気候変動リスク情報創生プログラム C:気候変動リスク情報の基盤技術開発

領域課題(i) 気候変動リスクの評価の基盤 となる確率予測情報の創出

<u>大楽浩司</u>

防災科学技術研究所

サブ課題(a):大楽浩司 防災科学技術研究所 サブ課題(b):上野玄太 統計数理研究所 サブ課題(c): 芳村圭 東京大学大気海洋研究所

課題提案の背景

◆人間活動に起因する気候変動の影響は数世紀にわたって続く。緩和策が効果を示すまで少なくとも数十年。適応策と併せた検討が急務。

◆異常気象に伴う風水害の頻度や規模など気候変動リスクについて確率的分析・評価を実施するための基盤的情報の創出が急務。

◆UKCP09(英国における確率的気候シナリオ情報) 平均的な気温や降水量の変化など<u>高頻度事象が対象</u>。 風水害リスクが高い日本・アジア地域において、<u>低頻度極端事象を</u> 対象としたリスク評価に十分な情報でない。

→ 高頻度事象及び低頻度であるが影響の大きい事象(High impact low probability event)も含む、気候変動の確率的基盤情報についての新たな研究提案

※ここでの低頻度極端事象は50年に1回~200年に1回、あるいはそれ以上に希な事象(ダムや 堤防などの社会基盤施設の設計基準に相当する確率)。

達成目標

1) ある排出シナリオ下で、気候モデルアンサンブル実験と統計手法を組み合わせることによって、<u>気候シナリオ実験の不確</u> 実性を確率的に表現した基盤情報を創出すること

2) <u>最適化されたアンサンブル数値実験と統計科学による適切なサンプリング手法</u>の最適な組み合わせにより、非現実的な多大な計算機資源を使用しない<u>極端事象の確率的評価手</u> 法を開発すること

気候変動リスク情報創生プログラム 気候変動リスク情報の基盤技術開発

領域課題(i)「気候変動リスクの評価の基盤となる確率予測情報の創出」

◆気候シナリオ実験の不確実性を確率的に表現した基盤情報の創出 ◆非現実的な多大な計算機資源を使用しない極端事象の確率的評価手法の開発



| £ | F次計画 | | H24 | | H25 | H26 | H27 | | H28 | | |
|--------------|----------------------------------|------------------------------|------------------------------------|----------------------------|---------------------|-----------|---------------------|--------|-------------------|------|--|
| (i = | i)-a 気候変動アンサンブル 実験の最適化手法の関発 | | 高頻度事象確率分布 高頻度事象確率分布推定手法改良 プロトタイプ創出 | | | | | | | | |
| | | 防災科研 | アンサンブル実験の最適化手法の開発 リオのプロトタイプ作 | | | | | | 的シナ プ作成 | | |
| (i |)-b 気候変動フ データに関する約 | アンサンブル 統計学的手 | 高頻度事象確率分布創出手法の開発 | | | | | | | | |
| 泛 | まの開発 | | 極端 | 事象† | ナンプリング | 手法検討 | 極端事 | 象サ | ンプリ | ング | |
| | | 統数研 | | | | | 于法所 | Iヂ | | | |
| (i |)-c アンサンブ | ルデータの スケーリング <u>東大</u> | アンサンブル平均場のDDS手法の開発/気候予測への適用 | | | | | | | | |
| 交 ヨ | 動率的なダウンス E注の開発 | | | | 確率情報のDDS手法の開発 | | | | | | |
| | | | | | | DDSされたアン | たアンサンブル平均場とPDFの創出 | | | 出 | |
| (i | i)-a 予測情報(| の信頼性・ 量化手法の | | | | | | | | | |
| 7 | 不確実性の定量 開発 | | 解析 | 準備 | | | | 7 | ジアモン | シスー | |
| 厚 | | 筑波大 | | 各種 | アンサンブル | レ実験の実施 | 拖∙解札 | 斤 予 | 域等の 持った変 予測 | 層で | |
| (i こ 多 | i)-b 高解像度 /スケーリングに 象変化情報の創 | カ学的ダウ よる極端事 | 20k シフ | mAGC トリオ ⁻ | CM・5kmRCM での計算・検 | 1の複数 証 | 20kmAO-G 2kmRCMの | | CM・ 複数シナリ | | |
| 石 | 研究 | 気象研 | 20k | 20kmAO-GCM・2kmRCMの開発 オでの計算 | | | | | | ₽•検証 | |
| (i | ii)-c 雲解像大気·海洋·波 | | 結合モデルシステム構築 / 台風強度予測高度化 | | | | | | | | |
| 泪 | 良結合モデルに | よる台風強 | 海洋応答解析 / 最大可能強度推定 | | | | | | | | |
| ゟ | 支推正 | 名古屋大 | | | | | | | | | |

マルチモデルアンサンブル実験

✓確率的シナリオ情報創出のためのアンサンブル実験

- 出来る限り主要な要因による不確実性の「幅」を 捉えるためのアンサンブル実験の最適化
- 複数の地域気候モデルによるアンサンブルダウンスケーリング実験



<u>地域気候シナリオ</u>

- ▶ 20km地域気候シナリオによる日降水量データ
 3つのRCM(地域気候モデル)
- 1. NHRCM (Saito et al., 2006; Ishizaki and Takayabu, 2009)
- 2. N-RAMS (Pielke et al., 1992; Dairaku et al., 2008)
- 3. T-WRF (Skamarock et al., 2008; Kusaka et al., 2012)
- •計算期間:1981~2000年(20C3M)、2081~2100年(A1B)。
- 境界条件: MIROC V3.2-hires(力学的ダウンスケーリング)。
 ※これらは環境省推進費S-5-3で行われたシミュレーション結果。
- •1981-2000年: "Recent Climate"
- 2081-2100年: "Future Climate"
- ・この差を「将来変化」として扱う。

▶ 全てのRCMにおいて、地形データとして GTOPO30を用いている。



各RCMの計算領域



NS

NP

ES

EΡ

WS

WP

NHRCM

NRAMS

地域気候シナリオ

▶ 北日本・東日本・西日本の太平洋側・日本海側 (6地域)。AMeDASデータでモデルバイアス評価。



Percentage relative to 20-year observations

Tsunematsu, Dairaku, Hirano, submitted







 ▶ 2081-2100年JJA、1981-2000年JJA。各期間平均日降水量の差。
 3mm/day(月降水量約90mm)以上のグリッド。300mごとの標高帯別。
 ▶山地の西側及び南側に、3mm/day以上増加している地点目立つ。
 ▶ 東海地方では標高による違いが少ない(標高の高い所から 低い所まで満遍なくみられる)。

 それ以外の地域では、標高600m以下の比較的低い所で目立つ。
 特に九州西部では、標高300m以下の地点での増加が広範囲にみ Stanematsu, Dairaku, Hirano, submitted



▶ 九州山地の西側で100mm/day以上の頻度の最大値が約10%から約18%に増加、東側では変化小さい。全RCMにおいて同様の空間分布。



増加が水蒸気フラックスの増加に寄与。Tsunematsu, Dairaku, Hirano, submitted

<u>山岳の西側で夏季降水量が大きく増加する原因</u>

➢ Kurihara et al. (2005):地形性降雨に着目していないが、将来気候シナリオにおける、亜熱帯高圧帯の高気圧性循環の強化が、高気圧の縁に沿った水蒸気フラックスを増加させ、西日本付近における降水量が増加。

→異なるGCM・RCM(MRI-CGCM2とRSM)の結果と本研究結果 が定性的に一致。

➢ 将来気候シナリオで、太平洋高気圧の縁の回って日本列島に流れ込む暖湿流が強化されることにより、山地の風上斜面におけるUpslope Flowが強まり、雨雲の発達が助長され、山地の風上側における降水量が増加。

→現在降水量が多い所で増加。

▶ 夏季に、山地の西~南側における地域では豪雨が増加する恐れ。都市が多く存在する標高の低い土地でも降水量増加が目立つ。

→水害発生ポテンシャルの増加



マルチモデルアンサンブル実験

 マルチGCM×マルチRCMを用いた力学的ダウンスケールアンサンブ ル実験から、GCM/RCMの不確実性を調査



マルチRCM/GCM実験における不確実性

3GCM×3RCMによる計9メンバーによるマルチモデルアンサンブル実験

季節平均地上気温



- ◆ 夏季:GCMによる不確実性が大。
- ◆ 冬季:夏季に比べ、相対的にRCMによる不確実性が大きく、場所によってはGCMと同程度の不 確実性。
 - → RCMの降雪、積雪過程の違いがバラツキの原因か(調査中)

(鈴木パーカー 提供)

アンサンブル実験計画

✓確率的シナリオ情報創出のためのアンサンブル実験

- CMIP3/CMIP5の全球大気・海洋結合モデルに よる海面水温を境界条件
- ・ 台風・梅雨前線などの現象を最低限再現する **60km全球大気モデルによるアンサンブル実験** (初期値、物理スキーム、将来SSTシナリオ)
- 既存の計算結果の収集、統計解析、ダウンス ケーリング予備実験準備

→ (ii)-aと協力・連携

✓複数のRCMによるアンサンブルダウンスケーリング 及び確率統計手法によるサンプリング手法の開発

高頻度事象の確率分布情報の創出

サブ課題(a):防災科学技術研究所 ・既存データ及び新アンサンブル実験 の収集・整理(ii)-aと連携)

・各モデルの信頼性評価
 ・統計的手法による高頻度事象の
 確率分布情報の創出(i)-bと連携)

サブ課題(b):統計数理研究所 ・アンサンブル実験の統計解析 (i)-aと連携)

・確率分布創出手法の理論的整理
 ・確率分布の構成法の開発、妥当性の検証

UKCP09 (Sexton et al., Clim Dyn, 2011) に基づき、ベイズ推定 プログラムを開発中。





(UK Climate Projections Briefing report, 2009)



Figure 12.1. Regularisation of an empirical measure (Musso et al., Improving Regularised Particle Filters, 2001)

高頻度事象の確率分布情報の創出

・既存データ及び新アンサンブル実験の収集・整理(ii)-aと連携) ・先行研究で気候モデルのパフォーマンスを調べる際に用いられた気象要素の 整理と、今回確率分布情報の創出に用いる気象要素・観測データ(案)

既存研究

解析要素(案)

| モデルパフォーマンス | 先行研究でreferenceとして用いられているデータ等 | | | | | エゴルパフィーフンク | | | | |
|---------------------|------------------------------|------------------------------|--|-----------------------------|---------------------------------------|--------------------------|--|---|--|--|
| を調べる気象要素 | Gleckler et al.2008 | Reichler and Kim 2008 | Sexton et al. 2011 | Yokoi et al. 2011 | Nishii et al. 2012 | を調べる気象要素 | 高度等 | referenceとして考えられるデータ | | |
| 気温(Ta) | ERA40/NCEP (200, 850hPa) | ERA40 (1000-100hPa 内の12層) | - | ERA40 (200, 500, 850hPa) | JRA25 (300, 500, 600, 700, 850hPa) | | | | | |
| 地表面気温(T2) | _ | CRU | HadCRUT3 | ERA40 | JRA25 | 気温(Ta) | 200, 300, 500, 700 850 bPa | ERA40/NCEP/JRA25/(JRA55) | | |
| 風(東西風、南北風)(U,V) | ERA40/NCEP (200, 850hPa) | ERA40 (1000-100hPa 内の12層) | _ | ERA40 (200, 500, 850hPa) | JRA25 (200, 850hPa) | | ,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,, | | | |
| 地表面(10m)風(U10, V10) | ERA40/NCEP | - | - | - | - | 地表面気温(12) | _ | EKA4U/NGEP/HadCKU13/JKA25/ (JKA55) | | |
| ジオポテンシャル高度 | ERA40/NCEP (500hPa) | _ | _ | ERA40 (200, 500, 850hPa) | - | 風(東西風、南北風)(U,V) | 200, 500, 850 hPa | ERA40/NCEP/JRA25/(JRA55) | | |
| 比湿 | AIRS/ERA40 (400, 850hPa) | ERA40 (1000-100hPa 内の12層) | - | ERA40 (300, 500, 850hPa) | JRA25 (300, 600, 700, 850hPa) | 地ま西(10m) 国(U10,V10) | | ERA40/NCEP/JRA25/(JRA55) | | |
| 海面気圧(SLP) | ERA40/NCEP | ICOADS | HadSLP2/ERA40 | ERA40 | ERA40 | 1232国(1011/354(010, 110) | _ | | | |
| 海面水温(SST) | ERSST/HadISST | GISST | HadISST1 | HadISST | HadSST2 | ジオポテンシャル高度 | 200, 500, 850hPa | ERA40/NCEP/JRA25/(JRA55) | | |
| 風応力 | ERA40/NCEP | ICOADS | - | - | - | 比湿 | 300, 500, 700, 850hPa | AIRS/ERA40/NCEP/JRA25/(JRA55) | | |
| 潜熱フラックス | SOC/ERA40 | ISCCP/OAFLUX | Da Silva et al. (1994) /SOC/New SOC | SOC | JRA25 | | ,, | · · · · · · · · · · · · · · · · · · · | | |
| 顕熱フラックス | SOC/ERA40 | ISCCP/OAFLUX | Da Silva et al. (1994) /SOC/New SOC | SOC | JRA25 | 海面気圧(SLP) | — | ERA40/ICOADS/HadSLP2 | | |
| 海氷 | _ | GISST | _ | - | - | 海面水温(SST) | _ | ERSST/HadISST/GISST/HadSST2 | | |
| OLR | ERBE/CERES | - | CERES/ISCCP-FD/ERBE | CERES | ERBE | | | | | |
| TOA 上向短波放射(SWTOA) | ERBE/CERES | _ | CERES/ISCCP-FD/ERBE | CERES | ERBE | 風応力 | — | ERA40/NCEP/1COADS | | |
| TOA 晴天短波放射 | ERBE/CERES | _ | _ | _ | _ | 潜熱フラックス | _ | SOC/ERA40/ISCCP/OAFLUX/Da Silva et al. (1994) | | |
| TOA 晴天長波放射 | ERBE/CERES | - | _ | - | - | 顕熱フラックス | _ | SOC/ERA40/ISCCP/OAFLUX/Da Silva et al. (1994) | | |
| 雲の放射強制力(短波) | ERBE/CERES | - | CERES/ISCCP-FD/ERBE | - | - | 01.0 | | ERBE/CERES/ISCCP-FD | | |
| 雲の放射強制力(長波) | ERBE/CERES | - | CERES/ISCCP-FD/ERBE | - | - | ULK | _ | | | |
| 相対湿度 | _ | _ | AIRS/ERA40 | - | _ | TOA 上向短波放射(SWTOA) | _ | | | |
| 降水量 (mm/day) | GPCP/CMAP | CMAP | CMAP/GPCP | GPCP | CMAP | | | | | |
| 降雪量 | | NSIDC | _ | - | _ | 降水量 (mm/day) | _ | GPCP/CMAP/APHRODITE/TRMM | | |
| 雲量 | ISCCP-D2/ISCCP-C2 | - | ISCCP-D2/HIRS | ISCCP-D2 | ISCOP-D2 | | _ | ISCCP_C2 / ISCCP_D2 /HIRS | | |
| 可降水量 | RSS/NVAP | - | - | - | - | ~ ~ ~ | | 13001 02/1300F-DZ/111K3 | | |

まとめ

✓気候シナリオ実験の不確実性を確率的に表現した基盤情報の創出に向けたマルチモデルアンサンブル実験及びその不確実性の検討

✓全球大気モデル(水平格子間隔60km)アンサン ブル実験、複数のRCMによるアンサンブルダウン スケーリング実験準備((ii)-aと協力・連携)

✓UKCP09に基づくベイズ推定プログラム開発中。

✓確率的気候シナリオについて既存研究のレビューと解析に用いる気象要素(メトリック)の整理