

季節内から季節予測プロジェクト (Sub-seasonal to Seasonal Prediction Project)

高谷 祐平*1・中澤 哲夫*2・松枝 未遠*3

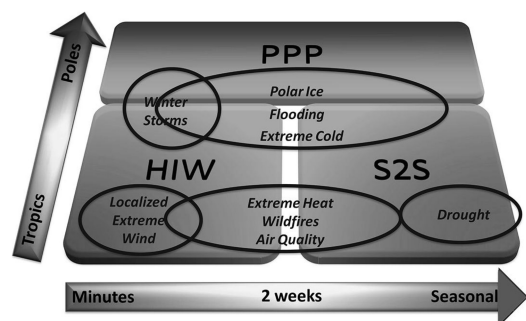
1. はじめに

世界気象研究計画 (WWRP) と世界気候研究計画 (WCRP) は「季節内から季節予測プロジェクト (Sub-seasonal to Seasonal Prediction Project, S2S)」を共同で実施している。本稿では S2S の概要およびデータの利用例について紹介する。

S2S は季節内から季節スケール (ここでは2週間から2か月を指す) の予測技術の向上に資する研究を促進することを目的とした国際研究プロジェクトである。WWRP では、2014年に終了した観測システム研究・予測可能性実験計画 (THORPEX, 余田 2007) の後継プロジェクトとして、S2S, HIW^{後注1)}, PPP^{後注2)} の3つを新たに立ち上げた。これらのプロジェクトは、WWRP が実施する気象予測分野の国際研究の柱となるコアプロジェクトである (第1図)。S2S は、2015年11月に開始され、最初の実施期間は5年間であり、5年経過後に更に5年の延長を再検討することとなっている。S2S の推進のために運営グループ (Steering Group) が設置されており、共同議長は欧州中期予報センター (ECMWF) の Frederic Vitart 氏とコロンビア大学気候と社会のための国際研究所 (IRI) の Andrew Robertson 氏である。S2S に関する最新の情報、および実施計画 (Implementation Plan), 科学計画 (Science Plan) は、S2S のホームページ (<http://s2sprediction.net>) にあるのでご覧いただきたい。また、S2S のメーリングリストへ

の登録もこのホームページから行うことができ、定期的に S2S に関するアナウンスやニュースレターなどを受け取ることができる。

S2S プロジェクトの前半5年間の主な活動は、主要な気象機関の季節内[†]予報のデータを収集・アーカイブし、当該分野の研究のために提供することである。これまで、週間予報のデータは THORPEX 双方向全球アンサンブル (TIGGE, Swinbank *et al.* 2016)^{後注3)} において、また、季節予報の予測実験データは気候システム歴史予測プロジェクト (CHFP, Kirtman and Pirani 2009)^{後注4)} においてそれぞれアーカイブされ、研究目的に公開されている。一方、季節内スケールの予測データのアーカイブは S2S 以前には存在しなかった。新たに公開された S2S の予測データは季節内から季節スケールの予測可能性の研究に大いに貢献すると期待される。



第1図 WWRP の3つのコアプロジェクトとその時間空間スケール (Sharan Majumdar 教授提供)。

*1 (連絡責任著者) Yuhei TAKAYA, 気象研究所, yuhei.takaya@mri-jma.go.jp

*2 Tetsuo NAKAZAWA, 気象研究所。

*3 Mio MATSUEDA, 筑波大学計算科学研究センター/オックスフォード大学。

[†] 本稿における季節内予測, 季節内スケール等の表現は, いずれも“季節内から季節”と同じ時間スケールを表す。

2. 背景と経緯

季節内から季節予測が対象とする時間スケールは、大気の初期状態の影響を受ける約2週間先までの中期予報と、大気よりゆっくりと変動する海洋の影響を受ける数か月先までの季節予報が対象とする時間スケールの中間にある。この時間スケールの予報は、中期予報および季節予報に比べて難しく、「予測可能性の砂漠」と呼ばれることもある。そのため、世界の主要な気象機関が開始したのは近年のことである。一方、気象庁はこの分野において世界をリードしてきており、1996年には世界に先駆けて現業的な1か月予報を開始し(前田・小林 2007)、昨年2月には力学的1か月予報の20周年を迎えた。季節内予測の技術が向上すれば、災害を引き起こす可能性のある洪水や干ばつ、熱波といった顕著天候のリスクを1週間以上前に予測し、リスクに応じた対策が取れると期待されるが、現状では季節内予測の技術は発展途上の段階にあり、まだ十分に活用されているとは言えない。こうした背景を踏まえ、S2Sでは季節内スケールの気候変動の理解および予測の技術の向上、様々な分野の応用利用の推進等を目的とする。

以下にS2Sの実施に関わる経緯を簡潔に述べる。S2Sの構想は2008年12月に開かれた第15回世界気象機関(WMO)大気科学委員会(CAS)において季節内から季節スケールの予測研究の推進が公式に要請されたことに遡る。2010年12月にはイギリス気象局で季節内予測ワークショップ(Workshop on Sub-seasonal to Seasonal Prediction)が開催され、季節内予測の現状がまとめられた。2011年には世界の研究者からなるS2S計画グループが設置され、計画グループにおいて実施計画が策定された。S2Sの実施はWMOの執行理事会(2012年4月)およびWWRPの合同科学委員会(JSC, 2012年4月)、WCRPの合同科学委員会(2012年6月)における承認を経て決定された。その後、2015年11月にS2Sの運営を目的としたS2S国際調整室(ICO)が韓国気象庁気象研究所に設置され、プロジェクトが正式に開始された。

これまでプロジェクトの序盤には、S2Sのデータアーカイブが構築された。多数の機関のデータを共通のデータ形式で準リアルタイムに収集・提供することは口で言うほど簡単なことではないが、多くの関係者の尽力により比較的短期間でアーカイブを構築することができた。既に全ての参加機関のデータが公開され、研究に利用されている。執筆時点(2017年3月15

日)で世界中の登録ユーザー数は600名を上回り、全体の容量は約43TBにもなっている。また、研究の推進のために、S2Sに関連したワークショップ、学会のセッション、サマースクール等も数多く開催されている。S2Sの開始に先立って2014年2月に米国海洋大気庁国立天気気候予測センター(NCWCP)において開催された、季節内から季節予測の国際会議(International Conference on Sub-seasonal to Seasonal Prediction)には約150名、2016年12月にニューヨークにあるIRIで開催された顕著天候と気候の季節内から季節予測可能性に関するワークショップ(Workshop on Sub-Seasonal to Seasonal Predictability of Extreme Weather and Climate)には約120名が参加するなど、世界的にS2Sの研究が盛り上がりを見せている。

3. S2S データベース

S2Sの予測データはECMWFと中国気象局(CMA)により運用されているS2Sデータポータル(<http://apps.ecmwf.int/datasets/data/s2s/>, <http://s2s.cma.cn/index/>)からダウンロードできる。第1表に参加機関およびモデルの諸元を示す。現在、ECMWF、米国環境予測センター(NCEP)、気象庁をはじめ、11の主要な現業気象機関の予測データがアーカイブされている。S2Sではリアルタイムの予測が3週間遅れで提供される。また、S2Sでは再予報のデータが公開されていること、水文・放射関連データが追加されていることなどがTIGGEとの違いである。再予報とはリアルタイムの予測と同一のシステムを用いて、過去の事例を予測することである(高谷2012)。再予報データを使うことで、モデルの予測結果を過去の予測特性から補正したり、過去の予測事例を解析することができる。アーカイブされている要素は、気圧面の高度、気温、風速、および、2m気温、降水量、10m風等の基本的な気象要素に加え、地表面・大気上端の放射・熱フラックス、土壌温度、土壌水分等の物理量を含む。また、今後、海洋の要素についてもアーカイブされる予定である。要素の一覧はS2Sのデータポータルに記載されている。注意してほしい点は、各機関の予測開始日(曜日)や頻度、海洋・海氷結合の有無が異なっている点である。S2Sデータベースの解説についてはVitart *et al.* (2017)も参照いただきたい。

第1表 S2Sに参加するシステムの諸元.

参加機関(国)	リアルタイム予報					再予報			
	予報期間 (初期時刻)	モデル解像度	アンサンブル数	予報頻度	データのある期間	アンサンブル数	再予報の頻度	再予報期間	再予報の計算 (バージョン)
BoM (オーストラリア)	1 - 62日 (00UTC)	T47L17	33	日曜日 木曜日	2015.01.01 -	33	毎月1, 6, 11, 16, 21, 26日	1981-2013	リアルタイム予報 と一緒に計算 (2014.01.01)
CMA (中国)	0 - 60日 (00UTC)	T106L40	4	毎日	2015.01.01 -	4	毎日	1994-2014	事前に計算 (2014.05.01)
ECCC (カナダ)	1 - 32日 (00UTC)	0.45° x 0.45° L40 (非結合)	21	木曜日	2016.01.07 -	4	毎週木曜日	1995-2014	リアルタイム予報 と一緒に計算
ECMWF (ヨーロッパ)	0 - 46日 (00UTC)	Tco639L91(10日まで) Tco319L91(10日以降)	51	月曜日 木曜日	2015.01.01 -	11	毎週月曜日 毎週木曜日	過去 20年	リアルタイム予報 と一緒に計算
HMCR (ロシア)	0 - 61日 (00UTC)	1.125° x 1.40625° L28(非結合)	20	水曜日	2015.01.07 -	10	毎週水曜日	1985-2010	リアルタイム予報 と一緒に計算
ISAC-CNR (イタリア)	0 - 31日 (00UTC)	0.75° x 0.56° L54 (スラブ海洋モデル結 合)	41	A. 月曜日 B. 木曜日	A. 2015.11.09 - 2017.01.16 B. 2017.01.17 -	1	5日毎	1981-2010	事前に計算 (2015.03.26)
JMA (日本)	0.5 - 33.5日 (12UTC)	TL319L60 (非結合)	25	火曜日 水曜日	2015.01.06 -	5	毎月10, 20日, 月末	1981-2010	事前に計算 (2014.03.04)
KMA (韓国)	0-60日 (00UTC)	N216 (0.83° x 0.56°) L85	4	毎日	2016.11.01 -	3	毎月1,9,17,25 日	1991-2010	リアルタイム予報 と一緒に計算
Met. France (フランス)	A. 0 - 61日 B. 0 - 32日 (00UTC)	TL255L91	51	A. 月1回 (1日) B. 木曜日	A. 2015.05.01 - 2016.02.01 B. 2016.03.03 -	15	毎月1,15日	1993-2014	事前に計算 (2014.12.01)
NCEP (アメリカ)	0 - 44日 (00UTC)	T126L64	16	毎日	2015.01.01-	4	毎日	1999-2010	事前に計算 (2011.03.01)
UKMO (イギリス)	0 - 60日 (00UTC)	N216 (0.83° x 0.56°) L85	4	毎日	2015.12.01 -	3	毎月1, 9, 17, 25日	1993-2015	リアルタイム予報 と一緒に計算

4. サブプロジェクトと関連プロジェクトとの連携

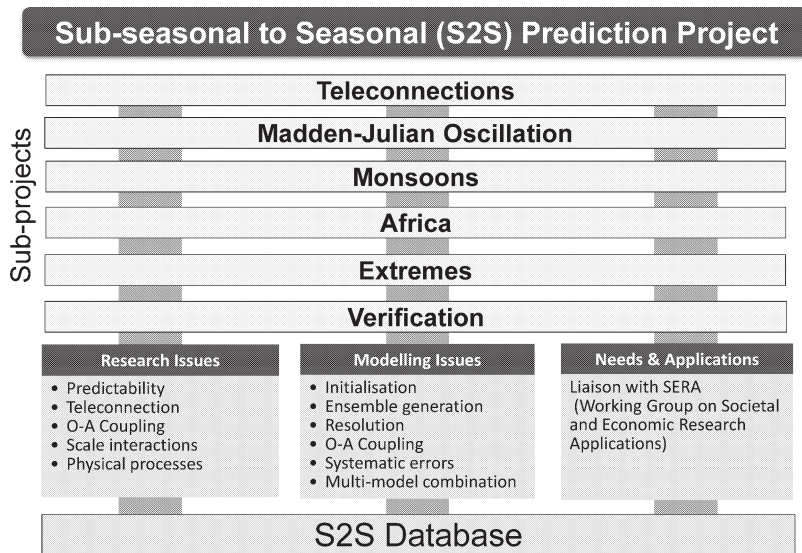
S2Sでは、主要な研究テーマに取り組むサブプロジェクトを設置して研究を行っている(第2図)。現在、顕著天候、モンスーン、マッデン・ジュリアン振動(MJO)、アフリカ、テレコネクション、検証からなるプロダクトに関する6つのサブプロジェクトがある。これらのテーマ以外に、予測可能性、大気海洋結合、スケール間相互作用、物理プロセス等の研究課題、初期化、アンサンブル手法、モデル解像度、系統誤差、マルチモデルアンサンブル等のモデリング課題、社会経済学的な応用といった横断的研究課題がある。サブプロジェクトの詳細、活動については、S2Sホームページを参照いただきたい。

また、S2Sのデータを有効に研究に活用するためには、他の研究プロジェクトと連携して研究を推進することが重要である。例えば、極域予測の研究ではPPPと極域予測年(YOPP)と呼ばれる国際共同研究計画で協力するほか、MJO研究では数値実験のた

めの作業部会(WGNE)のMJOタスクフォース^(後注5)と、成層圏-対流圏の予測可能性では成層圏過程とその気候影響プロジェクト(SPARC)の成層圏予測評価比較プロジェクト(SNAP)^(後注6)と、陸面過程では全球エネルギー・水循環観測計画(GEWEX)の大気陸面相互作用比較実験(GLACE)と連携している。その他、海大陸研究強化年(YMC)国際集中観測^(後注7)とも連携して研究を推進する予定である。このようにS2Sでは様々な国際的な研究プロジェクトと連携しつつ当該分野の研究を推進している。

5. S2Sプロダクトの例

S2Sのデータを用いることで多数のモデルの予測結果に基づく解析、プロダクトの作成、評価が可能になる。代表的なプロダクト例としては、ECMWFが作成しているプロダクト、および、著者の松枝が構築しているS2S Museumというプロダクトのホームページがある(<http://gpvjma.ccs.hpcc.jp/S2S/>)。



第2図 S2Sのサブプロジェクトと研究課題 (S2S ホームページより)。

ECWMF のプロダクト ホーム ページ (<http://www.ecmwf.int/en/research/projects/s2s/charts/s2s/>) では、7つの数値予報機関のS2Sデータに対して、S2Sプロジェクトのサブ課題である顕著天候、MJO、テレコネクションに関連する

- ・顕著予報インデックス (EFI: Extreme Forecast Index), 地上気温
- ・MJO, ホフメラー図 (U200偏差, U850偏差, OLR 偏差)
- ・週平均偏差 (地上気温, 500 hPa 高度場, 降水量)

等のプロダクトを現時点で見ることができる。EFI (Lalurette 2003) は、顕著天候の発生ポテンシャルを表す指標であり、モデル気候値の分布 (ここではS2Sの再予報データから見積もる) と予報値の分布の差の積分により定義される (-1から1の値をとり、その絶対値が1に近いほど顕著天候の発生可能性が高い)。ECMWFのホームページでは、地上気温についてのEFIのみが公開されているが、原理的には降水量や風速などユーザーのニーズに応じた変数に対してEFIを算出する事が可能である。また、週平均偏差は、S2Sのサブ課題の1つであるテレコネクションに関連した大気循環場偏差を見るのに適している。

S2S Museum は、TIGGE (15日先までを対象とする中期アンサンブル予報) データを用いた TIGGE Museum^{後注 8)} と同様に、筑波大学計算科学研究センター内で運用されており、最新 (21日前) の予報デー

タをもとに毎日更新され、大気および海洋に関連する以下のプロダクトを見ることができる。

- ・北極/南極振動指数
- ・海面更正気圧
- ・北大西洋振動指数
- ・テレコネクション指数 (太平洋・北米パターンなど)
- ・波の活動度 (wave activity) フラックス
- ・成層圏突然昇温
- ・MJO
- ・海面水温
- ・海水被覆率

今後は、TIGGE Museumで既に公開されている顕著天候 (高低温, 豪雨, 強風等) 予報, および、予報の精度検証に関するプロダクトなどもS2S Museumにて公開予定である。

両ホームページともS2Sデータの提供が開始された2015年1月以降の全予報のプロダクトも見ることができるため、過去に起こった異常気象の予報がどうであったかを容易に知ることができる。

6. 終わりに

著者の一人である中澤はWWRPを管轄するWMOの気象研究課長としてS2Sの立ち上げに携わり、その後、ICOにおいて研究プロジェクトの調整に尽力してきた。また、高谷はS2Sの計画グループメンバーとして実施計画の策定に関わり、現在もS2Sの運営グループのメンバーとして複数のサブプロジェクトに関わっている。著者の松枝は本稿で示した例のように、これまで先行してTIGGEおよびS2Sの予報データを用いた研究を行ってきた。S2Sプロジェクトの中核となるデータベースの構築については、これまでに概ね完了し、既に定常的にデータが配布されているが、S2Sプロジェクトはまだ第一ステップを通過したに過ぎない。S2Sのデータが研究に活用され、その成果が季節内予測の技術の向上に結びつくためには、更なる研究が不可欠である。季節内予測に関する科学的課題は、アンサンブル予報や結合モデルによる予測・同化といった予測技術から、季節内変動, 中高

緯度大気循環の予測可能性の理解まで多岐にわたる。日本はこれまでも THORPEX 等の研究に対し、大きく貢献してきたところである。S2S プロジェクトにおいても日本気象学会の多くの皆様のご協力をお願いするとともに、季節内予測の研究が今後さらに発展することを切に願ひ、本稿の結びとしたい。

略語一覧

CAS : Commission for Atmospheric Sciences 大気科学委員会
 CHFP : Climate-system Historical Forecast Project 気候システム歴史予測プロジェクト
 CMA : China Meteorological Administration 中国気象局
 ECMWF : European Centre for Medium range Weather Forecasts 欧州中期予報センター
 EFI : Extreme Forecast Index 顕著予報インデックス
 GEWEX : Global Energy and Water Cycle Experiment 全球エネルギー・水循環観測計画
 GLACE : Global Land-Atmosphere Coupling Experiment 大気陸面相互作用比較実験
 HIW : High Impact Weather
 ICO : International Coordination Office 国際調整室
 IRI : International Research Institute for Climate and Society 気候と社会のための国際研究所
 JSC : Joint Scientific Committee 合同科学委員会
 MJO : Madden-Julian Oscillation マッデン・ジュリアン振動
 NCEP : National Centers for Environmental Prediction 米国環境予測センター
 NCWCP : NOAA Center for Weather and Climate Prediction 米国海洋大気庁国立天気気候予測センター
 PPP : Polar Prediction Project 極域予測プロジェクト
 S2S : Sub-seasonal to Seasonal Prediction Project 季節内から季節予測プロジェクト
 SNAP : Stratospheric Network for the Assessment of Predictability 成層圏予測評価比較プロジェクト
 SPARC : Stratospheric Processes And their Role in Climate 成層圏過程とその気候影響
 THORPEX : The Observing-system Research and Predictability Experiment 観測システム研究・予測可能性実験計画
 TIGGE : THORPEX Interactive Grand Global Ensemble 「THORPEX」双方向全球アンサンブル
 WCRP : World Climate Research Programme 世界気候研究計画
 WGNE : Working Group on Numerical Experimenta-

tion 数値実験のための作業部会

WMO : World Meteorological Organization 世界気象機関

WWRP : World Weather Research Programme 世界気象研究計画

YMC : Years of the Maritime Continent 海大陸研究強化年

YOPP : Year Of Polar Prediction 極域予測年

後注

- 1) HIW ホームページの URL : https://www.wmo.int/pages/prog/arep/wwrp/new/high_impact_weather_project.html
- 2) PPP ホームページの URL : <http://www.polarprediction.net/>
- 3) TIGGE データアーカイブの URL : <http://apps.ecmwf.int/datasets/data/tigge/>
- 4) CHFP データアーカイブの URL : <http://chfps.cima.fcen.uba.ar/>
- 5) MJO タスクフォースの URL : http://www.wmo.int/pages/prog/arep/wwrp/new/MJO_Task_Force_index.html
- 6) SNAP プロジェクトの URL : <http://www.sparc-climate.org/activities/assessing-predictability/>
- 7) YMC プロジェクトの URL : <http://www.bmkg.go.id/ymc/>
- 8) TIGGE Museum の URL : <http://gpvjma.ccs.hpcc.jp/TIGGE/>

参考文献

- Kirtman, B. and A. Pirani, 2009: The state of the art of seasonal prediction: outcomes and recommendations from the first world climate research program workshop on seasonal prediction. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **90**, 455-458.
- Lalauette, F., 2003: Early detection of abnormal weather conditions using a probabilistic extreme forecast index. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **129**, 3037-3057.
- 前田修平, 小林ちあき, 2007: 力学的長期予報の現実化. *天気*, **54**, 537-540.
- Swinbank, R. *et al.*, 2016: The TIGGE project and its achievements. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **97**, 49-67.
- 高谷祐平, 2012: 再予報・ハインドキャスト. *天気*, **59**, 493-495.
- Vitart, F. *et al.*, 2017: The Subseasonal to Seasonal (S2S) Prediction project database. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **98**, 163-173.
- 余田成男, 2007: THORPEX (観測システム研究・予測

462 季節内から季節予測プロジェクト (Sub-seasonal to Seasonal Prediction Project)

可能性実験計画). 天気, 54, 156-162.
