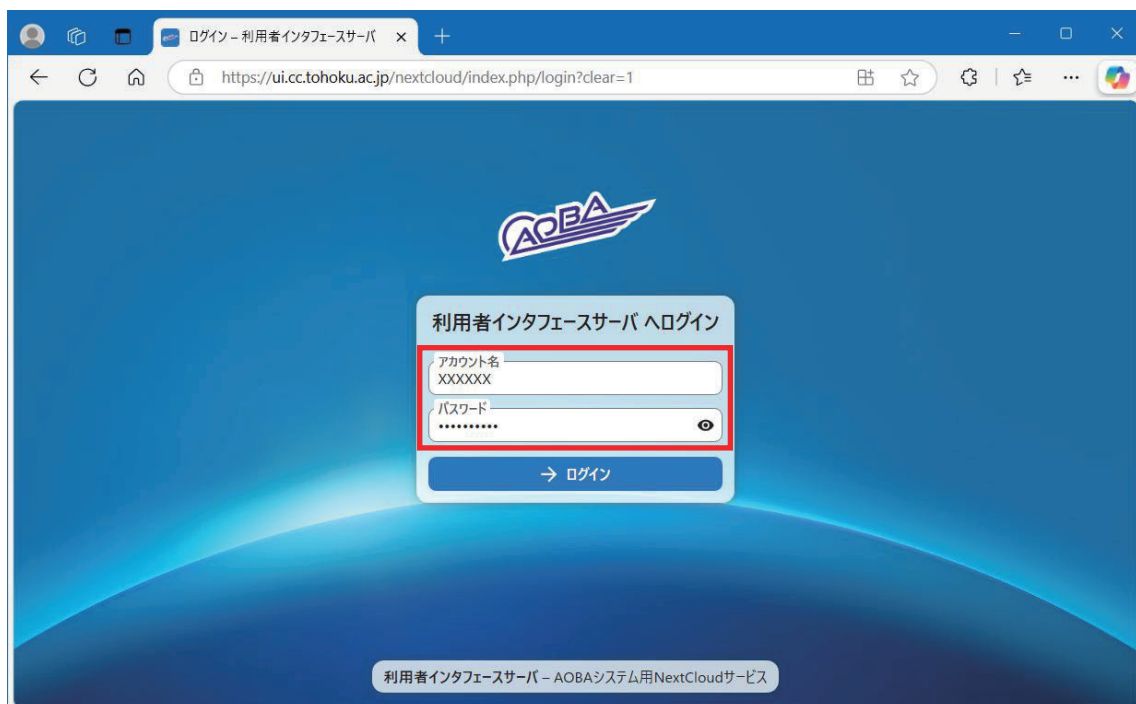
ウェブブラウザのアドレスバーに Nextcloud サービスの URL を入力し、エンターキーを押します。

Nextcloud サービス URL : **<https://ui.cc.tohoku.ac.jp/nextcloud>**

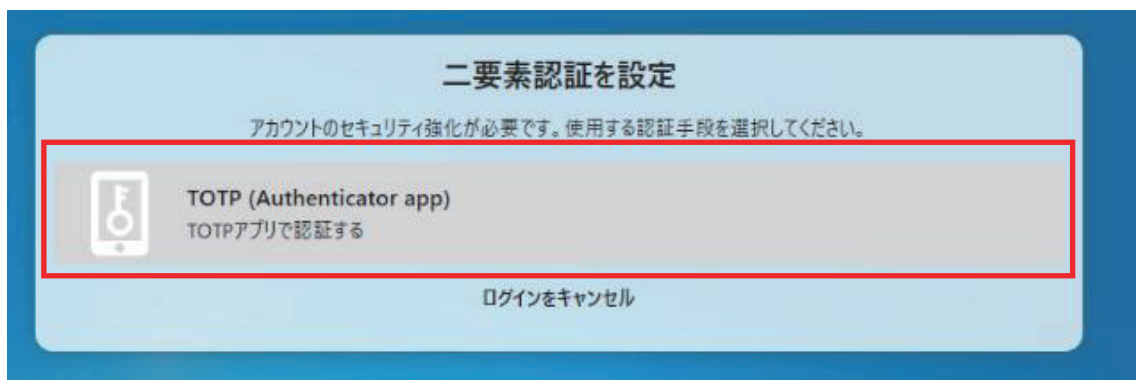
ログイン画面が表示されます。



AOBA の利用者 ID とパスワードを入力し、「ログイン」をクリックします。



初回ログイン時は二要素認証の設定を求められるので、「TOTP」をクリックし続行します。

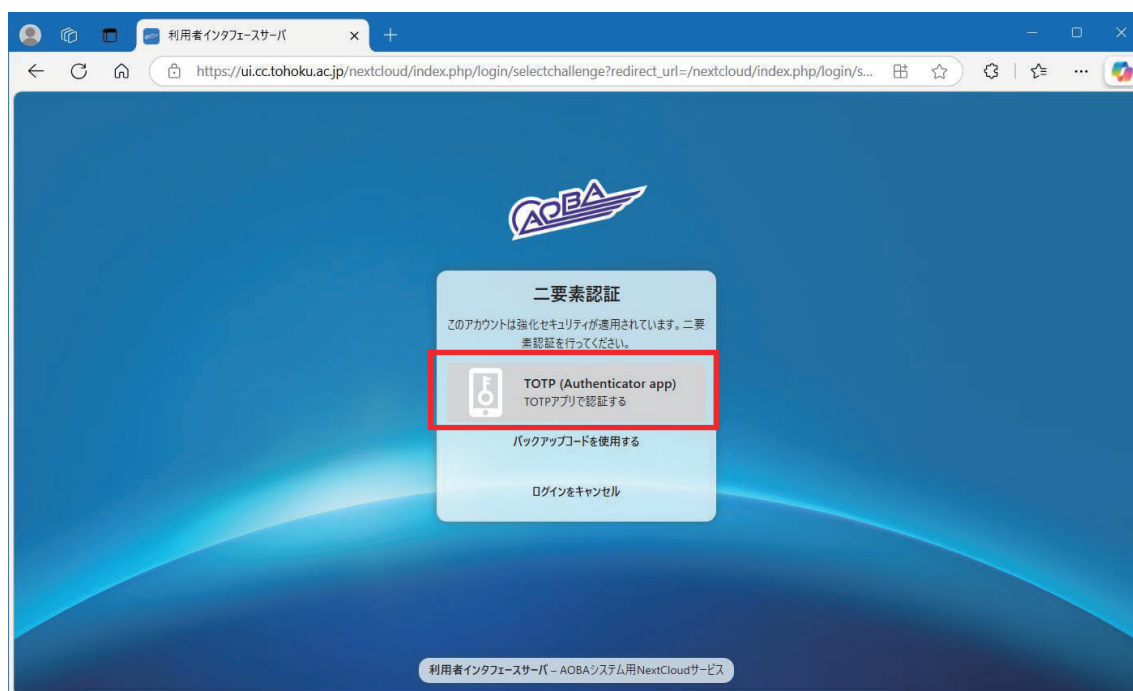


QRコードが表示されるので、認証アプリ(Google Authenticator 等)を使用して、QRコードをスキャンします。認証アプリの画面に表示された 6 桁の数字を認証コードとして入力し、「検証」をクリックします。



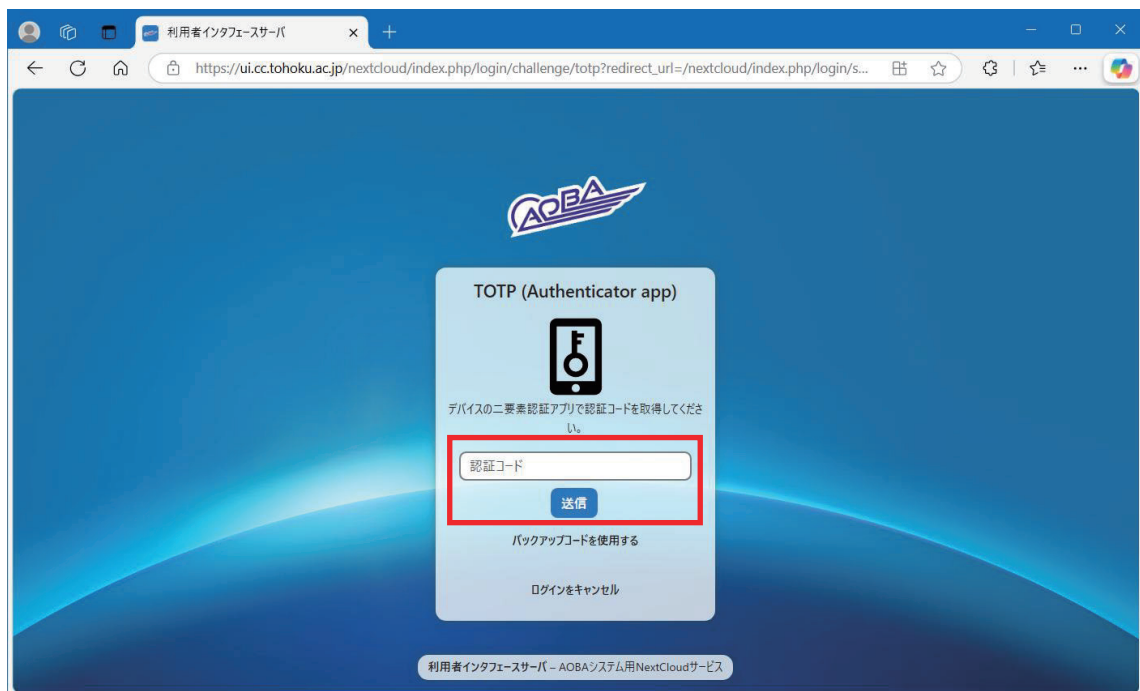
The image shows a web interface for setting up a TOTP (Authenticator app). The title is "TOTP (Authenticator app)". Below the title, it says "新しいTOTP秘密鍵は次のとおりです：" (The new TOTP secret key is as follows:). Then, it says "クイックセットアップでは、このQRコードをTOTPアプリでスキャンしてください：" (In quick setup, please scan this QR code with a TOTP app:). A QR code is displayed in the center. Below the QR code, it says "アプリを設定したら、以下のテストコードを入力してすべてが正しく動作することを確認します。" (After setting up the app, enter the following test code to confirm everything works correctly.). There is a text input field labeled "認証コード" (Authentication code) and a button labeled "検証" (Verify). Below these, there is a link "ログインをキャンセル" (Cancel login).

二要素認証を求められるので、TOTP をクリックします。



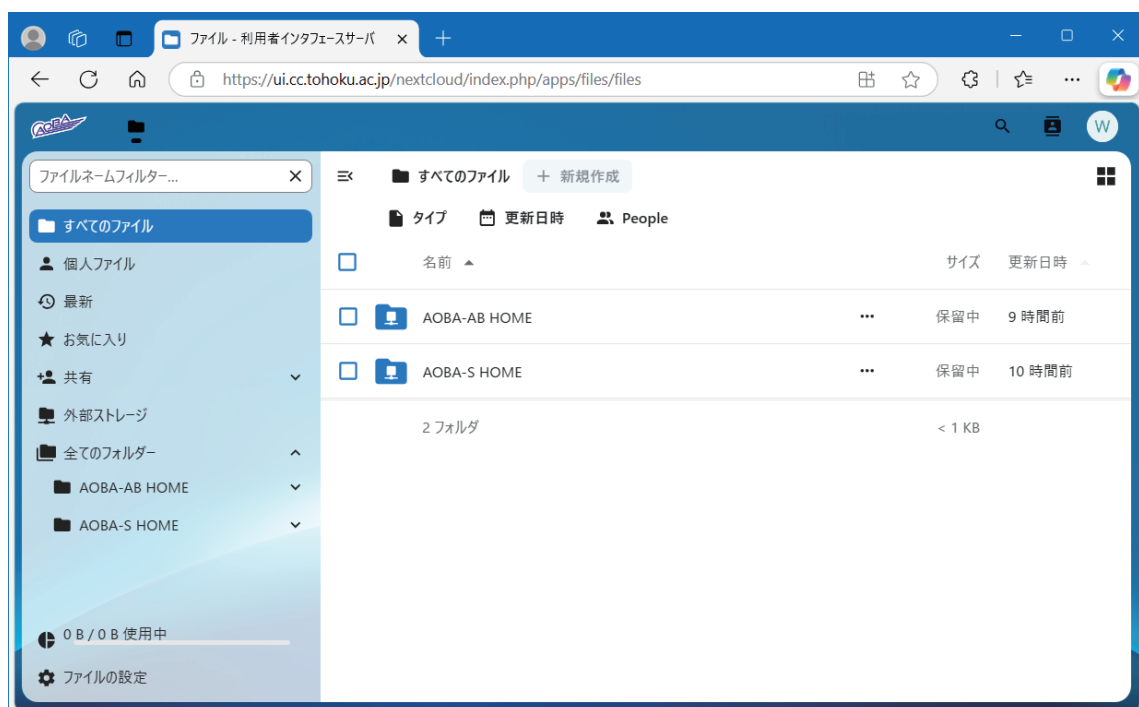
The image shows a web browser window displaying a two-factor authentication screen. The browser's address bar shows the URL "https://ui.cc.tohoku.ac.jp/nextcloud/index.php/login/selectchallenge?redirect_url=/nextcloud/index.php/login/s...". The page has a blue background with a white box in the center. The box has a title "二要素認証" (Two-factor authentication) and a message "このアカウントは強化セキュリティが適用されています。二要素認証を行ってください。" (This account has enhanced security applied. Please perform two-factor authentication.). There are three options: "TOTP (Authenticator app)" with a QR code icon, "TOTPアプリで認証する" (Authenticate with TOTP app), and "バックアップコードを使用する" (Use backup code). The "TOTP (Authenticator app)" option is highlighted with a red box. Below the options, there is a link "ログインをキャンセル" (Cancel login). At the bottom of the page, there is a footer "利用者インタフェースサーバ - AOBAシステム用NextCloudサービス" (User interface server - NextCloud service for AOBA system).

認証コードを入力し、「送信」をクリックします。



Nextcloud にログインすると、AOBA-S システムのユーザホーム領域「AOBA-S HOME」とAOBA-A/B システムのユーザホーム領域「AOBA-AB HOME」が表示されます。

AOBA システムをストレージとして利用する場合は、「AOBA-S HOME」の利用を推奨します。

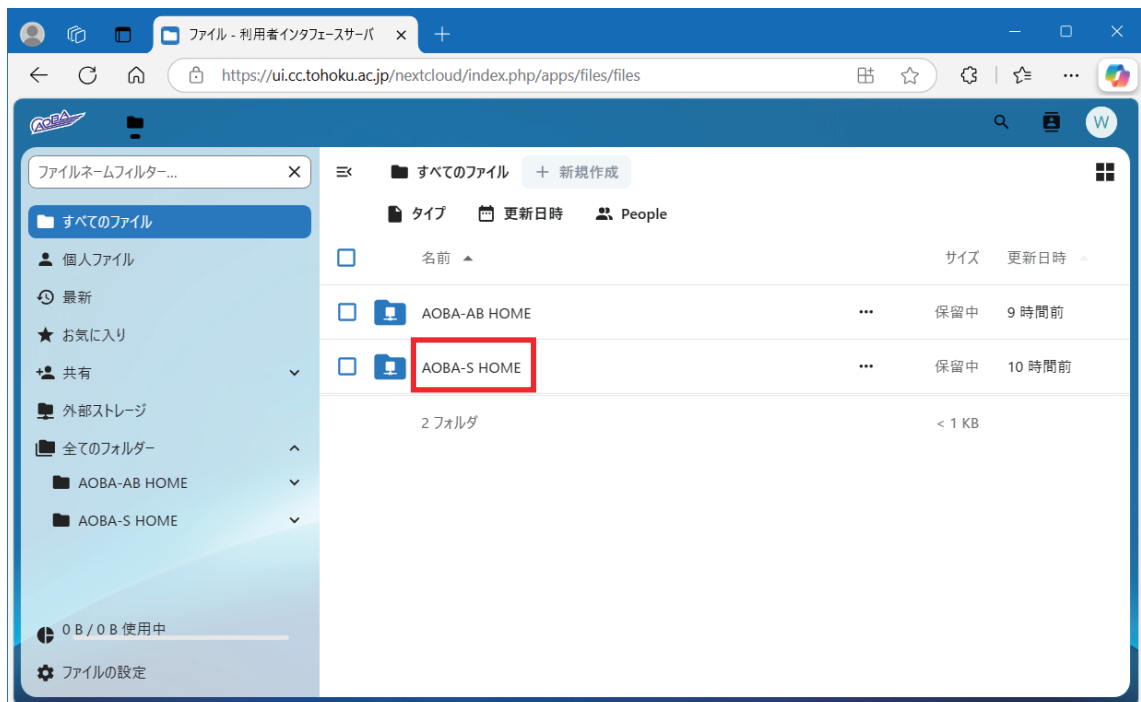


3 Nextcloud ファイル操作

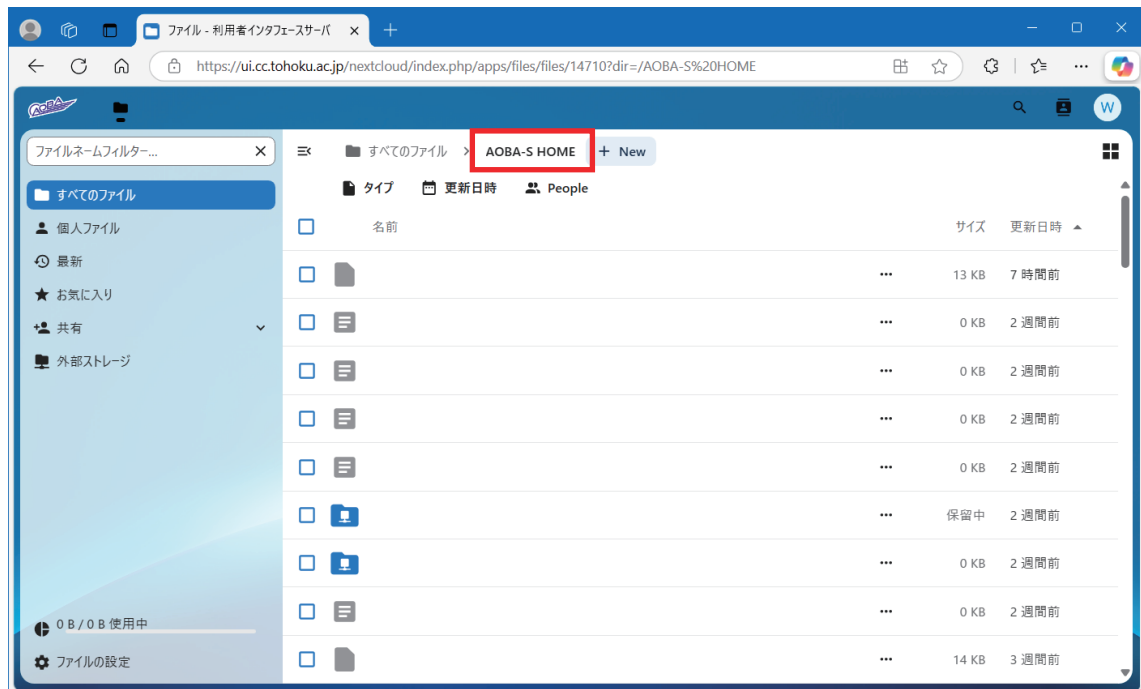
3.1 ダウンロード操作

AOBA-S での実行例

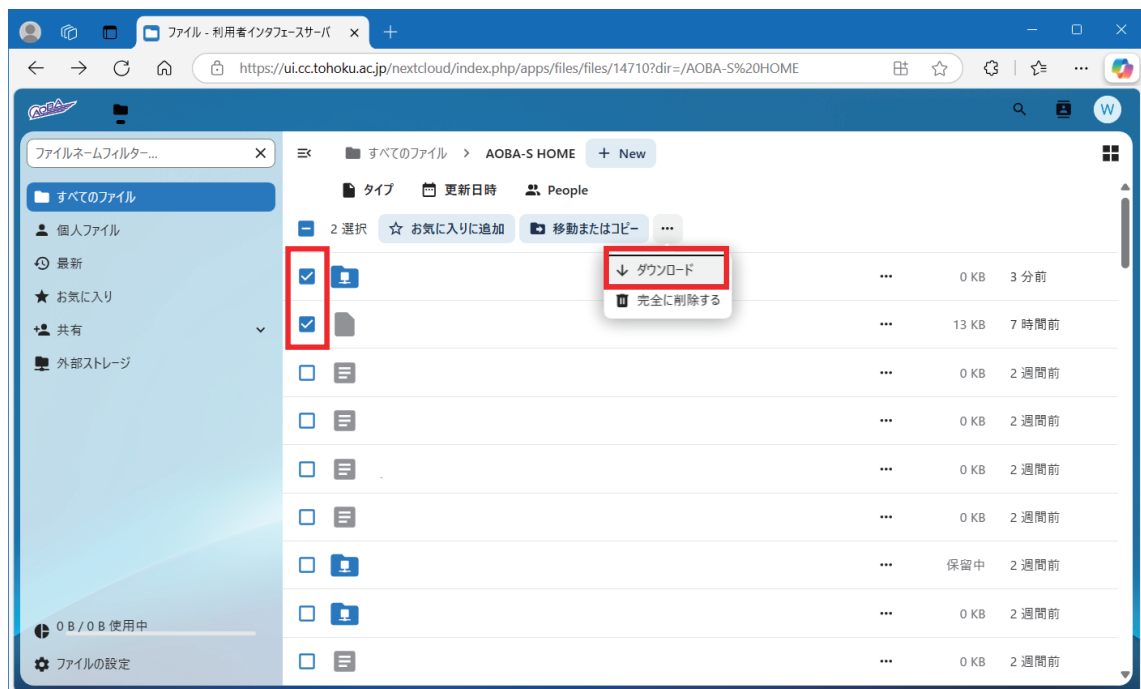
「AOBA-S HOME」をクリックするとログインアカウントの AOBA-S のホームディレクトリ配下が表示されます。



AOBA-S のホームディレクトリ配下



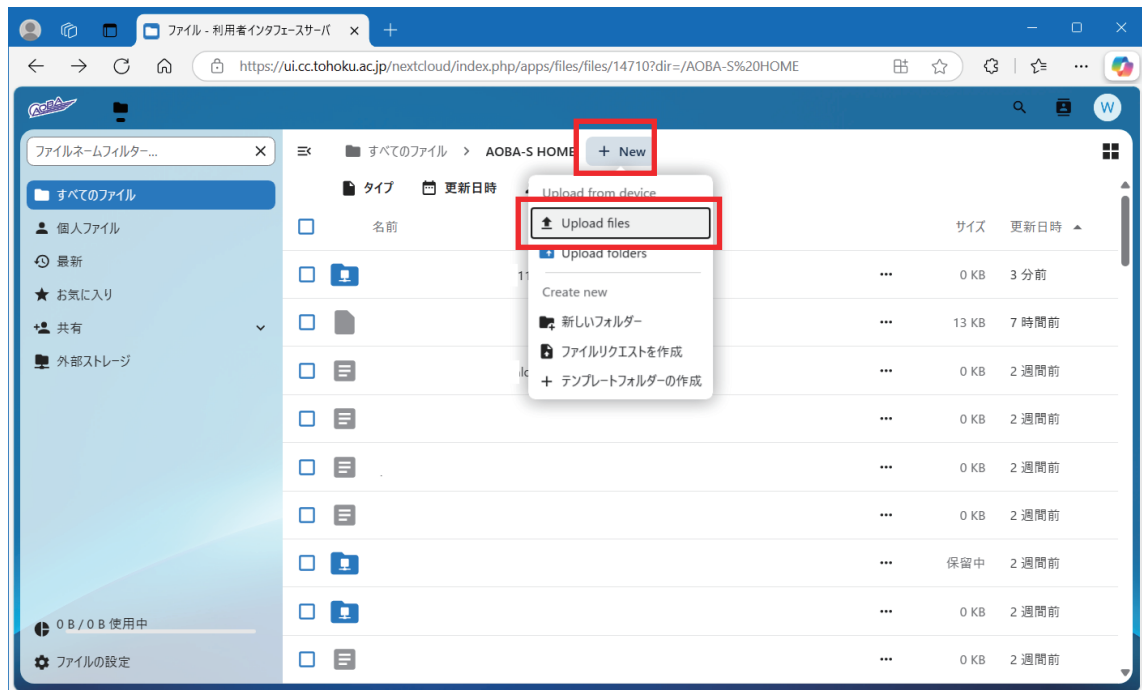
ダウンロードしたいファイルのチェックボックスにチェックを入れ、「ダウンロード」ボタンをクリックします。
ファイルが Windows にダウンロードされます



3.2 アップロード操作

上部の「+New」をクリックし、次に、「Upload files」をクリックします。

ダイアログボックスが開くので、Windows 上でアップロードするファイルを選択するとファイルがアップロードされます。

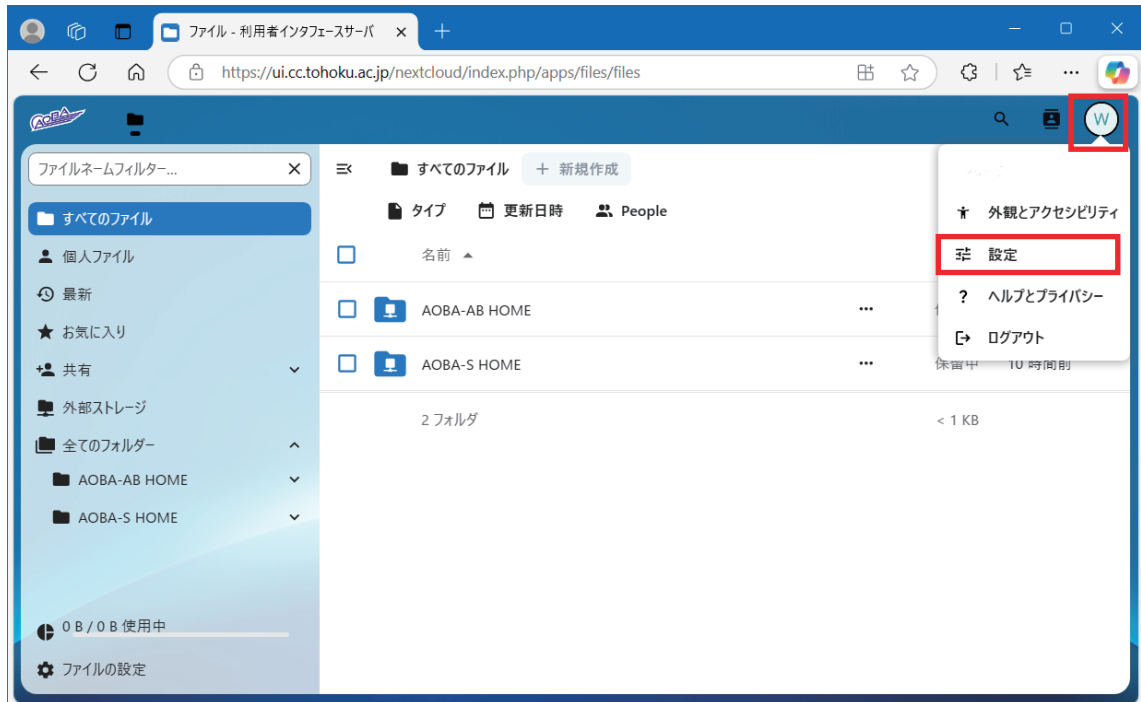


「AOBA-AB HOME」でも「AOBA-S HOME」と同様に操作可能です。

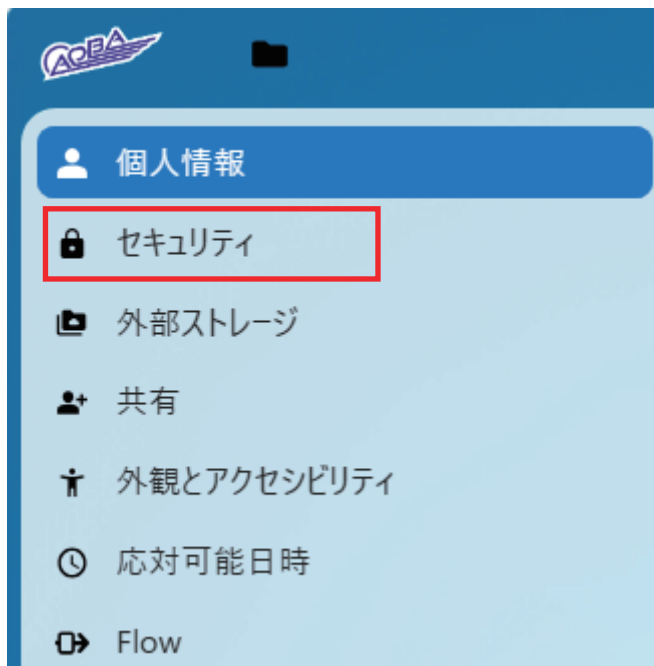
4 バックアップコードによるログイン方法

二要素認証ができなくなった場合に備え、バックアップコードを生成する仕組みを有します。

右上の丸いアイコンをクリックすると、ドロップダウンメニューが表示されるので、その中の「設定」をクリックします。



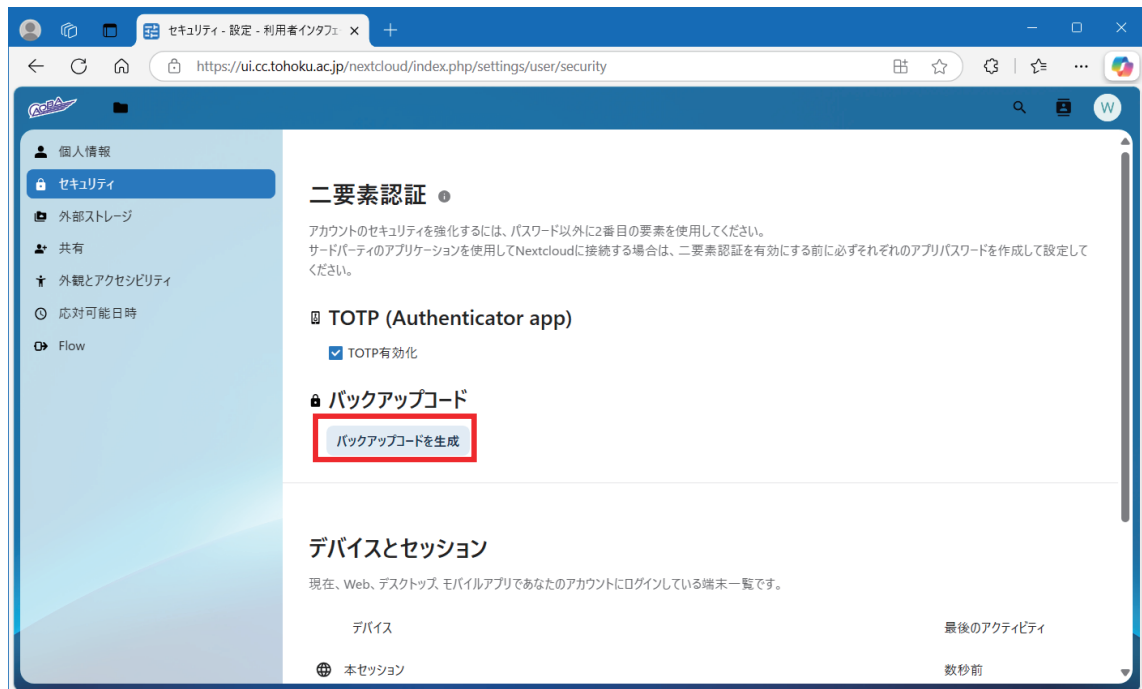
左側に設定メニューが表示されるので、その中から「セキュリティ」をクリックします。



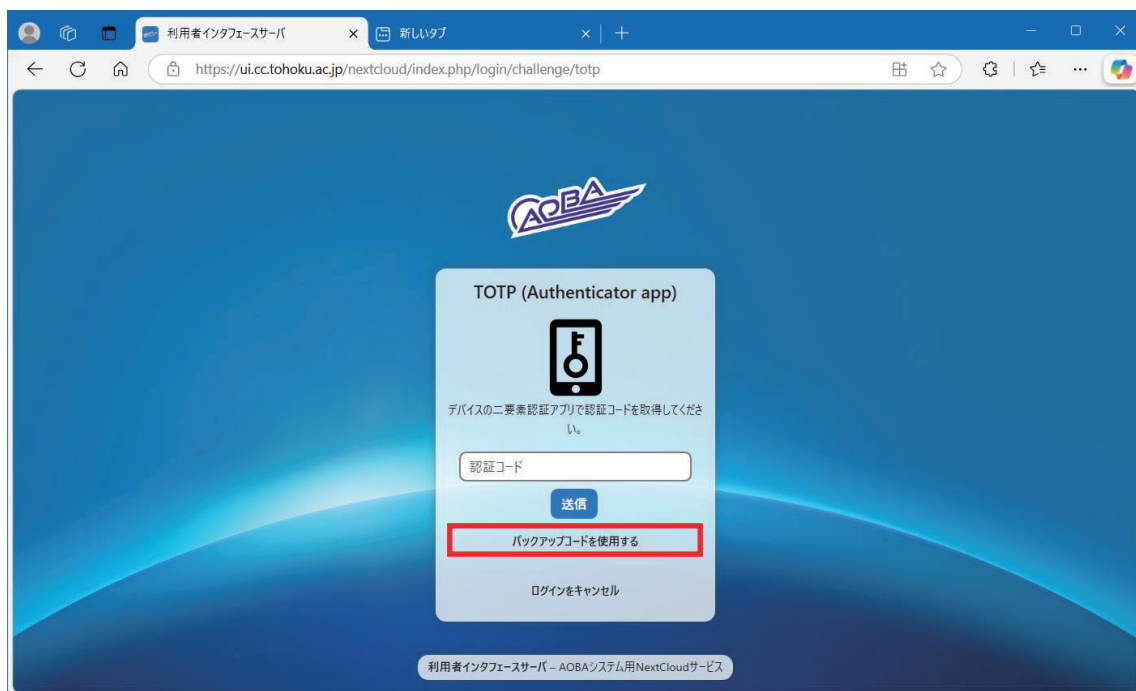
二要素認証の画面になります。

「バックアップコードを生成」をクリックすると、10 個のバックアップコードが表示されます。

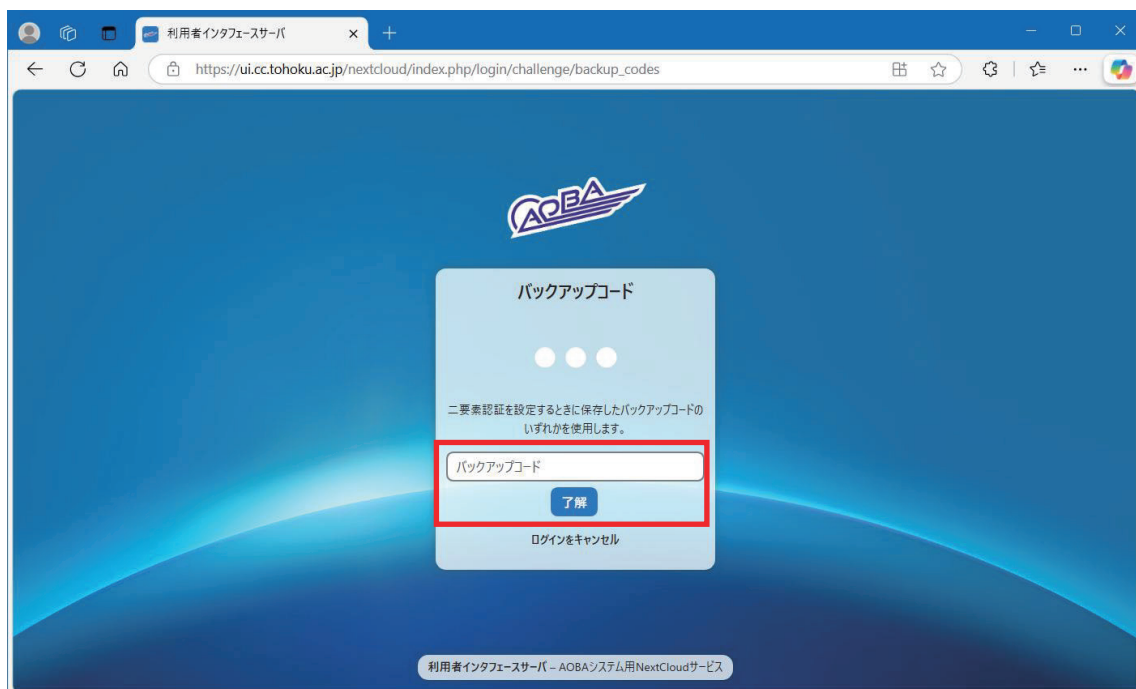
これらのバックアップコードは、二要素認証を行う手段がなかった場合の代替手段として利用できます。一度使用したバックアップコードは無効になります。



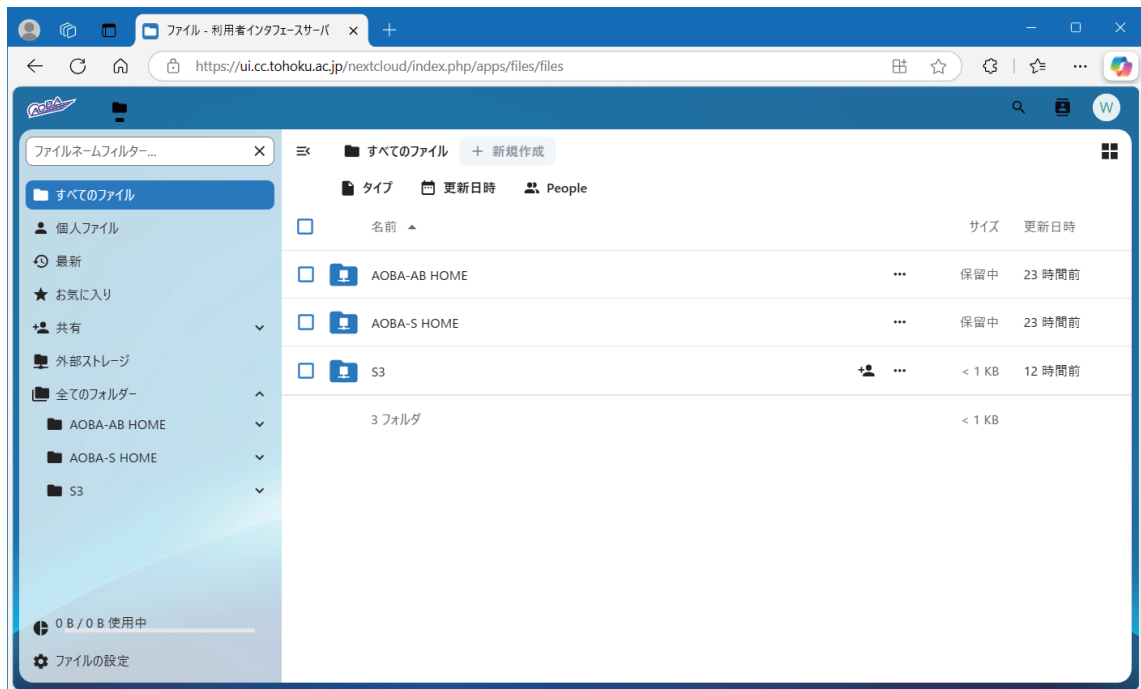
ログイン時の認証コードを入力する画面で、「バックアップコードを使用する」をクリックします。



バックアップコード入力画面が表示されるので、バックアップコードを入力し、「了解」をクリックする。



Nextcloud にログインできたことを確認します。

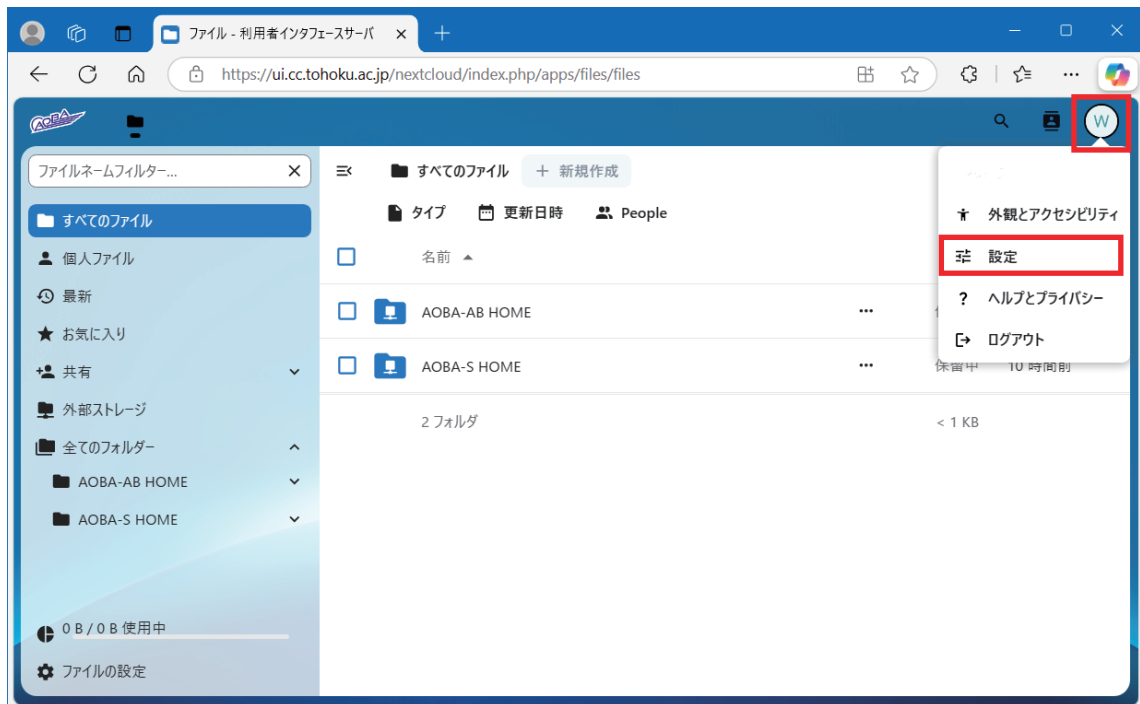


5 S3 サービス領域接続方法

AOBA-S ストレージの S3 サービス用領域を Nextcloud を使って利用する場合の手順を以下に記します。

S3 サービス用領域の利用には別途、利用申請が必要です。

右上の丸いマークを左クリックするとドロップダウンメニューが表示されるので、その中の設定をクリックします。

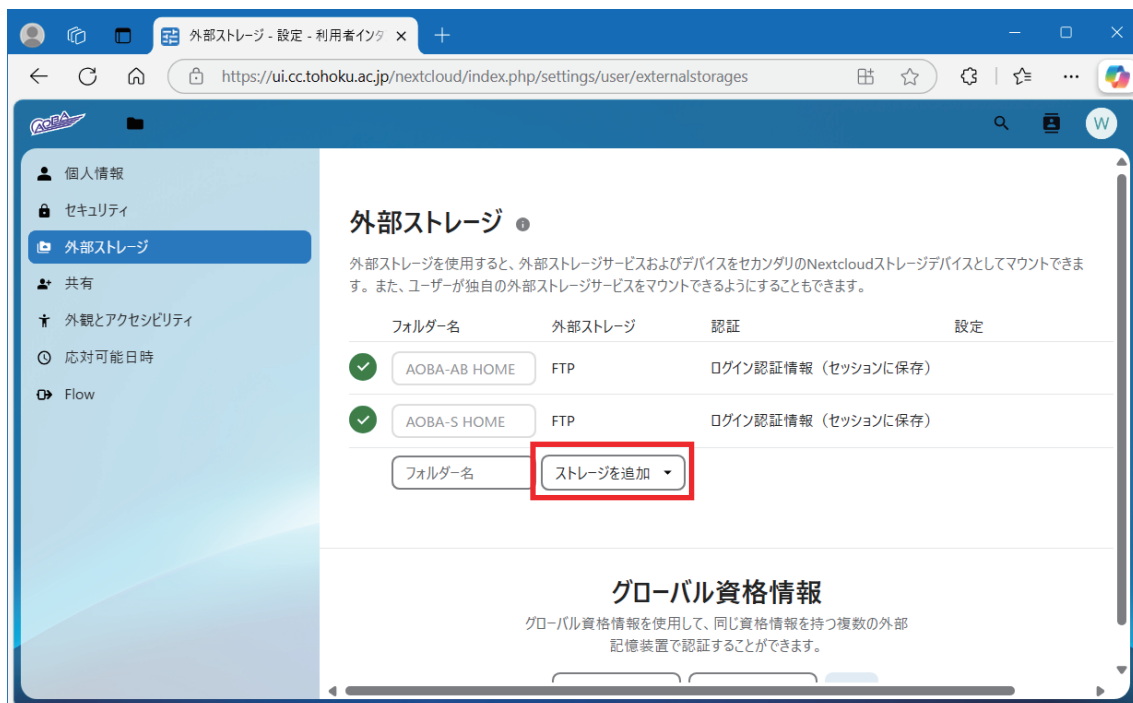


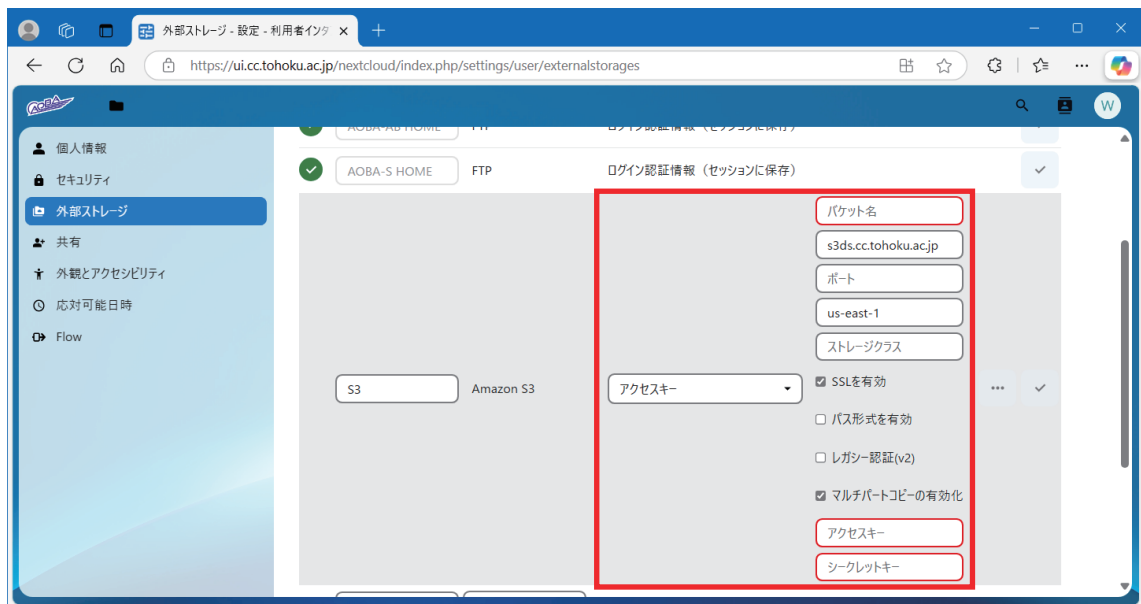
左側に設定メニューが表示されるので、その中から外部ストレージをクリックします。



外部ストレージ設定画面が表示されます。

外部ストレージの項目に「Amazon S3」を設定すると、追加の設定項目が表示されます。





以下の値を設定します。

設定項目	設定値
フォルダー名	任意
外部ストレージ	「Amazon S3」を選択
認証	「アクセスキー」を選択
バケット名	既存のバケット名 ※ 1
ホスト名	s3ds.cc.tohoku.ac.jp
ポート	空白のまま
リージョン	us-east-1
ストレージクラス	空白のまま
SSL を有効	チェック（既定値）
パス形式を有効	チェック
レガシー認証(v2)	空白のまま
マルチパートコピーの有効化	チェック（既定値）
アクセスキー	使用アカウントのアクセスキー
シークレットキー	使用アカウントのシークレットキー

※ 1 バケットは事前に作成しておく必要があります。バケットの作成手順は『S3 サービス利用マニュアル』を参照ください。

右側の詳細設定マークをクリックし、詳細設定が可能です（用途に応じて変更してください）

Amazon S3

☒ SSLを有効

...

設定項目	設定値
プレビューを有効に	チェック（既定値）
共有の有効化	空白のまま
変更点を確認	直指定時のみ
Mac NFD エンコード互換	空白のまま
読み取り専用	空白のまま

入力後、右側にあるチェックマークの「保存」をクリックします。

Amazon S3

☒ SSLを有効

...

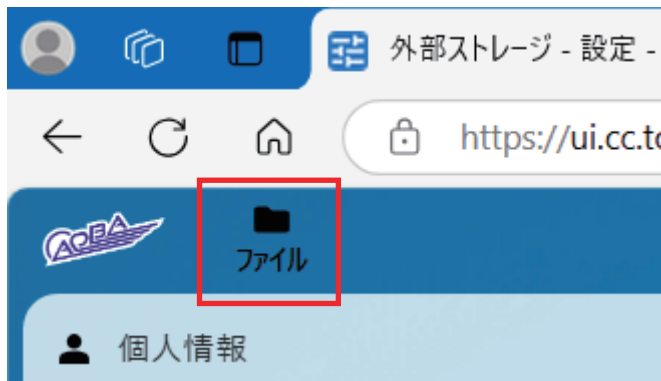
✓

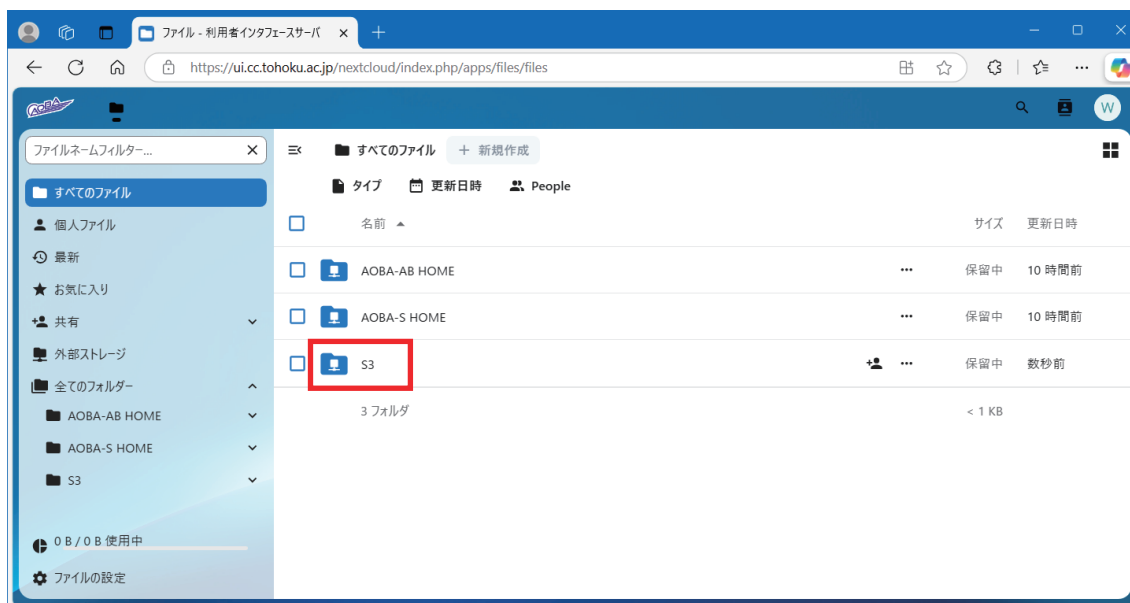
入力値に問題がなければ、左側に緑のチェックマークが表示されます。

✓

Amazon S3

左上のフォルダマークをクリックし、S3 サービス領域が表示されたことを確認します。





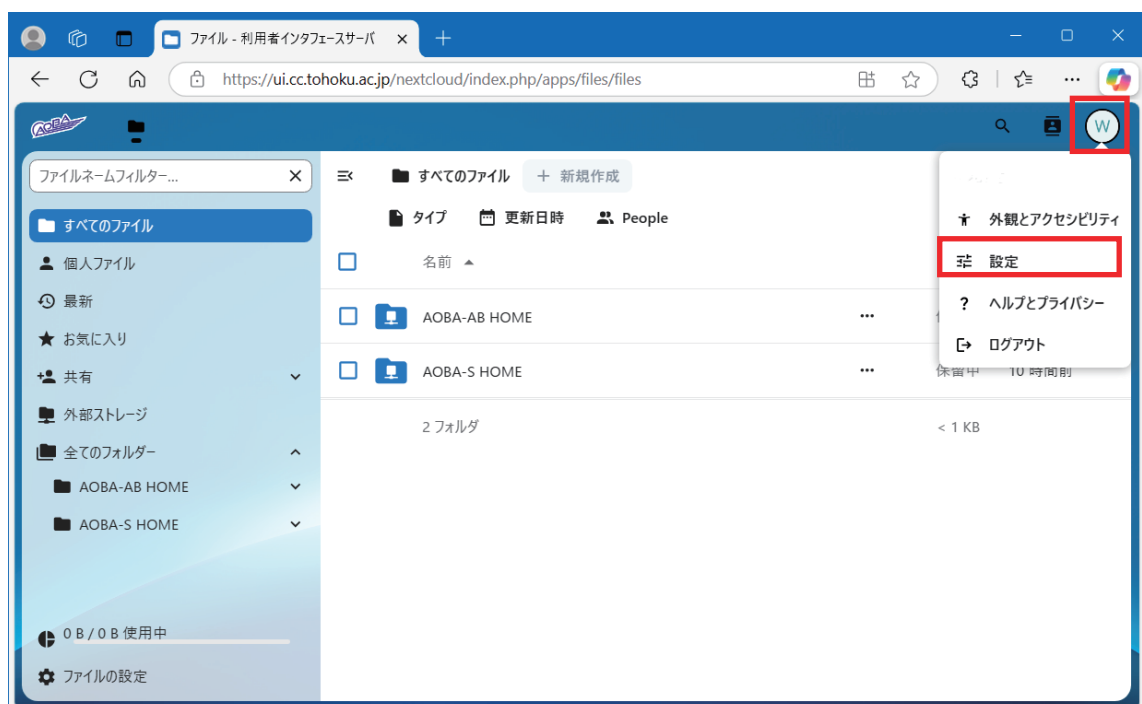
6 ファイル共有（URL リンク共有）設定方法

デフォルトで表示される AOBA-S と AOBA-AB のストレージ上では、ファイル共有ができません。ファイルを共有するには、外部ストレージの追加設定が必要です。

6.1 外部ストレージ追加方法

AOBA-S 外部ストレージを追加する場合

右上の丸いマークを左クリックするとドロップダウンメニューが表示されるので、その中の設定をクリックします。

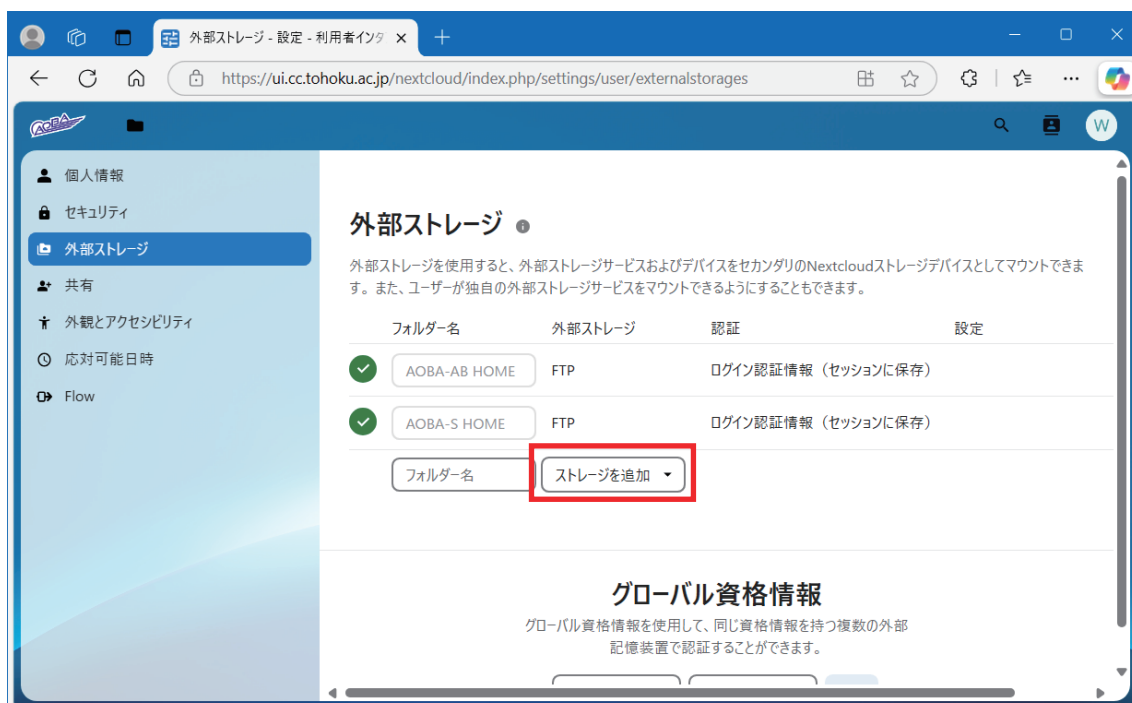


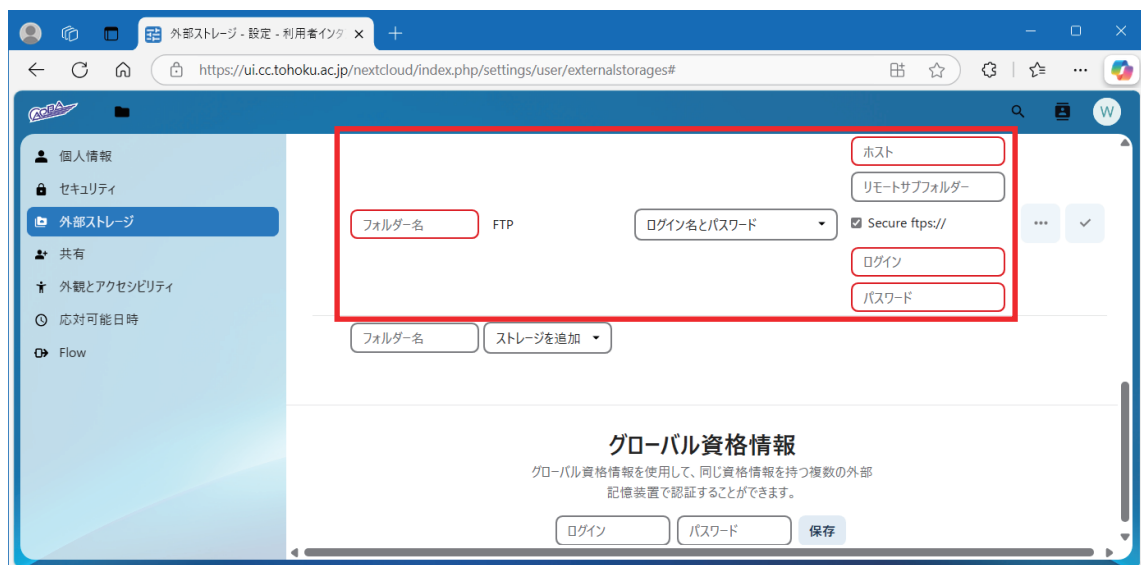
左側に設定メニューが表示されるので、その中から外部ストレージをクリックします。



外部ストレージ設定画面が表示されます。

外部ストレージの項目に「FTP」を設定すると、追加の設定項目が表示されます。





以下の値を設定します。

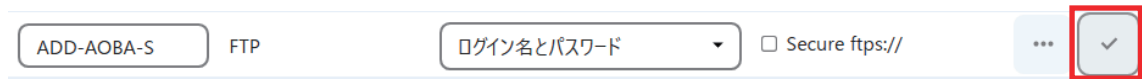
設定項目	設定値
フォルダー名	任意
外部ストレージ	「FTP」を選択
認証	「ログイン名とパスワード」を選択
ホスト名	localhost
リモートサブフォルダー	AOBA-S の場合 : /mnt/lustre/uhome/\$USER AOBA-AB の場合 : /mnt/stfs/uhome/\$USER
Secure ftps://	チェックを外し, 空白
ログイン	利用者 ID
パスワード	利用者 ID のパスワード

右側の詳細設定マークをクリックし, 詳細設定が可能です (用途に応じて変更してください)

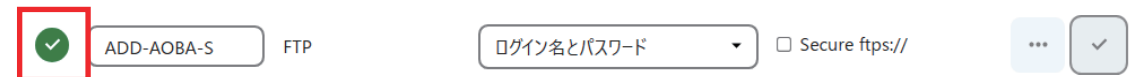
ADD-AOBA-S FTP ログイン名とパスワード ☐ Secure ftps:// ... ☐

設定項目	設定値
プレビューを有効に	チェック (既定値)
共有の有効化	チェック
変更点を確認	直指定時のみ
Mac NFD エンコード互換	空白のまま
読み取り専用	空白のまま

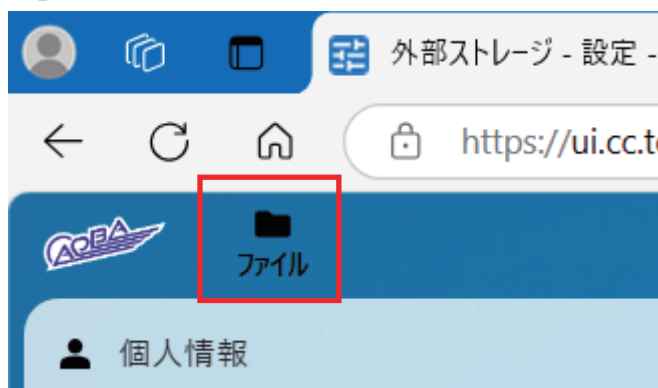
入力後、右側にあるチェックマークの「保存」をクリックします。



入力値に問題がなければ、左側に緑のチェックマークが表示されます。



左上のフォルダマークをクリックし、追加ストレージ領域が表示されていること、「共有オプションを表示」マークが付いていることを確認します。

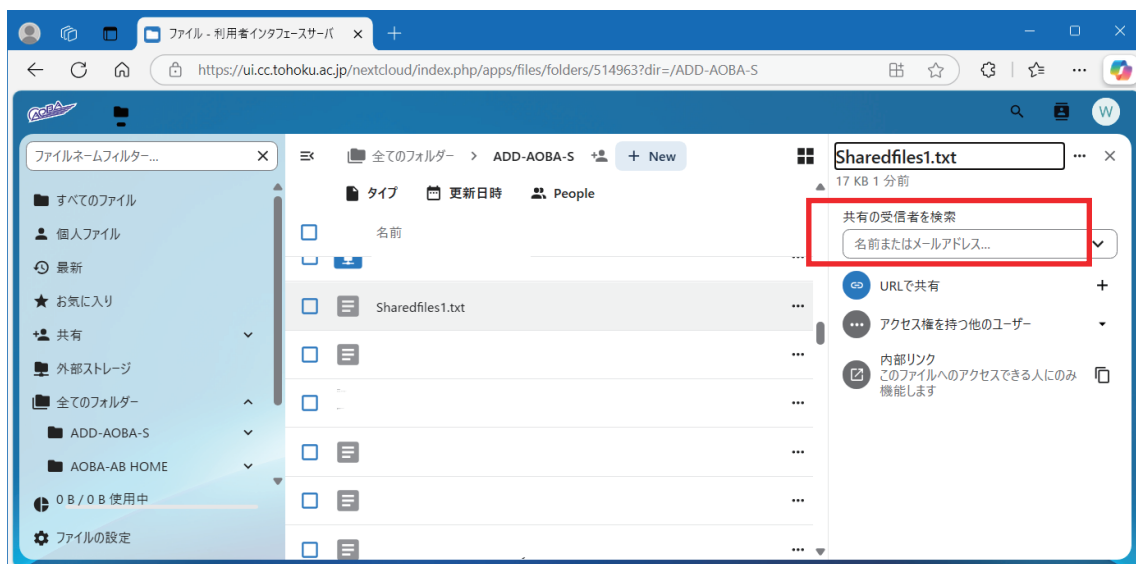


6.2 共有リンク作成方法

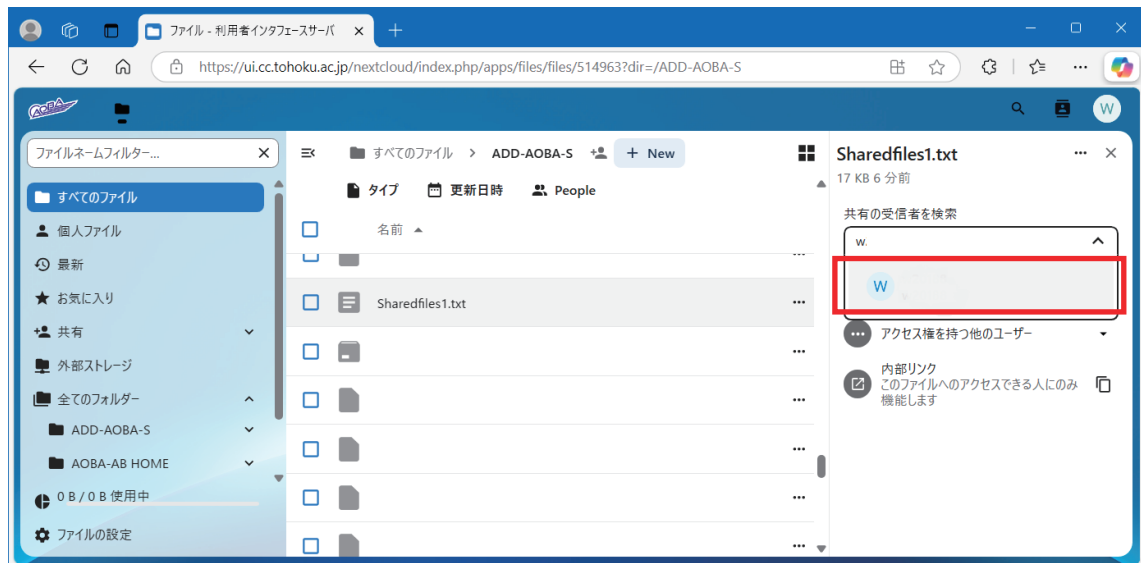
追加したストレージをクリックし、配下の共有したいファイルの「共有オプションを表示」マークをクリックします。



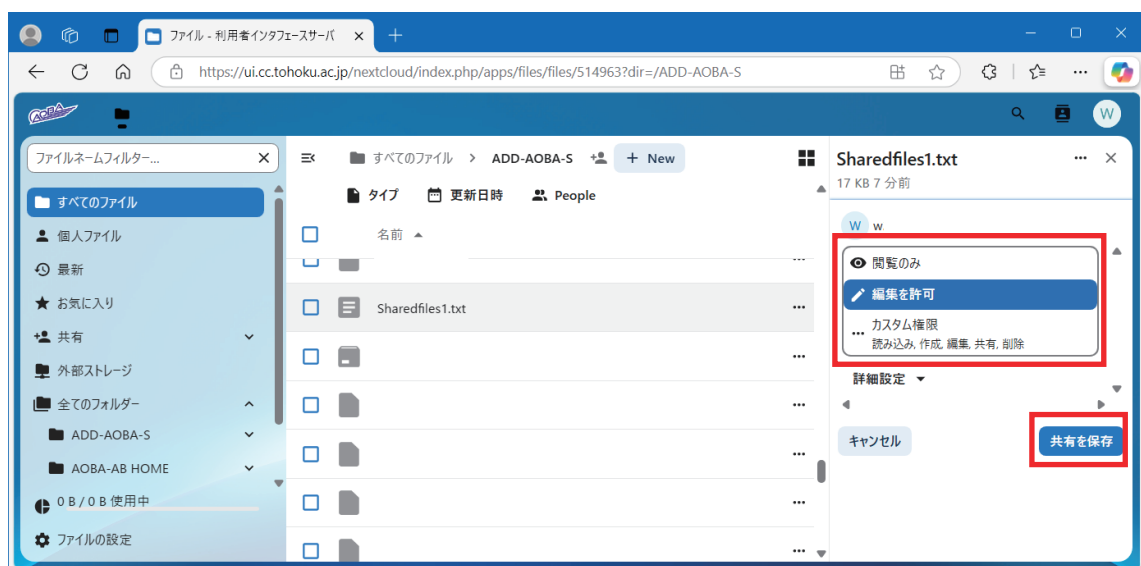
共有オプションのサイドバーが表示されるので、「共有の受信者を検索」で、共有したい利用者 ID を入力します。



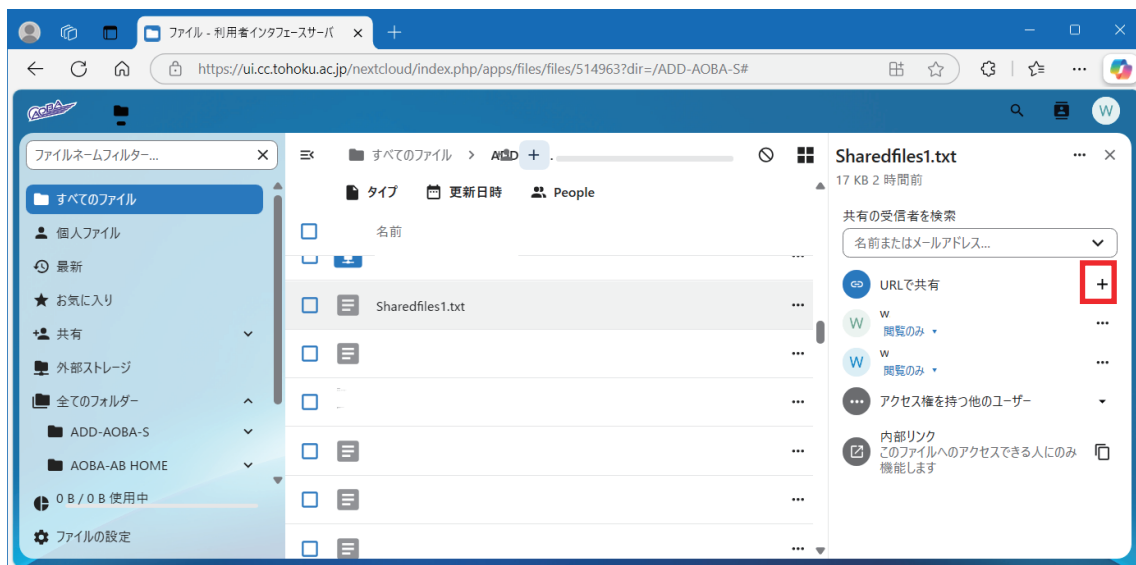
候補が表示されるので、候補をクリックします。



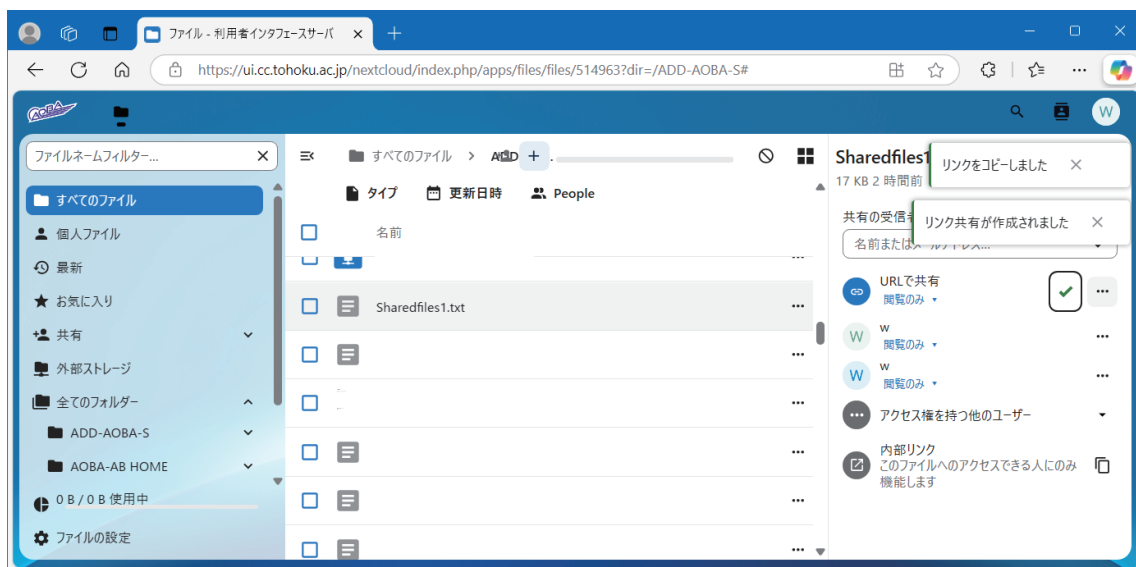
共有方法の項目が表示されるので、必要に応じて設定をし、「共有を保存」をクリックする。



「+」マークの「新しい共有リンクを作成する」をクリックする。



リンク共有が作成され、リンクの URL がクリップボードにコピーされます。
その URL を共有したい相手に渡すと、ファイルを共有できます。

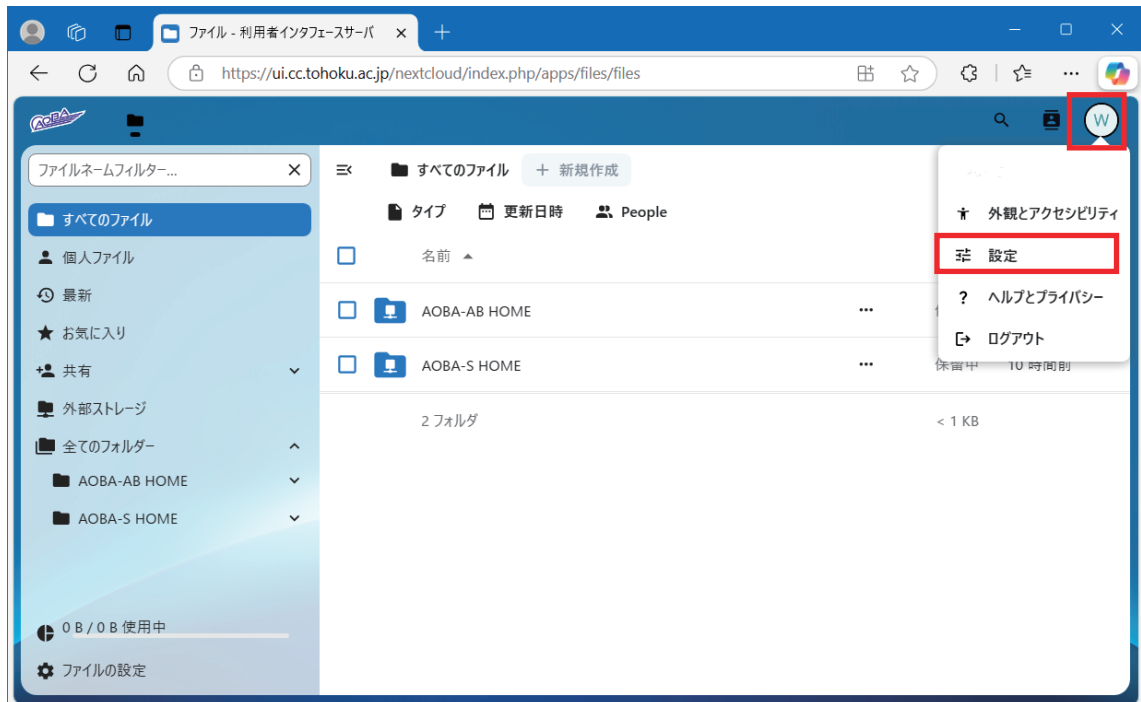


AOBA-S の対応方法を記載しましたが、S3 や追加した AOBA-AB でも同様の設定が可能です。

7 表示言語変更方法

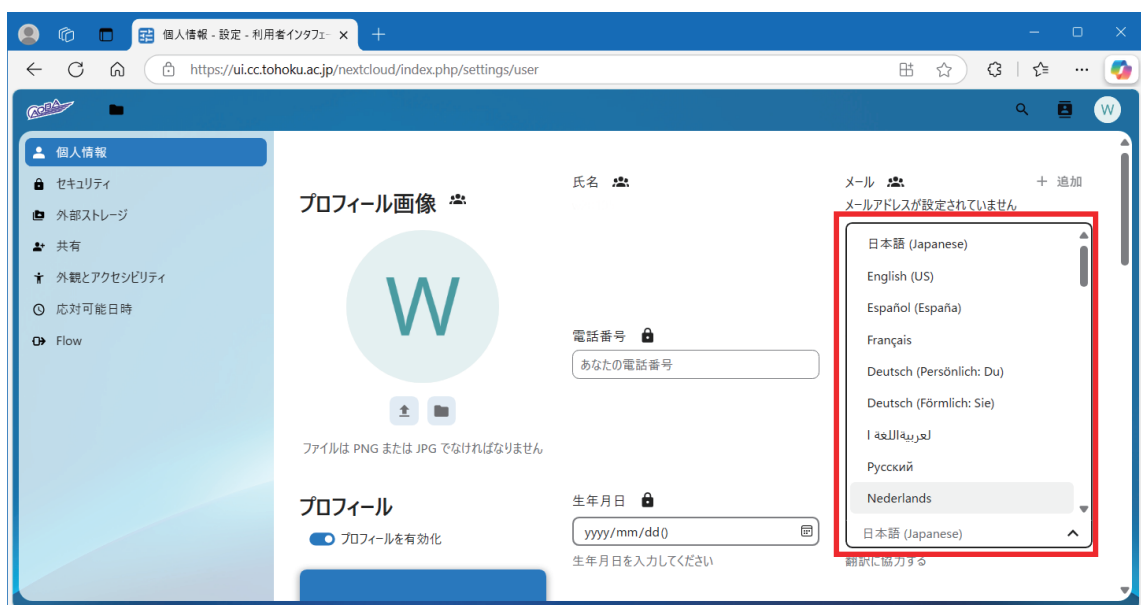
Nextcloud の表示言語は日本語としております。以下の方法で表示言語が変更可能です。

右上の丸いマークを左クリックするとドロップダウンメニューが表示されるので、その中の設定をクリックします。

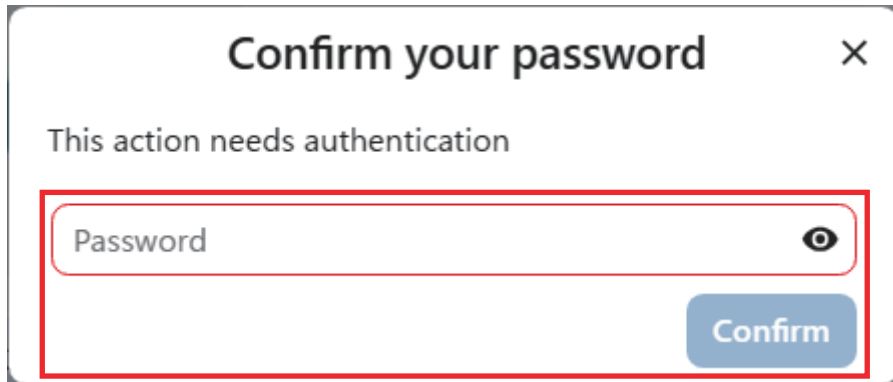


個人情報のページが表示されます。

言語を設定する項目があるので、その項目をクリックし、変更したい言語を選択します。

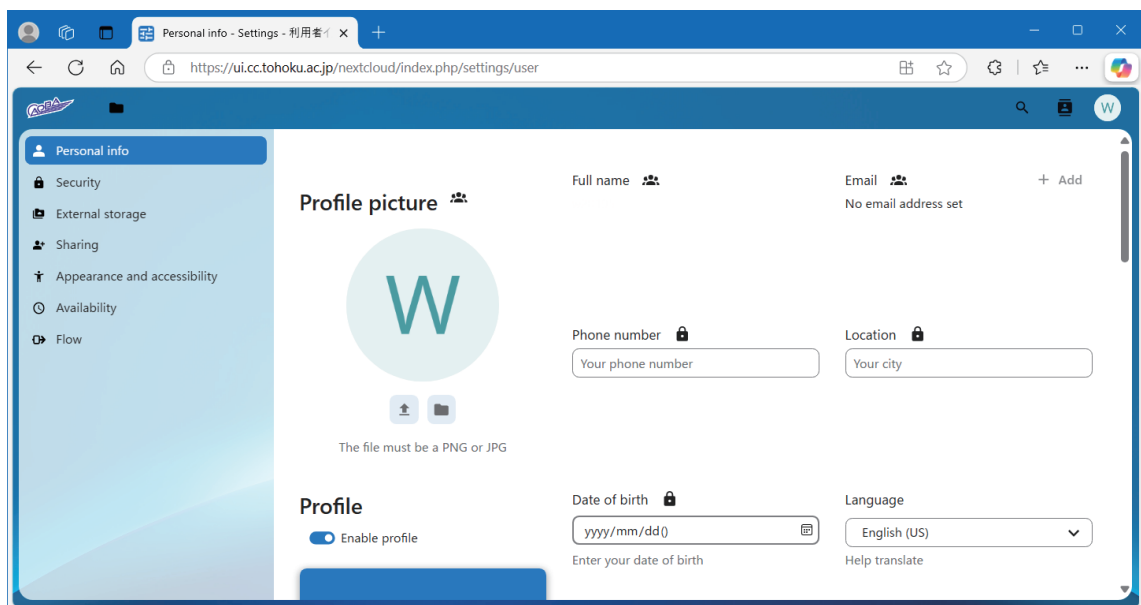


パスワードを求められるので入力します。



A modal dialog box titled "Confirm your password" with a close button (X) in the top right corner. Below the title, it says "This action needs authentication". There is a text input field labeled "Password" with a red border and a toggle icon (an eye) to its right. Below the input field is a blue button labeled "Confirm".

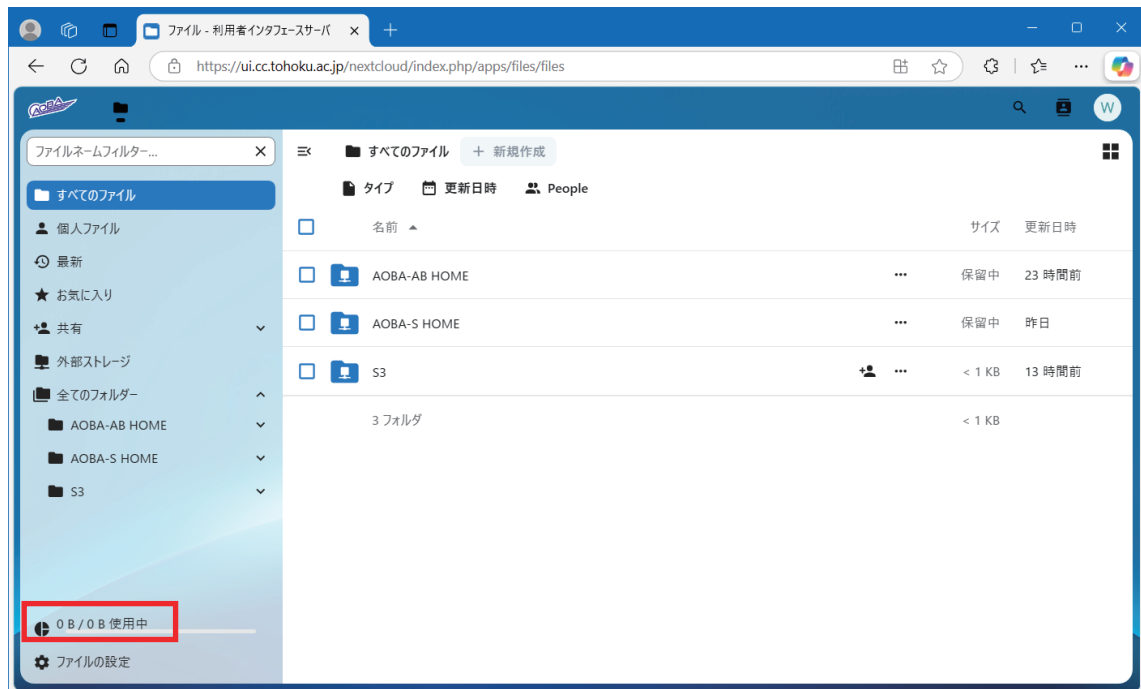
画面の文字が選択した言語に変わったことを確認します。



A screenshot of a web browser showing a user profile settings page. The browser's address bar shows the URL "https://ui.cc.tohoku.ac.jp/nextcloud/index.php/settings/user". The page has a blue header and a sidebar on the left with a menu: "Personal info", "Security", "External storage", "Sharing", "Appearance and accessibility", "Availability", and "Flow". The main content area is titled "Profile picture" and shows a circular profile picture with a large "W" on it. Below the picture is a note: "The file must be a PNG or JPG". To the right of the profile picture are fields for "Full name", "Email" (with a note "No email address set"), "Phone number", "Location", "Date of birth", and "Language" (set to "English (US)"). There is also a "Profile" section with a toggle switch labeled "Enable profile".

8 補足事項

画面左下に表示される値は、AOBA-S システムのユーザホーム領域、および AOBA-A/B システムのユーザホーム領域の使用量の表示ではありません。一律 0Byte と表示するよう設定しております。



[JHPCN シンポジウム]

JHPCN 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 第 17 回シンポジウム報告

河合 直聡

東北大学サイバーサイエンスセンター スーパーコンピューティング研究部

2025 年 7 月 10 日～11 日で昨年同様に東京カンファレンスセンター・品川にて第 16 回学術大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 (JHPCN) が開催されました。学際大規模情報基盤共同利用・共同研究では、スーパーコンピュータを持つ東北大学、北海道大学、東京大学、東京工業大学、名古屋大学、京都大学、大阪大学、九州大学がそれぞれ計算資源を提供し、採択された課題の研究促進に活用いただく制度です。課題応募時には先の 8 大学の何れかの研究員をメンバーに加えていただくことを要件としており、スーパーコンピュータの利用促進だけでなく、適したアプローチによる高速化など、有効利用も推進しています。また、昨今は AI の研究を中心に、より多様なソフトウェア環境 (OS やモジュール、アプリケーションなど) の提供が重要視されており、mdx I も有効に活用されています。mdx I は 2022 年度より、JHPCN の各構成拠点に加えて国立情報学研究所、産業技術総合研究所、筑波大学人工知能科学センターが共同で運営する、データ科学・データ利活用に主軸をおいた東京大学情報基盤センターに設置されている仮想環境 (VM) ベースのスーパーコンピュータです。仮想環境を利用するため、ユーザーは任意の環境を構築可能です。また、各センターでも Singularity や OpenOnDemand の導入で AI ユーザー向けの環境を整えています。

シンポジウムの 1 日目は主催者、来賓の挨拶から始まり、本制度への応募数は年々増加、同時にシンポジウム参加者数も過去最大となっている旨の説明があった。そのあとは 3 並列で構成されたプログラムで、昨年度の研究成果に関する計 73 件の発表が実施されました。河合も昨年度の動的負荷分散に関する研究成果について発表を実施いたしました。11 日の午後には株式会社 RICOS 基盤研

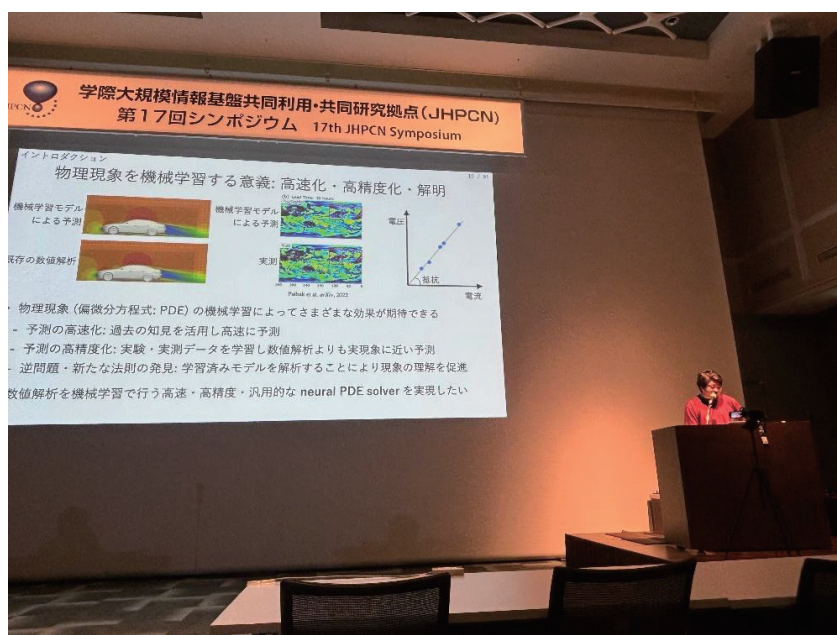


図 1, 堀江氏による招待講演の様子

究部部長の堀江正信氏による招待講演があり、科学的発見や工学的応用のための、出力が普遍的な物理現象を満たす機械学習モデルの構築に関する、興味深い研究について紹介がありました(図1)。また、HPC 分野に期待することについての言及もあり、今後の HPC 分野研究者として、またスーパーコンピュータのサービスを提供するセンターとして必要なことを確認できました。

このシンポジウムでは本年度採択課題に関する 47 件のポスター発表も実施されました。スーパーコンピューティング研究部の滝沢教授の課題である緊急ジョブ実行基盤の構築に関するポスター発表もあり、活発な議論がなされました。

JHPCN では 2010 年度から 2025 年度の間で 770 件の課題が採択されており、そのうち当センターとの共同研究課題は 114 件となっております。今年度は、8 件が当センターとの共同研究課題として採択されております。今年度採択分も含め、これまでの採択課題に関する情報は以下の URL で公開されております。ぜひ、高性能計算を用いた多岐にわたる共同研究活動をご覧いただければと存じます (JHPCN URL: <https://jhpcn-kyoten.itc.u-tokyo.ac.jp/ja/adoption>)。

来年度の学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点の研究公募は 11 月頃に公開予定です。ご興味のあるかたは奮ってご応募ください。また、応募に際しまして当センターの計算機科学を専門とする教員との共同研究の可能性を検討したい、手続き方法が分からない等、本応募に関して不明な点があります場合は、お気軽に当センターまでお問い合わせください。

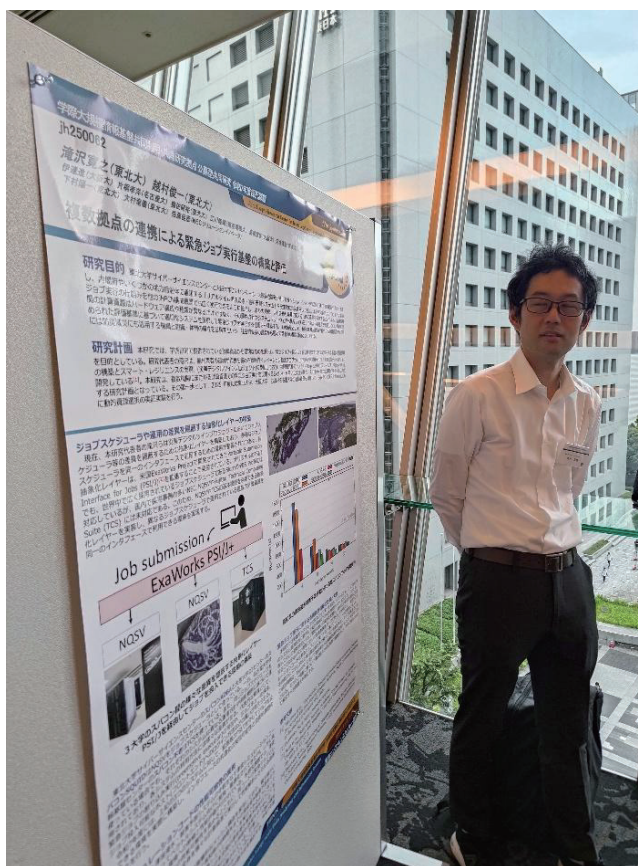


図 2、ポスター発表の様子
(ポスターは滝沢教授の採択課題、
説明者は共同研究者の大村特任研究員)

【JHPCN に関する問い合わせ窓口】 cc-joint-research@grp.tohoku.ac.jp

[JHPCN シンポジウム]

2025 年度 JHPCN 採択課題ポスター紹介

2025 年度学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠における当センター利用課題のポスター4 件をご紹介します。

- ・ jh250002 「FMO プログラム ABINIT-MP の次世代化」
研究代表者 望月祐志（立教大学）
- ・ jh250020 「気候変動が想定最大クラスの降雨に与える影響評価：線状降水帯を対象として」
研究代表者 平賀優介（東北大学）
- ・ jh250062 「複数拠点の連携による緊急ジョブ実行基盤の構築と評価」
研究代表者 滝沢寛之（東北大学）
- ・ jh250066 「宇宙初期における位相欠陥の一般相対論的シミュレーション」
研究代表者 北嶋直弥（東北大学）



2025年度課題 気候変動が想定最大クラスの降雨に与える影響評価： 線状降水帯を対象として (jh250020)

課題代表者：平賀優介 Yusuke Hiraga (yusuke.hiraga.c3@tohoku.ac.jp)
Department of Civil and Environmental Eng. Tohoku University, Sendai, Japan

JHPCN第17回シンポジウム
July 10-11, 2025

■ 研究の背景：

- ① 気候変動に伴い、極端降水の程度や発生頻度の増加が報告・予測されている。

・治水計画においては，“想定最大クラスの降雨（発生確率 $10^{-3} \sim 10^{-6}$ ）”を流域ごとに設定し，対策を講じることが求められている。
将来手戻りのない治水策を実施するためにも，気候変動の影響を考慮することが重要である。

特に過去の発生事例に限られる，
北海道・東北で顕著である

ここで，**気候変動が想定最大クラスのような超低頻度豪雨にどのような影響を与えるかは未だ良く分かっていない。**

これは主に以下が重要な要因である：

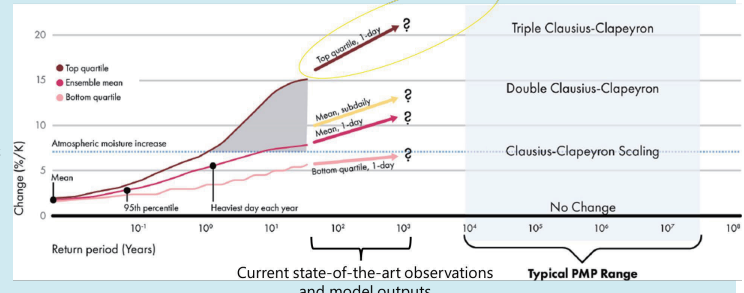
・未だ観測(10年)や気候モデルの出力(10年)と，想定最大クラス降雨の頻度には乖離があること

・一般的に短時間の極端な降雨であるほど，気候変動の影響は複雑になること(熱力学的影響だけでなく力学的影響の重要性が増すこと) 右図→

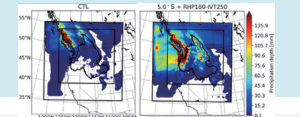
- ②

課題代表者は近年，この気候変動が想定最大クラスの降雨に与える影響を解明する手法を提案した (Hiraga et al., 2025; JoH)

本手法は数値気象モデルを基にしており，過去に生じた極端な豪雨の降雨量を流域にとって最大化し，気候変動の影響も同時に考慮することにより，気候変動下の最大降雨を推定するものである。



Pendergrass (2018)



■ 課題と目的：

課題： Hiraga et al. (2025)の手法は，高解像度数値気象計算に基づくものであり，気候変動の不確実性を考慮した影響評価を実現するには，多数のアンサンブル数値実験が必要になる。数値計算のコストが膨大になる点が主な技術的制約となる。

目的： ① WRFモデルによる豪雨シミュレーションの高速化を実現する

② 気候変動シナリオのアンサンブル計算を効率的に実施するためのモジュールを開発する



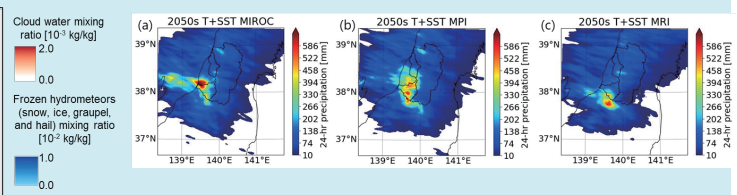
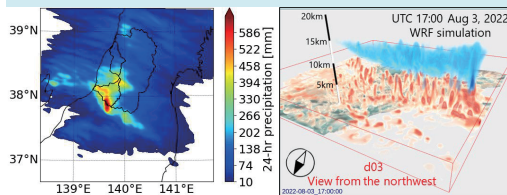
東北大学サイバー
サイエンスセンター
と共同で実施

■ 本課題の進捗：

- ① 東北大学AOBA-S (SX-Aurora TSUBASA)にWRFモデルv4を並列化可能として実装完了

高解像度での2022年線状降水帯の数値計算結果：

気候変動による気温と海水面温度の変化を考慮した計算結果：



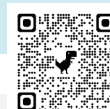
- ② WRFモデルに適用可能かつ高速なアンサンブルデータ同化モジュールの実装を完了



DART

WRFへの適用が可能な，データ同化システムData Assimilation Research Testbed (DART)を基に，アンサンブルカルマンフィルタを高速に適用できるモジュールをAOBA-S上に実装した。

- ③ 本研究を取り上げていただいた動画がAOBAの杜ページで公開！



■ 今後の展望：

- ・対象の線状降水帯に対して，降雨の最大化計算・気候変動シナリオの両点において大規模なアンサンブル計算を実施し，気候変動が想定最大クラスの降雨に与える影響を定量化する。
- ・対象とする線状降水帯の事例数を増やし，気候変動の影響を一般化することを試みる。

参考文献：

- 1) Pendergrass, A. G. (2018). What precipitation is extreme?. Science, 360(6393), 1072-1073.
- 2) Hiraga, Y., Tahara, R., & Meza, J. (2025). A methodology to estimate Probable Maximum Precipitation (PMP) under climate change using a numerical weather model. Journal of Hydrology, 652, 132659.

滝沢寛之(東北大) 越村俊一(東北大)

伊達達(大阪大) 片桐孝洋(名古屋大) 齋佐昭裕(東北大) 江川隆輔(東京電機大) 高橋慧智(大阪大) 河合直聡(東北大)
下村隆一(東北大) 大村竜彦(東北大) 佐藤佳彦(NECソリューションイノベータ)

JHPCN

複数拠点の連携による緊急ジョブ実行基盤の構築と評価

研究目的

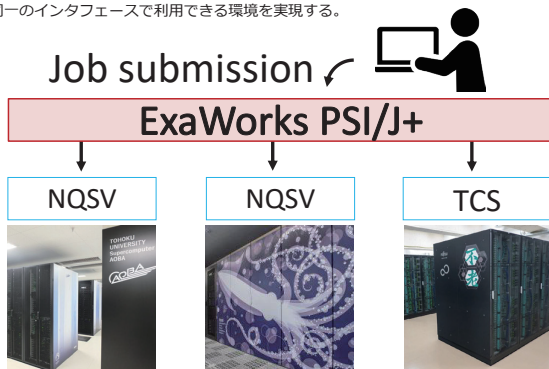
東北大学サイバーサイエンスセンターと大阪大学D3 センターは、大規模地震発生時に津波シミュレーションを緊急実行して被害範囲や規模を推定し、内閣府やいくつかの地方自治体に通知する「リアルタイム津波浸水・被害予測システム」を安定的に共同運用してきた。本研究の目的は、そのような緊急ジョブ実行の仕組みを他のJHPCN構成機関でも広く実行できるように拡充し、より大規模、より多様な需要に応えるための基盤を確立することである。各構成機関の計算資源はハードウェア構成や種類が異なるだけでなく、その運用方針やシステムソフトウェアも異なっている。そのような差異を隠蔽しつつ、事前に定められた評価基準に基づいて適切なシステムを選択して緊急ジョブを実行する仕組みを構築する。その結果として、JHPCN 構成機関が提供する計算資源を緊急時には防災減災にも活用する機構と組織・体制の確立を目指すという、社会的要請の観点から極めて意義深い研究計画となっている。

研究計画

本研究では、学術目的で提供されている計算資源から適切なものを選択し、緊急ジョブを投入して締切時間までに計算結果を得る基盤の実証実験を目的としている。研究代表者の滝沢は、副代表者の越村が代表を務める戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)の研究開発テーマ「津波災害デジタルツインの構築とスマート・レジリエンスの実現」(災害デジタルツインプロジェクト)に参加しており、共同研究者の一人としてExpressHPC フレームワーク(ExpHPC)を開発している^[1]。本研究は、複数機関にまたがる計算資源での緊急ジョブ実行を実現するExpHPC を用いた実証実験と、その運用可能性と課題の明確化を目的とする研究計画となっている。その第一歩として、2025 年度には東北大学、大阪大学、および名古屋大学の計算資源を対象として、ExpHPC の開発を進めるとともに動的資源選択の実証実験を行う。

ジョブスケジューラや運用の差異を隠蔽する抽象化レイヤーの構築

現在、本研究代表者の滝沢らは災害デジタルツインプロジェクトにおいてジョブスケジューラ等の差異を隠蔽するための抽象化レイヤーを構築しており、多様なジョブスケジューラを同一のインタフェースで利用するための環境が整備されつつある。同抽象化レイヤーは、米国ExaWorks Projectで開発されてきたPortable Submission Interface for Jobs (PSI/J)^[2]を拡張することで実装されている。オリジナルのPSI/Jでも、世界中で広く採用されているジョブスケジューラであるSlurmやPBS Pro等には対応しているが、国内で採用事例の多いNEC NQSVやFujitsu Technical Computing Suite (TCS) には未対応である。このため、NQSVやTCSの基本機能を利用できる抽象化レイヤーを実装し、異なるジョブスケジューラで運用されている複数の計算資源を同一のインタフェースで利用できる環境を実現する。

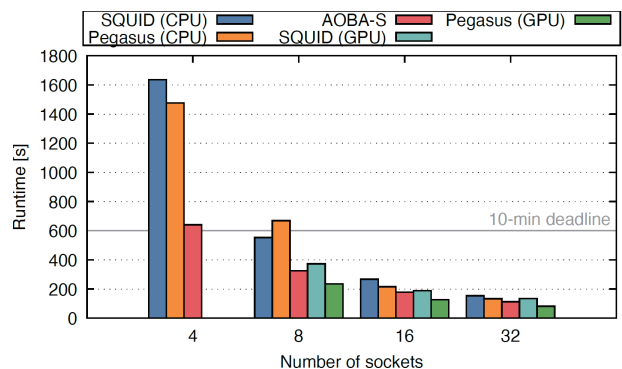
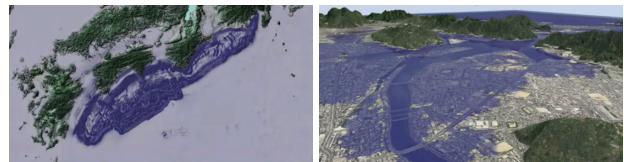
3大学のスパコン間の様々な差異を隠蔽する抽象化レイヤー
PSI/Jを経由してジョブを投入できる環境の構築

東北大学サイバーサイエンスセンターのスパコンAOBAと大阪大学D3センターのスパコンSQUIDはNQSVをジョブスケジューラとして使っている。一方、名古屋大学情報基盤センターのスパコン不老はTCSを使っている。また、同じジョブスケジューラを使っている場合でも、それぞれのシステムは異なる運用方針や利用規則に基づいて運用されており、各システムの利用方法には様々な差異がある。代表的な相違として、緊急ジョブの割り込み実行(preemptive execution)の可否や、ジョブキューの構成、ジョブ投入可能なホスト(フロントエンド)へのログイン方法などの違いが考えられる。令和7年度には、上記の3つのシステムに対して、拡張版のPSI/Jを介してジョブを投入できる環境を実際に構築し、インタフェースの共通化の実現可能性と技術的課題の明確化を行う。

津波シミュレーションコードの性能可搬性の実現

リアルタイム津波浸水・被害予測システムの中核をなす津波シミュレーションコードは、長年にわたってベクトルシステム向けに開発・最適化されてきた^[3]。しかし現在、同コードのGPU 環境への移植と性能評価が行われている。本研究課題では、津波シミュレーションコードの性能可搬性を高めるとともに、同コードが緊急ジョブとして実行されるワークフロー全体を様々な計算資源で実行して性能解析とさらなる高速化の検討を行う。

津波シミュレーションコードは階層的なメッシュ構造を採用しており、最も細かいメッシュサイズが10m×10mの条件下で高知県の6時間先までの津波浸水被害予測を行う場合、締切時間である10分間以内に緊急シミュレーションを実行できるようになっている^[4]。しかし、さらに高い空間分解能で日本全国の津波浸水被害予測を行うことを目標としており、データ同化やアンサンブル実行といった技術も活用するためには、5 Pflop/s以上の実効性能を達成が必要であると試算されている。計算ノード数の増加にともなう計算負荷の不均衡が深刻化することがわかっていることから、令和7年度には本シミュレーションの計算負荷均衡を考慮した領域分割方法を検討する。

高知県の津波浸水被害予測結果の例と各種スパコンでの実行時間^[4]

緊急ジョブ実行に関する各種統計情報の取得と考察

本研究では実運用システムでの緊急ジョブ実行を前提としているため、ジョブ投入時のシステム混雑状況に依存して実行開始までの待ち時間が大きく変化する。このため、各システムの混雑状況とジョブ開始時間との関係を把握し、適切な計算資源選択に活用することはExpHPCの開発において最重要課題の一つである。本研究では、津波シミュレーションコードを緊急ジョブとして実行する一連のワークフローを定期的に投入し、その時のシステム状況と実行開始時刻等の様々な統計情報を実測によって収集する。その統計情報は、ExpHPC において適材適所の計算資源選択を実現するための基礎データとなる。それらの情報に基づいて構成拠点の研究者間で議論を行い、今後の運用に向けて解決すべき課題を明確化する。

参考文献

- [1] Takizawa et al., "ExpressHPC: Towards Connected Supercomputing Enabling On-demand Job Execution for Disaster Resilience," SC24 Combined Workshop on Interactive and Urgent HPC, 2024.
- [2] ExaWorks PSI/J, <https://exaworks.org/psij>.
- [3] Musa et al., "Real-time Tsunami Inundation Forecast System for Tsunami Disaster Prevention and Mitigation," Journal of Supercomputing, vol.74, no.7, pp.3093–3113, 2018.
- [4] Takahashi et al., "Modernizing an Operational Real-time Tsunami Simulator to Support Diverse Hardware Platforms," IEEE International Conference on Cluster Computing, 2024.

課題番号 jh250066

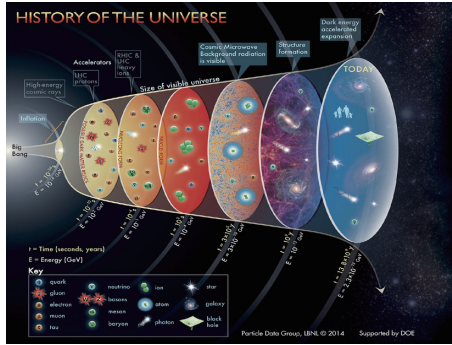
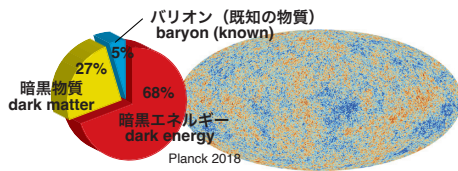
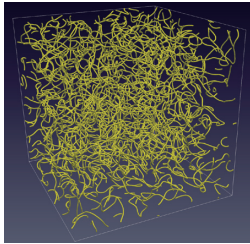
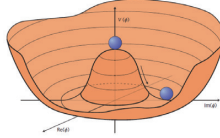
宇宙初期における位相欠陥の一般相対論的シミュレーション

General relativistic simulation of topological defects in the early universe

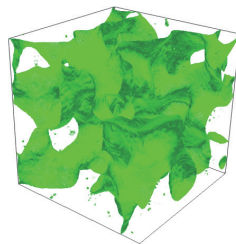


北嶋 直弥 / Naoya Kitajima 東北大学 学際科学フロンティア研究所 / FRIS, Tohoku University

共同研究者：神田行宏（東大 ICRR）、藤林翔（東北大学際研）、滝沢寛之（東北大サイバーサイエンスセンター）

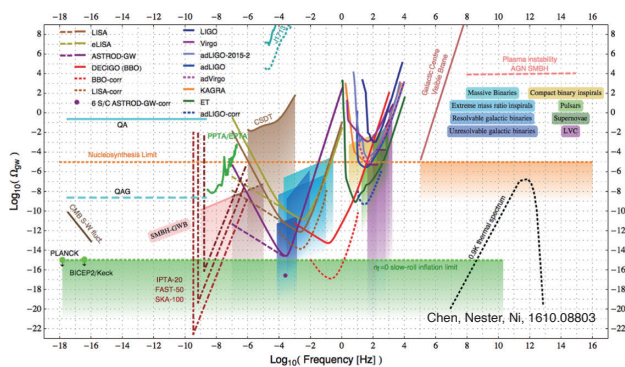
Q. 宇宙はどのようにして始まったのか？
How did the Universe begin?Q. 宇宙は何でできているか？
What is the Universe made of?Q. どのようにして初期宇宙を探るか？
How can we probe the early Universe?自発的対称性の破れ
Spontaneous symmetry breaking

宇宙ひも / Cosmic string



ドメインウォール / domain wall

Gravitational wave observation as a probe of the early Universe



Numerical relativity

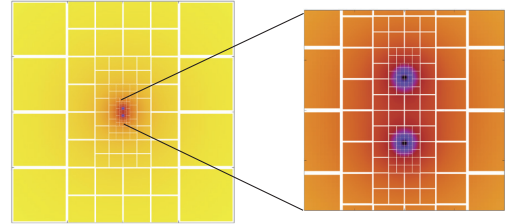
"Matter tells spacetime how to curve,
and spacetime tells matter how to move."
John A. Wheeler

$${}^{(4)}R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}{}^{(4)}Rg_{\mu\nu} = 8\pi GT_{\mu\nu}$$

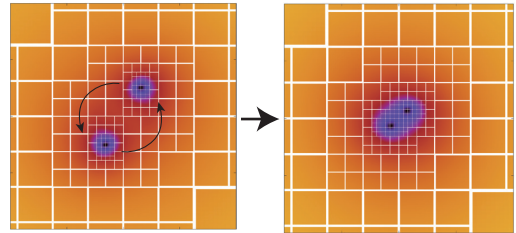
CCZ4 formulation

$$\begin{aligned}\partial_t \chi &= \frac{2}{3}\alpha \chi K - \frac{2}{3}\chi \partial_k \beta^k + \beta^k \partial_k \chi, \\ \partial_t \gamma_{ij} &= -2\alpha \bar{A}_{ij} + 2\gamma_{k(i} \partial_{j)} \beta^k - \frac{2}{3}\gamma_{ij} \partial_k \beta^k + \beta^k \partial_k \gamma_{ij}, \\ \partial_t \bar{A}_{ij} &= \chi [-D_i D_j \alpha + \alpha (R_{ij} + D_i Z_j + D_j Z_i - 8\pi S_{ij})]^{TF} \\ &\quad + \alpha [\bar{A}_{ij}(K - 2\Theta) - 2\bar{A}_{(i} \bar{A}_{j)}] + 2\bar{A}_{k(i} \partial_{j)} \beta^k - \frac{2}{3}\bar{A}_{ij} \partial_k \beta^k + \beta^k \partial_k \bar{A}_{ij}, \\ \partial_t K &= -D_i D^i \alpha + \alpha (R + 2D_i Z^i + K^2 - 2\Theta K) + \beta^i \partial_i K - 3\alpha \kappa_1 (1 + \kappa_2) \Theta + 4\pi \alpha (S - 3\rho), \\ \partial_t \Theta &= \frac{\alpha}{2} (R + 2D_i Z^i - \bar{A}_{ij} \bar{A}^{ij} + \frac{2}{3}K^2 - 2\Theta K) - Z^i \partial_i \alpha + \beta^k \partial_k \Theta - \alpha \kappa_1 (2 + \kappa_2) \Theta - 8\pi \alpha \rho, \\ \partial_t \Gamma^i &= -2\bar{A}^{ij} \partial_j \alpha + 2\alpha \left(\Gamma_{jk}^i \bar{A}^{jk} - \frac{3}{2\chi} \bar{A}^{ij} \partial_j \chi - \frac{2}{3}\gamma^{ij} \partial_j K \right) \\ &\quad + 2\gamma^{ij} \left(\alpha \partial_j \Theta - \Theta \partial_j \alpha - \frac{2}{3}\alpha K Z_j \right) \\ &\quad + \beta^k \partial_k \Gamma^i + \gamma^{ik} \partial_j \partial_k \beta^j + \frac{1}{3}\gamma^{ij} \partial_j \partial_k \beta^k + \frac{2}{3}\Gamma^i \partial_k \beta^k - \Gamma^k \partial_k \beta^i \\ &\quad + 2\kappa_3 \left(\frac{2}{3}\gamma^{ij} Z_j \partial_k \beta^k - \gamma^{jk} Z_j \partial_k \beta^i \right) - 2\alpha \kappa_1 \gamma^{ij} Z_j - 16\pi \alpha \gamma^{ij} S_j,\end{aligned}$$

Adaptive mesh refinement (AMR)

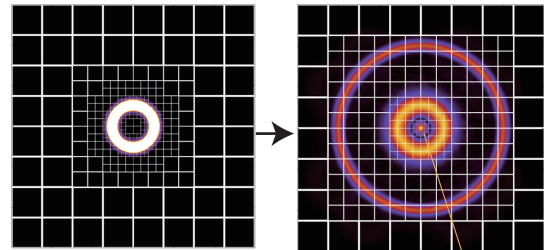


Binary black hole merger (test)



Purpose of this project

Cosmic string loop → Black hole
Domain wall collapse → Black hole



scalar field implosion (test simulation)

black hole

[利用相談室便り]

2025年度の利用相談について

サイバーサイエンスセンターの利用相談についてご案内いたします。相談は主に利用相談フォームから受け付けます。面談をご希望の方は、事前に利用相談フォームでご連絡ください。相談内容、時間帯によっては、時間を要する場合がありますが、利用者の問題解決にむけて努めております。センター利用に関してご質問、ご不明な点があればお気軽に利用相談をご利用ください。

- ・ プログラムを高速化するにはどうしたらいいの？
- ・ プログラムを並列化してもっと速く計算したい！
- ・ スパコンでプログラムを動かしても速さがPCと変わらないんだけど、どうして？
- ・ 研究室のコンピュータではメモリが足りない！
- ・ 研究室の電気代高騰で困っている。
- ・ コンピュータの管理は面倒。研究に専念したい。
- ・ サービスしているアプリケーションを研究室から利用するにはどうすればいいの？

このような、スーパーコンピュータ利用に関する疑問や問題をお持ちの方、これから利用してみたいとお考えの方、一度相談してみてはいかがでしょうか。

利用相談フォーム： <https://www.ss.cc.tohoku.ac.jp/consultation/>



サイバーサイエンスセンター本館（右）、
2号館（左）

2025 年度テクニカルアシスタントと主な担当分野

テクニカルアシスタント	主な担当分野
菅野 学 (理学研究科)	・ Gaussian
河合 直聡 (サイバーサイエンスセンター)	・ スカラ最適化 ・ OpenMP ・ MPI ・ Fortran
山下 毅 (情報部デジタルサービス支援課)	・ アプリケーション全般 ・ 高速化 (ベクトル化、並列化) ・ Fortran ・ 利用負担金
齋藤 敦子 (情報部デジタルサービス支援課)	・ AOBA-S, AOBA-A, AOBA-B ・ 端末ログイン ・ ジョブ操作 ・ 大判プリンタ
森谷 友映 (情報部デジタルサービス支援課)	・ AOBA-S, AOBA-A, AOBA-B ・ 端末ログイン ・ ファイル ・ ジョブ操作 ・ シェルスプリクト ・ Fortran ・ 大判プリンタ ・ 障害
藤村 瑠菜 (情報部デジタルサービス支援課)	・ AOBA-S, AOBA-A, AOBA-B ・ 大判プリンタ

新テクニカルアシスタントの自己紹介

河合 直聡 (かわい まさとし)
 東北大学サイバーサイエンスセンター
 スーパーコンピューティング研究部 助教

テクニカルアシスタント担当となりました。普段はスパコンの効率的な利用に関する研究をしています。ですので、最適化、大規模並列化に関してはお手伝いできることがあるかと思えます。また普段CやFortranを使っておりますので、この辺りの言語に関しても対応できると思っております。どうぞよろしくお願いいたします。

藤村 瑠菜 (ふじむら るな)
 東北大学情報部デジタルサービス支援課
 スーパーコンピューティングサポートユニット 情報一般職員

今年度、テクニカルアシスタントを担当いたします、藤村と申します。主な担当分野はスーパーコンピュータの運用・管理業務です。利用者の皆様が安心して本センターを利用出来るよう、サポートさせていただきます。どんな些細なことでも構いませんのでどうぞお気軽にご相談ください。

2025年4月にセンターに配属されたばかりでまだまだ至らない点もあるかと思いますが、少しでも多くの利用者のお力になれば幸いです。私自身もこの業務を通じてスーパーコンピュータに関する知識を深め、より幅広いご相談に対応出来るよう努めて参ります。どうぞよろしくお願いいたします。

[報 告]

後藤英昭准教授が Wireless Broadband Alliance(WBA)にて Contributor Award 2024 を受賞

当センターの後藤英昭准教授（ネットワーク研究部）が Wireless Broadband Alliance(WBA)にて ContributorAward 2024 を受賞しました。今回で四期連続の受賞となります。

WBA における無線 LAN ローミングシステムの技術・仕様の開発や、国内外の OpenRoaming 普及などの貢献が、高く評価されたものです。

【WBA RECOGNITION AWARDS】

<https://wballiance.com/recognition-awards/>



[スーパーコンピュータ AOBA のお知らせより]

東北大学サイバーサイエンスセンター大規模科学計算システムウェブサイトに掲載されたお知らせの一部を転載しています。
<https://www.ss.cc.tohoku.ac.jp/information/>

商用アプリケーションのバージョンアップについて

数値解析ソフトウェア「MATLAB」のバージョンアップを行いましたのでお知らせいたします。
新機能の概要、機能の詳細については開発元 Web サイトをご参照ください。

MATLAB

- バージョン : R2024b
- バージョンアップ日 : 2025 年 4 月 3 日
- サービスホスト : フロントエンドサーバ、AOBA-B
- 起動コマンド : (GUI 版) matlab (コマンドライン版) matlab -nojvm -nosplash -nodesktop -nodisplay
- 開発元 Web サイト : https://jp.mathworks.com/products/new_products/latest_features.html

(情報部デジタルサービス支援課)

AOBA Users' NEWS 「AOBA の杜（あおばのもり）」 Vol. 6 の紹介

スーパーコンピュータ AOBA をご活用いただいている研究事例を紹介しています。是非ご覧ください。

AOBA Users' NEWS 「AOBA の杜（あおばのもり）」 Vol. 6

スーパーコンピュータが実現する線状降水帯の最悪シナリオの予測と被害想定

東北大学工学研究科土木工学専攻 助教 平賀優介 博士（工学）

<https://www.cc.tohoku.ac.jp/service/supercomputer/aoba/>

(情報部デジタルサービス支援課)

執筆要項

— SENAC 執筆要項 —

1. お寄せいただきたい投稿内容

サイバーサイエンスセンターでは、研究者・技術者・学生等の方々からの原稿を募集しております。以下の内容で募集しておりますので、皆さまのご投稿をお待ちしております。なお、一般投稿いただいた方には、謝礼として負担金の一部を免除いたします。

- ・一般利用者の方々が関心をもたれる事項に関する論説
- ・センターの計算機を利用して行った研究論文の概要
- ・プログラミングの実例と解説
- ・センターに対する意見、要望
- ・利用者相互の情報交換

2. 執筆にあたってご注意いただく事項

- (1) 原稿は横書きです。
- (2) 術語以外は、「常用漢字」を用い、かなは「現代かなづかい」を用いるものとします。
- (3) 学術あるいは技術に関する原稿の場合、200 字～400 字程度のアブストラクトをつけてください。
- (4) 参考文献は通し番号を付し末尾に一括記載し、本文中の該当箇所に引用番号を記入ください。
 - ・雑誌：著者, タイトル, 雑誌名, 巻, 号, ページ, 発行年
 - ・書籍：著者, 書名, ページ, 発行所, 発行年

3. 原稿の提出方法

原稿のファイル形式は Word を標準としますが、PDF での提出も可能です。サイズ*は以下を参照してください。ファイルは電子メールで提出してください。

— 用紙サイズ・文字サイズ等の目安 —

- ・ サイズ: A4
- ・ 余白: 上=30mm 下=25mm 左右=25mm 綴じ代=0
- ・ 標準の文字数 (45 文字 47 行)
- ・ 表題=ゴシック体 14pt 中央 ・ 副題=明朝体 12pt 中央
- ・ 氏名=明朝体 10.5pt 中央
- ・ 所属=明朝体 10.5pt 中央
- ・ 本文=明朝体 10.5pt
- ・ 章・見出し番号=ゴシック体 11pt～12pt

*余白サイズ、文字数、文字サイズは目安とお考えください。

4. その他

- (1) 一般投稿を頂いた方には謝礼として、負担金の一部を免除いたします。免除額は概ね 1 ページ 1 万円を目安とします。詳細はデジタルサービス支援課（受付）までお問い合わせください。
- (2) 投稿予定の原稿が 15 ページを超す場合はデジタルサービス支援課（受付）まで前もってご連絡ください。
- (3) 初回の校正は、執筆者が行って、誤植の防止をはかるものとします。
- (4) 原稿の提出先は次のとおりです。

東北大学サイバーサイエンスセンター内 情報部デジタルサービス支援課（受付）

e-mail cc-uketuke@grp. tohoku. ac. jp

TEL 022-795-3406

スタッフ便り

杜の都・仙台に暮らすことになった。これまで何度も訪れていたはずなのに、この街の位置関係はなかなか頭に入らなかった。アーケード街を歩き、街なかを DATE BIKE で駆け抜けながら、道と道のつながりが少しずつ身体に馴染んできた気がする。朝の静謐な気に包まれながら、瑞鳳寺の鐘の音で目を覚ますのもこれまでに経験のない新鮮な感覚だ。広瀬川のせせらぎに耳を傾けつつ、ゆっくりと地下鉄駅へ向かう。いつかは住んでみたいと思っていた仙台。今、その願いが叶い、日々の出来事がひとつひとつ記憶となって心に刻まれていく。(Y.M.)

6月に家族で夢の国・ディズニーランドに行ってきました。きっかけは、たまたまYouTube で見た2024年ハロウィンのパレードでした。音楽もダンサーさんもめちゃくちゃ素敵で、「ディズニーに行きたい!」という気持ちになりました。

優柔不断な私はそこから半年くらい、行こうかどうか悩んでいましたが、「とりあえず予約だけしておけば?」という夫に背中を押され、思い切ってポチッと予約ボタンを押しました。そこからはあっという間に当日。私と夫にとっては6年ぶり、娘にとっては初めてのディズニーでした。

日差しが強い予報だから帽子を持って行こうと思っていたのに案の定忘れた私と、ちゃっかり自分の分だけ持って来ていた夫。普段だったら諍いが起きるところでしたが、笑って済ませられたのは、ディズニーの魔法のおかげだったのでしょうか。この忘れ物以外は特にトラブルもなく、イメトレと課金のおかげでうまくパークを周ることができました。何より、娘がぐずることなくずっと楽しんでいたので、とてもほっとしました。

夢を見るためには現実に戻らないといけない。泣きながら夢の国から帰ってきた私は、次はいつ行こうかなと考えながら、今日も通勤電車で揺られています。(S.F.)



SENAC 編集部会

滝沢寛之 水木敬明 後藤英昭 河合直聡
今野義則 佐々木明里 大泉健治 小野 敏
斉藤くみ子

2025 年 7 月 発行
編集・発行 東北大学
サイバーサイエンスセンター
仙台市青葉区荒巻字青葉 6-3
郵便番号 980-8578
PDF 作成 株式会社 東誠社

スーパーコンピュータ A0BA システム一覧

計算機システム	機 種
サブシステム A0BA-S	SX-Aurora TSUBASA Type 30A
サブシステム A0BA-A	SX-Aurora TSUBASA Type 20B
サブシステム A0BA-B	LX 406Rz-2

サーバとホスト名

フロントエンドサーバ (A0BA-S 用)	sfront.cc.tohoku.ac.jp
データ転送サーバ (A0BA-S 用)	sfile.cc.tohoku.ac.jp
ログインサーバ (A0BA-A, B 用)	login.cc.tohoku.ac.jp
データ転送サーバ (A0BA-A, B 用)	file.cc.tohoku.ac.jp

サービス時間

利用システム名等	利用時間帯
サブシステム A0BA-S	連 続 運 転
サブシステム A0BA-A	連 続 運 転
サブシステム A0BA-B	連 続 運 転
各種サ ー バ	連 続 運 転
大判プリンタ	平日 9:00～21:00

サブシステム A0BA-S の利用形態と制限値

利用形態	キュー名	VE 数※	実行形態	最大経過時間 既定値/最大値	メモリサイズ
無料	sxsf	1	1VE	1 時間/1 時間	96GB
共有	sxs	1	1VE	72 時間/720 時間	96GB×VE 数
		1～2048	8VE 単位で確保		
占有	個別設定				

※ 2VE以上を利用した並列実行にはMPIの利用が必用

サブシステム A0BA-A の利用形態と制限値

利用形態	キュー名	VE 数※	実行形態	最大経過時間 既定値/最大値	メモリサイズ
無料	sxf	1	1VE	1 時間/1 時間	48GB
共有	sx	1	1VE	72 時間/720 時間	48GB×VE 数
		2～256	8VE 単位で確保		
占有	個別設定				

※ 2VE以上を利用した並列実行にはMPIの利用が必用

サブシステム A0BA-B の利用形態と制限値

利用形態	キュー名	ノード数※	最大経過時間 既定値/最大値	メモリサイズ
共有	lx	1～16	72 時間/720 時間	256GB×ノード数
占有	個別設定			

※ 2ノード以上を利用した並列実行にはMPIの利用が必用

目次

東北大学サイバーサイエンスセンター

大規模科学計算システム広報 Vol.58 No.3 2025-7

[共同研究成果]

3次元フェーズフィールド法とデータ同化による

がんオルガノイドの細胞力学モデル	川村 洸太郎	1
	千葉 紀風	
	今井 正幸	

日本領域長期再解析(RRJ-Conv)の長期データ整備と関連する研究開発：

線状降水帯の統計的研究	島村 優作・伊藤 純至	8
	小原 涼太・山崎 剛	
	福井 真・廣川 康隆	

窒化物半導体におけるキャリアのドーパント準位への

無輻射緩和過程の解明	屋山 巴	12
	宮本 良之	

[大規模科学計算システム]

WEBストレージサービス (Nextcloud) の利用方法		16
--------------------------------------	--	----

[JHPCNシンポジウム]

JHPCN学際大規模情報基盤共同利用・

共同研究拠点第17回シンポジウム報告	河合 直聡	42
2025年度JHPCN採択課題ポスター紹介		44

[利用相談室便り]

2025年度の利用相談について		49
新テクニカルアシスタントの自己紹介	河合 直聡	50
	藤村 瑠菜	

[報告]

後藤英昭准教授がWireless Broadband Alliance(WBA)にて

Contributor Award 2024を受賞		51
---------------------------------	--	----

[スーパーコンピュータAOBAのお知らせより]

商用アプリケーションのバージョンアップについて		52
AOBA Users' NEWS「AOBAの杜（あおばのもり）」Vol.5の紹介		52

執筆要項		53
------------	--	----

スタッフ便り		54
--------------	--	----