

2. YMC：海大陸域における大気—海洋—陸面相互作用研究

米 山 邦 夫*

1. はじめに

赤道に沿ってインド洋と太平洋にまたがる海と陸(島)が混在する世界最大の多島海を海大陸と呼び、地球上でもっとも海面水温が高い暖水プール域のため、積雲対流活動が活発で、降水量も多い。対流発達に伴い放出される熱が地球規模での大気大循環の駆動源であることから、同域の積雲対流活動の理解は、熱帯のみならず中高緯度の気象・気候を理解する上でも不可欠である。しかしながら、複雑な海岸線に加え、2000 mを超える山々による急峻な地形、太平洋とインド洋とをつなぐ海流、などの影響により、最新の気候・現業予報モデルでも降水量を正確に再現出来ていない。一般に、人工衛星などによる観測値と比べ、数値モデルの結果は海上で少なく、陸上で多い系統的なバイアスの存在が指摘されている(Love *et al.* 2011)。特に同域では日周期降水が卓越するが、多くのモデルが降雨強度だけでなく、卓越する時間の再現も成功していない。

また、熱帯には主にインド洋で東西スケール数千 km の巨大雲群が発達し、赤道に沿って約 5 m/sec で東進するマッデン・ジュリアン振動(MJO)と呼ばれる30-60日周期の現象がある(Madden and Julian 1994)。そのMJOが海大陸域で活発な時にテレコネクションによる中高緯度への影響がもっとも大きくなる一方で、MJOの東方伝播に対して海大陸がバリア効果をもつことも知られているが、そのメカニズムは解明されていない。

以上の未解明点を動機に、海大陸域における特に降水過程に注目した気象・気候システムを観測と数値実

験により理解し、予測技術の向上を図り、さらにそれらが全球の気象・気候に与える影響についても理解することを目指して、国際プロジェクト“海大陸研究強化年(YMC)”が立ち上げられた。ここでは、2017年7月から2年の予定で始まるYMCの概要・展望と、予備研究について紹介する。

2. YMCが目指すもの

前述通り、YMCは海大陸域における降水メカニズムの解明を動機とした気象・気候システムの理解を目指すプロジェクトであるが、同域に卓越する4つの対象(現象)とそれらをカバーする数値モデルによる予測研究の5つの課題を設定している。4つの注目対象とは、i) 日周期、MJO、モンスーンなど様々な時空間スケールを持つ現象における積雲対流活動、ii) インドネシア通過流、南シナ海通過流、沿岸湧昇などに代表される海洋表層変動と大気との相互関係、iii) 脱水過程に注目した成層圏と対流圏との相互作用、iv) 泥炭火災、森林火災などのバイオマスバーニング起源エアロゾルによる雲の形成効果、である。特に、同域ではアジアモンスーンやオーストラリアモンスーンなど季節変動の卓越とその地域に与える影響が顕著であるため、それらを十分カバーすること、さらには多くの機関が参加しやすいこと、を意図して、キャンペーン期間が2年に及ぶ設計になっている。

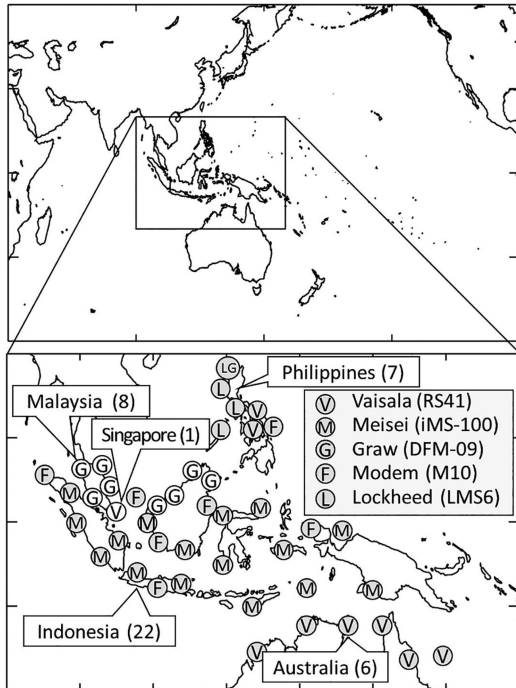
3. 特徴・チャレンジ

海大陸は広大である。YMCでは東部インド洋から西部太平洋にかけて、南はオーストラリアから北は南シナ海・フィリピン海まで、を主な対象領域としている。また、対象とする現象も日変化からモンスーンを中心に比較的長期的な現象もターゲットに設定している。そこで、YMCにおける基本的な観測戦略は、現

* 海洋研究開発機構。

yoneyamak@jamstec.go.jp

© 2019 日本気象学会



第1図 YMC 参加予定の現地現業機関によるラジオゾンデ観測サイト。アルファベットの違いは製造元の違い（図中に記載、ただし2017年1月末現在）を示す。YMCプロジェクトとして相互比較、データ補正を実施し、共通精度のデータ提供を予定している。

地現業機関を中心とする広域・長期観測と、研究対象を絞った数カ月単位の集中観測の組み合わせである。これを実現するため、現地現業機関の理解と積極的な関与が不可欠である。第1図はキャンペーンに参加予定の現地現業機関のラジオゾンデ観測点を示す。これらの点では現在も1日1回ないし2回の放球が行われ、かつ速報値が全球通信システム（GTS）を介して流通している。しかしGTSで入手可能なデータはいわゆる指定高度や変曲点高度など限られたサンプルである。YMCでは高精度解析のために、これらの現業機関から通常は出回らない飛揚中1-2秒間隔で取得される高解像度の生データが提供される予定である。いくつかの集中観測期間中には、これらのサイトでも観測が強化され、例えば日周期降水研究のため1日8回に増強される計画がある。高頻度観測になった場合もGTS経由で速報値は流通し、現業客観解析データとして出回るだけでなく、後日再解析データと

しても利用される計画があり、過去の集中観測で実証されているように、精度の良いデータセットにより様々な現象の理解が進むことが期待される（例えば、Achuthavarier *et al.* 2017）。

実はこのような緊密な協力関係が実現するのは、インドネシアにおけるレーダー観測網の展開や技術支援（Yamanaka *et al.* 2008）、2011年に行われたインド洋におけるMJO対流発生過程の解明を目指した国際プロジェクトCINDY/DYNAMO（Yoneyama *et al.* 2013）などを含む過去のプロジェクト研究の実施の中で築いてきた信頼関係の上に成り立つものである。余談であるが、むしろこの協力関係の確立がYMC発案のきっかけとなった。現地での観測を実現するためにはいくつかの許可を取得しなければならないが、そのためには許認可権を持つ担当省庁に対して現地機関からの交渉が不可欠だからである。YMCで目指す本当のチャレンジは外洋ではなく、インドネシアを始めとする陸上や排他的経済水域（EEZ）内、さらには人工衛星データでは精度の落ちる沿岸を含む領海内での観測を実現することである。海大陸が気象・気候変動の理解にとって重要な位置を占めることは何10年も前からわかっていた事実であるが、サイエンスとは違う次元の理由により叶わなかった沿岸における観測研究が、現地機関の協力によりハードルが下がったことこそがYMCの実現する理由である。

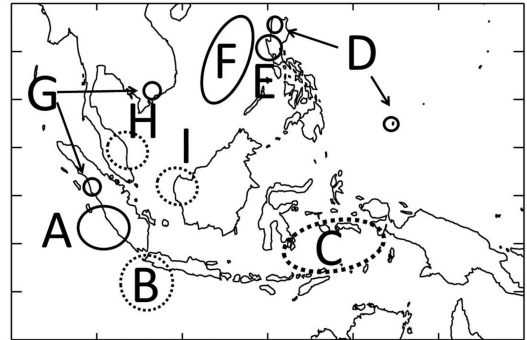
4. スマトラ西岸域降雨観測：Pre-YMC

YMCのキャンペーン期間中には前述通り、いくつかの集中観測が計画されている。現時点で予定されている主な計画を第2図にまとめている。その中で先陣を切るのが、2017年11月から2018年1月にかけてインドネシア・スマトラ島西岸で行われる降雨観測である。12月、統計的には南緯5度を中心としてインド洋東部からインドネシア内海にかけ東西に降水ピークが現れる（第3図）。これは主にこの時期MJO対流が通過することに起因する。また、過去の研究により、日射の日変化に起因する降水システムの発達夕方海岸線上で現れ、その後、明け方には沖合に伝播していく特徴が知られている（Mori *et al.* 2004）。しかしながら、その伝播メカニズムは諸説あり解明されておらず、このことが数値モデルによる日周期降水の再現が不十分な原因ともなっている。そこで、MJO対流の発達がしばしば観測され、気候学的に降水量が多い沿岸において、陸から沖合に伝播する降水システムを

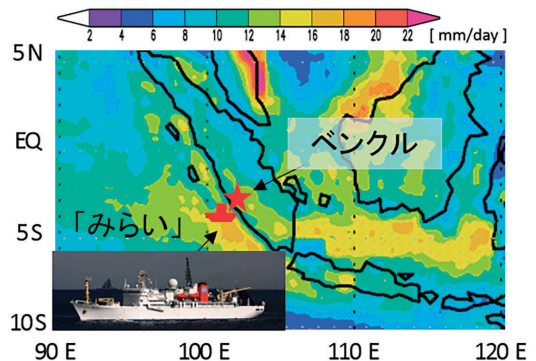
陸・海双方から捉えることで、伝播メカニズムを明らかにすることを目的として観測を行う。このため、陸上サイトの他、海洋地球研究船「みらい」を沖合に展開し、ドップラーレーダーやラジオゾンデによる大気観測、CTD 海洋観測などを実施する。船の周囲には自動走行する装置を展開し、より面的に捉える計画である。

キャンペーンの実施には現地機関の協力が不可欠であるが、特に他国の EEZ 内において海洋観測を行う場合、国連海洋法条約に基づき外交ルートを通じて同意・許可を得なければならない。さらにインドネシアの場合には、研究・技術・高等教育省からの観測許可や防衛省からの許可（セキュリティ・クリアランス）など各種国内法に基づく許可を取得しなければ観測は実施できない。現地機関の強い支援が期待される現在でも不安は付きまとう。そこで、キャンペーン開始を前に、その不安を払拭すべく Pre-YMC と題して 2015 年 11 月から 12 月にかけてスマトラ西岸の都市ベンクル近海で観測を行った。これは各種クリアランス取得のリハーサルと同時に、本観測から 2 年前に行うことで、インド洋ダイポールモード現象やエルニーニョ現象など大規模場が異なる環境でのデータ取得も目指したためである。Pre との文字は付くが、当然ながら本観測である。

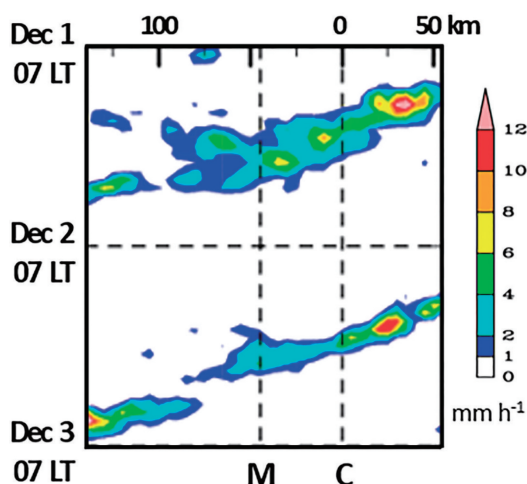
「みらい」が日本を発つ当日にセキュリティ・クリアランス取得の報を受け、途中インドネシア管轄域に入るタラウド諸島にて海軍のオフィサーと現地研究者が乗船し、観測がスタートした。第 3 図にあるように事前調査で選定したスマトラ島南西岸の町ベンクルにて陸上サイトを展開するとともに、その沖合約 50 km で「みらい」は 11 月 23 日から 12 月 17 日まで定点観測を実施した。この間 12 月 13 日には MJO 対流の中心が同域を通過しており（図略）、それに伴う降水変動の研究が鋭意進行中である（Wu *et al.* 2017）。第 4 図は 12 月 1 日から 2 日にかけて、「みらい」船上のドップラーレーダーにて観測された降水強度を海岸線からの距離の関数として示したものである。MJO 対流の中心が到達するまではこのように、夕方に海岸上空で降水が発達し、明け方にかけて沖合に伝搬していく日周期降水の様子を明瞭に捉えることができた。現在レーダーに加え、3 時間毎のラジオゾンデデータなどを用いた伝搬特性の研究や、海洋表層構造の変化などの研究が行われている。これらの解析結果は、2017 年実施のデータ解析と合わせることで、より包括的に理解す



第 2 図 2017 年 4 月末現在で集中観測が予定されている海域（点線は申請中）。主目的、期間、主要参加国・地域は以下の通り。
A：日変化と MJO（2017 年 11-12 月，日本・インドネシア；2019 年 12 月-2020 年 1 月，豪州），B：日周期降水（2019 年 11 月-2020 年 1 月，英国），C：通過流・大気海洋相互作用（2018 年 5 月，米国・インドネシア），D：北進季節内振動（2018 年 7-8 月，フィリピン・日本・パラオ），E：日周期・季節内変動（2018 年 8-10 月，米国・フィリピン），F：モンスーン（2017 年 12 月-2018 年 1 月，2018 年 5-6 月，台湾），G：モンスーン（2018 年 7 月，日本・ベトナム・インドネシア），H：モンスーン・コールドサージ・沿岸豪雨（2018 年冬季，中国・マレーシア），I：MJO・日周期降水（2018/2019 年冬季，米国・マレーシア）。



第 3 図 人工衛星 TRMM (1998-2012 年，3 B43) から求められた 12 月の平均降雨分布。Pre-YMC 集中観測で展開した陸上観測サイトベンクルと沖合の「みらい」の位置を重ねている。



第4図 Pre-YMC キャンペーン期間中に「みらい」ドップラーレーダーにより観測された日周期降水の沖合への伝搬例。Cは海岸線，Mは「みらい」の位置を示す。Yokoi *et al.* (2017) より一部抜粋。

ることが可能である。

5. おわりに

YMCでは5つの活動を宣言している。i) 取得したデータの公開，ii) 期間中の集中観測の実施，iii) 数値モデルの改善，iv) 予測技術向上の現地機関への還元，v) 人材育成，である。

キャンペーン期間の2年間は従来の集中観測に比べれば長い。しかし複雑な地形だけでなく、広大かつ多岐にわたる現象が存在する海大陸域の気象・気候システムの理解に2年のキャンペーンだけで解決するとは考えていない。言い換えれば、YMCは海大陸の研究を強化するとともに、これをきっかけに現地機関が中心となって観測を継続し、モデルの改善活動に励むことを目指している。また、同時期に同じく2年間行われる予定の極域キャンペーン YOPP と共に膨大なデータを提供することで、この2年間は全球的にデータの充実した時期となり、客観解析データなど精度の高いプロダクトが期待できる。さらに、数値モデルに係る複数の国際活動 (S2S, MJO タスクフォースなど) と議論を重ね、データの有効活用について検討をしている。このようなシナジーのもと、大気と海洋だけでなく、陸面も含めた相互作用の研究の礎が築かれつつある。キャンペーンの全データは容易かつタイムリーに提供されることが責務となっており、観測への

参加のみならず、公開データの積極利用も広く求めたい。取得データを始めとして YMC に関する情報は2つのホームページ (主サイト: <http://www.bmkg.go.id/ymc/>, 補助サイト: <http://www.jamstec.go.jp/ymc/>, いずれも2018.10.15閲覧) で提供されている。

謝 辞

YMC プロジェクト実施に当たっては、特に海大陸域各国の政府機関を中心に各種便宜供与を受け進行しております。特に2017年度実施予定のスマトラ西岸での集中観測実現に向けては、インドネシア気象・気候・地球物理庁、インドネシア技術評価応用庁、研究技術・高等教育省、在ジャカルタ日本大使館から全面的な支援を受けて準備を進めております。ここに謝意を表します。

略語一覧

CINDY/DYNAMO: Cooperative Indian Ocean experiment on intraseasonal variability in the Year 2011/
Dynamics of the MJO
CTD: Conductivity-Temperature-Depth
EEZ: Exclusive Economic Zone
GTS: Global Telecommunication System
MJO: Madden-Julian Oscillation
S2S: Subseasonal-to-Seasonal Prediction Project
YMC: Years of the Maritime Continent
YOPP: Year of Polar Prediction

参 考 文 献

- Achuthavarier, D., H. Wang, S. D. Schubert and M. Sienkiewicz, 2017: Impact of DYNAMO observations on NASA GEOS-5 reanalyses and the representation of MJO initiation. *J. Geophys. Res. Atmos.*, **122**, 179–201.
- Love, B. S., A. J. Matthews and G. M. S. Lister, 2011: The diurnal cycle of precipitation over the Maritime Continent in a high-resolution atmospheric model. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **137**, 934–947.
- Madden, R. A. and P. R. Julian, 1994: Observations of the 40–50-day tropical oscillation—A review. *Mon. Wea. Rev.*, **122**, 814–837.
- Mori, S., J.-I. Hamada, Y. I. Tauhid, M. D. Yamanaka, N. Okamoto, F. Murata, N. Sakurai, H. Hashiguchi and T. Sribimawati, 2004: Diurnal land-sea rainfall peak migration over Sumatera Island, Indonesian

- maritime continent, observed by TRMM satellite and intensive rawinsonde soundings. *Mon. Wea. Rev.*, **132**, 2021–2039.
- Wu, P., D. Ardiansyah, S. Yokoi, S. Mori, F. Syamsudin and K. Yoneyama, 2017: Why torrential rain occurs on the western coast of Sumatra Island at the leading edge of the MJO westerly wind bursts? *SOLA*, **13**, 36–40.
- Yamanaka, M. D., H. Hashiguchi, S. Mori, P.-M. Wu, F. Syamsudin, T. Manik, J.-I. Hamada, M. K. Yamamoto, M. Kawashima, Y. Fujiyoshi, N. Sakurai, M. Ohi, R. Shirooka, M. Katsumata, Y. Shibagaki, T. Shimomai, Erlansyah, W. Setiawan, B. Tejasukmana, Y. S. Djajadihardja and J. T. Anggadiredja, 2008: HARIMAU radar-profiler network over the Indonesian maritime continent: A GEOSS early achievement for hydrological cycle and disaster prevention. *J. Disaster Res.*, **3**, 78–88.
- Yokoi, S., S. Mori, M. Katsumata, B. Geng, K. Yasunaga, F. Syamsudin, Nurhayati and K. Yoneyama, 2017: Diurnal cycle of precipitation observed in the western coastal area of Sumatra Island: Offshore preconditioning by gravity waves. *Mon. Wea. Rev.*, **145**, 3745–3761.
- Yoneyama, K., C. Zhang and C. N. Long, 2013: Tracking pulses of the Madden-Julian Oscillation. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **94**, 1871–1891.
-