

**海大陸レーダーネットワーク構築:
HARIMAU (Hydrometeorological ARray for Isv-Monsoon AUtomonitoring)
- 平成 19 年度の成果 -**

山中大学^{1,4}, 橋口浩之², 森修一¹, 川島正行³, 藤吉康志^{3,5}, 大井正行³, 濱田純一¹,
櫻井南海子¹, 筆保弘徳¹, 城岡竜一¹, 勝俣昌巳¹, 伍培明¹, 佐々木太一¹, 一柳錦平¹,
立花義裕¹, 荻野慎也^{1,4}, 下舞豊志⁶, 柴垣佳明⁷, 山本真之²,

F. Syamsudin⁸

(1 海洋研究開発機構地球環境観測研究センター, 2 京都大学生存圏研究所,

3 北海道大学低温科学研究所, 4 神戸大学大学院理学研究科,

5 海洋研究開発機構地球フロンティア研究センター, 6 島根大学, 7 大阪電気通信大学, 8 TISDA/BPPT)

1. はじめに

平成 17 年度採択の海洋開発及地球科学技術調査研究促進費「地球観測システム構築推進プラン」(JEPP)の一課題である「海大陸レーダーネットワーク構築」(HARIMAU)も、現時点でその 5 ケ年計画のうちの前半 3 年が経過した。当課題の背景や初期 2 年間(17~18 年度)の成果については前回の研究成果報告会で述べたので、ここでは最近 1 年間(19 年度)の成果と今後の展望についてまとめておくこととする。なお成果の詳細は、当課題のホームページ http://www.jamstec.go.jp/iorgc/harimau/HARIMAU_jp.html にあるので御参照願いたい。

2. 全体計画と現状

当課題の目的は、インドネシア「海大陸」に気象レーダー(スマトラ島 Padang, ジャワ島 Jakarta (Serpong)の 2 ケ所)やウィンドプロファイラー(カリマンタン島 Pontianak, スラウェシ島 Manado (2008 年夏予定), パプア州 Biak の 3 ケ所)を建設し(図 1), GEOSS の主眼とする国際社会貢献(具体的には当該地域の水資源管理, 在留邦人も含めた現地住民の防災, データの準リアルタイム公開による世界各国での気候変動予測精度向上など)を達成するとともに、季節内変動やモンスーン(HARIMAU の「I」と「M」)など「海大陸」で起こる熱帯気象・気候現象を科学的に解明することである。インドネシアの気象・気候については、当機構よりずっと早くから京都大学(当課題でも再委託機関である)が研究実績を挙げているが、同大学が中心の最近の科学研究費補助金(特定領域研究)「赤道大気上下結合」(平成 13~18 年度)では一つのスーパーステーション(スマトラ島 Kototabang 赤道大気レーダー(EAR))で大気を「鉛直」方向に広範囲に観測し、かつ純科学的な目的で研究を推進してきたのに対して、HARIMAU では複数観測点で観測ネットワークを組み下層大気を「水平」に観測するものであり、また GEOSS で要請される社会応用・社会貢献に重点を置いている点が特徴である。勿論、大気は 3 次元であるので、鉛直・水平両方が必要であり、今後の永続的な観測の維持を考えた場合、社会貢献は重要であるので、これら 2 つの流れは実際には相互に連携・情報交換しつつ進められてきた。

本年度は、予算削減も考慮し、当初 3 年目に計画した Manado ウィンドプロファイラーの設置を次(20)年度に持ち越すとともに、GEOSS 閣僚級会議(地球観測サミット)が開催されることも考え、より社会的インパクトが大きい Jakarta (Serpong)気象レーダーの設置を優先して実施した。既に設置した各観測点の観測データは、

全て衛星回線を用いて日本からモニタできるようにするとともに、気象レーダー2点についてはほぼリアルタイムな降雨分布画像および過去画像データアーカイヴをインターネット上に公開している。

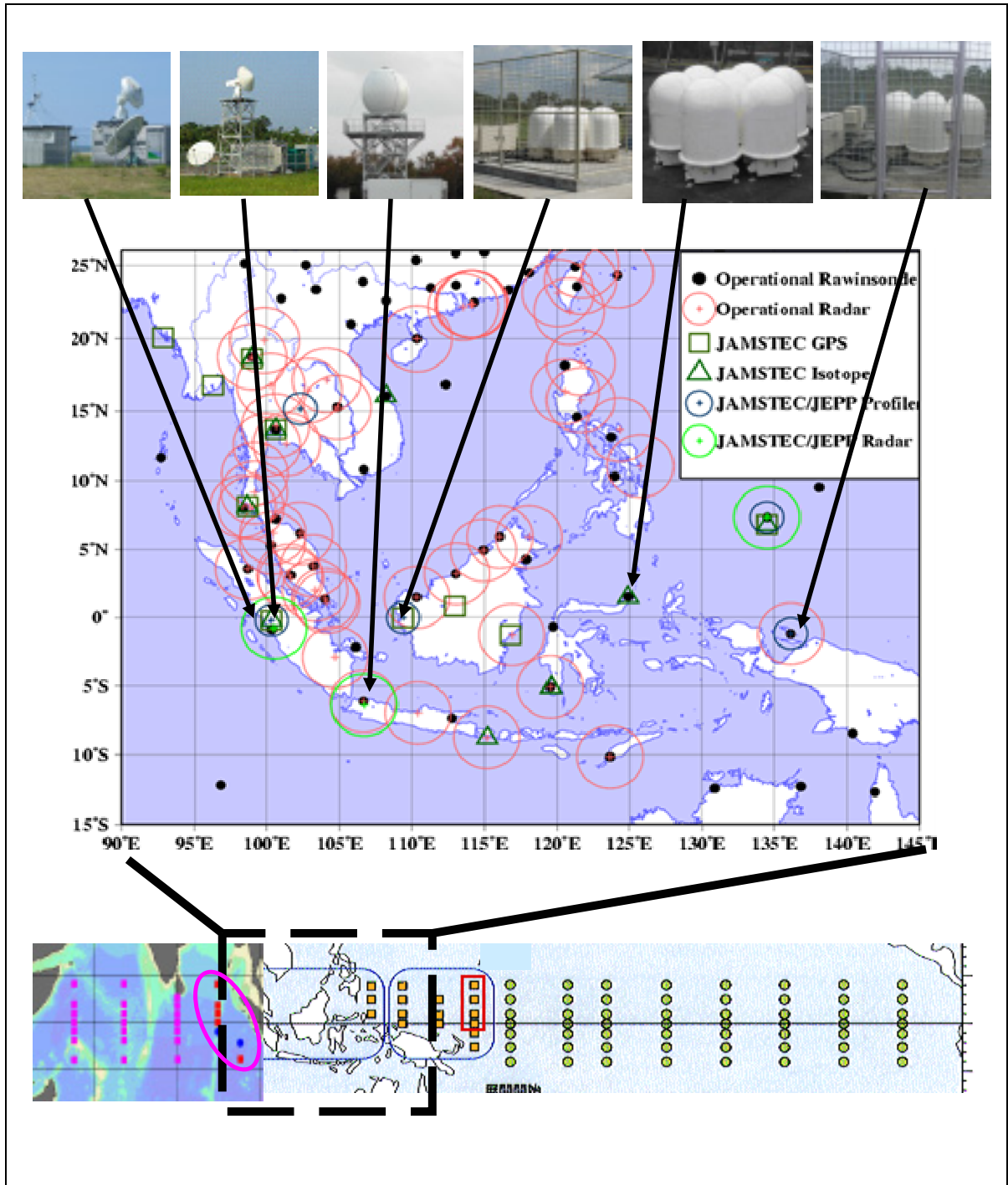


図1. HARIMAU レーダー・プロファイラネットワーク

3. 科学的成果：基本的気象現象としての大気・沿海島嶼相互作用による日周期雲生成

赤道海洋(インド洋・太平洋)上での雲集団の発生は、「大気・海洋相互作用」で支配される。海面上の大気運動つまり風は海洋表層の海水を引きずることによって海洋を力学的に強制し、同時に海面からは大気に顕熱や潜熱(水蒸気蒸発)という熱的強制が与えられる。雲集団においては、雲の底へ向けて吹き込む風が海洋表層の暖かい海水を雲の底へ集め、一方この暖かい海水から供給される熱あるいは水蒸気が直上の大気中の対流活動つまり雲集団を維持しているわけである。

しかし海大陸域では、海と混在している半島や島嶼の「陸面」の作用も重要である。陸面は、生物活動や人間活動により様々の物質の発生源となっている。また固体の陸面は、同じ日射を浴びても液体の海面より先に高温となり、午後から夜半にかけては陸上で雲ができそこへ向けて海風が吹く。陸上では山岳を越えて吹く風は上下に振動し、様々の大気波動の原因となるとともに、雲の発生にも関与する。夜半から日出前には逆に陸面が海面より先に冷え、海上で雲ができて陸風が吹くから、島嶼上(および島嶼間の内海も含めて海岸から数百 km 以内の「沿海」)では 1 日周期の天候変化が大変顕著である(van Bemmelen, 1922; Hashiguchi et al., 1995a,b; 1996, 1997; Hadi et al., 2003; Murata et al., 2002; Wu et al., 2003; Mori et al., 2004; Sakurai et al., 2005; Araki et al., 2006)。日周期変化する海陸風循環は最も古くから研究された気象現象の一つであるが、海大陸のそれらの不思議さは、教科書的な典型的な晴天日あるいは乾季よりもむしろ、悪天が多い雨季にも顕著であるということである。

この雨季の日変化のパラドックスは、海大陸特有の活発な対流雲の活動を考慮して以下のように理解できる。すなわち、海大陸域の陸面で午後に生じる雲は夕方から夜間にかけて強い雨を降らせ、上に述べた陸面の急速な冷却に一義的に関与し、雲の原因であった海陸間の温度差を夜半頃までにほぼ解消する(そのため、熱帯には熱帯夜はない!)。雨は大気中の浮遊物質などもほぼ完全に洗い流すので、翌朝には陸面の空は完全にクリアーになり、日射を最大限に受け取る準備が整う。海大陸の雨季は場所により異なる時期にピークを持つが、ほぼ太陽高度最高(赤道周辺なので天頂となる)の季節と一致しており(Hamada et al., 2002; Araki et al., 2006)、実際 Serpong に置いた日射計のデータ解析から雨季の正午頃には殆ど太陽定数に近いような強い日射が得られている。そしてこの強い日射が、午後に強い対流雲を生むのである。

つまり海大陸の日変化は教科書的な晴天日の放射加熱冷却によるものとは本質的に異なり、日変化自身に伴う対流性降水雲の生滅を通じた「自励的」なものである。雲すなわち湿潤過程の寄与という意味では、台風や季節内変動の生成・発達で考えられている第二種条件付不安定(CISK)にも通じるものである。しかしこの自励的日変化の場合は、CISK のように雲は加熱(潜熱放出)あるいは不安定化の役割だけでなく、強雨を生じることによって冷却あるいは安定化の役割も果たす。これによって雲は自分自身で大気状態を翌朝までにリセットし、この毎朝リセットされることこそが日周期変化が現れる本質的な原因になっているのである。

自分自身でリセットするこの日変化は、他の外的な何かがなければ必ず毎日現れるはずである。この外的な何かに相当するのが、当課題の中心的研究対象である「I」と「M」、つまり季節内変動とモンスーンである。季節内変動あるいは超雲団は、インド洋上で大気海洋相互作用によって組織され、海大陸へと東進してくる(Murata et al., 2002, 2006; Shibagaki et al., 2006)。面白いことには、季節内変動は雲や雨を作るのではなく(そんなものがなくても上記の日変化によって作れる)、むしろ作らせない作用をするということである。つまり季節内変動の後部の乾燥あるいは強い西風が、毎日現れるべき日変化を抑制することがある。勿論前面では日変化は抑制されず、逆に促進される。従って季節内変動が海大陸で消滅せずに通過する場合は、日変化を促進する部分が維持される場合であると言える。そしてこの季節内変動が通過できるようになって雨季あるいは偏西風モンスーンが開始されるのである(Hashiguchi et al., 1995a)。

これらの一連の過程に關与する「沿海」は海大陸を構成する一部であり、先に述べた陸地から遠い広大な海洋とは区別される。このような「大気・陸面・沿海相互作用」が海大陸域の気象・気候の本質で、これを踏まえた「観測」が必要となる。私どもは既にスマトラ沖の Siberut 島(濱田ら)や付近を航行した観測船みらい(森ら)などにより海面上の観測も試みているが、まだ全く観測できていない海洋内にも他地域では見られないような顕著な日周期変化が生じている可能性がある。海大陸は赤道沿いに、つまり南北両半球に跨って存在しているため、南北で互いに逆向きの Ekman 効果(Coriolis 力)によって東寄りの風(西岸の陸風, 東岸の海風)の時間帯には表面海水発散と湧昇, 西寄りの風(西岸の海風, 東岸の陸風)の時間帯には逆に表面海水の収束が予想される。さらにこのことが、大島嶼の東西両岸での日変化の違いを生んでいる可能性もある。

なお当課題で取得したデータはより広範な観測研究に供されている。例えば、データ統合化(DIAS; 東京大学と JAMSTEC)の中核的データともなり、また世界気候研究計画水循環エネルギー観測副計画(WCRP-GEWEX)で企画されている「モンスーンアジア国際共同観測」(MAHASRI)の「アジアモンスーン強化観測年」(AMY)への重要な貢献ともなる。さらに観測データベースやモデル結合研究は、JAMSTEC 地球フロンティア研究センターや東京大学の CREST や「ポスト共生」による高分解能数値大循環モデル研究(NICAM)や、京都大学や気象庁による予報インパクト研究(THORPEX)にも供される。これらに加えて、前節冒頭で述べた特定領域研究終了後も、京都大学などによる赤道大気上下結合観測研究にも利用されている。

4. 社会的貢献: 地球観測サミットにおける GEOSS 初期成果としての評価

一度に何千から何十万人の犠牲者を出す地震・火山災害に比べると報道が少ないが、毎年あちこちで起きる洪水など気象災害で失われる人命を積算すると、まれにしか起きない地震や津波によるものよりはるかに大きいことに留意すべきである。2007 年 1~2 月には Jakarta 首都圏(DKI)内の広範な地域の家屋を浸水させ、死者百人以上、一時避難者まで含めると 30 万人に達する大水害が発生した。このように水害の規模が大きくなる原因としては、排水など都市インフラの不十分さも無視できないが、気象学的要因としても様々のものが一度に重なったことによる。この水害を起こした豪雨に関する伍らによる研究では、前述のように海大陸の雨季に普段から起きている日周期つまり毎日午後から夜間にかけての活発な対流性降水雲生成が、遠くシベリアに発するモンスーンあるいは寒波(コールドサージ)が両シナ海で水分を補給しつつ赤道も越えて南下してきたことにより促進されたことが最大の原因である(Wu et al., 2007)。同様なコールドサージによる豪雨は、それ以前の 2006 年秋から年末にかけてベトナムやマレーシアでも起きていることが指摘されている。しかしさらに赤道上を進む季節内変動の活発期にも当たり、この観点で言えば、結果的に超雲団が減衰せずに海大陸上を通過したことに伴って生じたとも言える。

当課題では、海大陸域での過去の気象観測データの発掘やデータベース化も並行して進めている。海大陸域での科学的な大気観測は、ここを植民地としたオランダが 18 世紀に今の Jakarta に設立した Batavia 学芸協会が中心となって創始し、19 世紀末で既に 2000 点に達する雨量観測網を全土に設けていた。20 世紀初頭頃の Batavia 気象台長 van Bemmelen は Krakatau 火山島噴煙観測や高層気象気球観測などを精力的に行い、その半世紀後に再発見される成層圏準 2 年周期東西風変動、モンスーンと雨季の関係、大気潮汐、海陸風などを見出していた(van Bemmelen, 1922)。第二次大戦、独立戦争、内戦による観測断絶やデータ紛失、諸外国からの援助による官署観測網の整備を経て、1997~8 年の経済危機時にも暴動の起きた

Jakarta や Ambon でも観測は継続され、経済回復・再発展の矢先に起きた 2004 年末のスマトラ大地震津波の後はその復興国際援助と防災・環境への国民的要求の両方でインドネシア政府も自力での観測網の整備に力を入れてきている。当課題では、それら官署観測との連携も進めている。

以上のような成果は、11 月 27～30 日にケープタウンで行われた第 4 回地球観測サミットにおいて、来年洞爺湖で開催の先進国首脳会議(いわゆるサミット)へも提示される GEOSS 初期成果の一つとして取り上げられ、大きな評価を受けた。

5. おわりに

以上述べてきたように、予算削減にも拘らず、少なくとも今までのところ当課題は極めて順調に進められてきている。今後 2 年間は、最後の目玉である現地観測本部あるいはジャカルタ「海大陸センター」(仮称)を作り上げ、そこに観測網のデータを集め、国際的な学界・社会両面での利用を推進するとともに、JEPP 終了後に「観測」の主役となる人材の育成(キャパシティ・ビルディング)のみならず、さらにインドネシア政府からも出資しての共同観測能力開発(キャパシティ・デベロップメント)にも努めたいと考えている。現在、これを実現するための基礎的(であるが具体的)な検討を、各方面の方々と開始しているところである。これらは、GEOSS10 年計画、地球観測推進戦略の目指すところと完全に合致しており、我が国によるアジア各国への新たなタイプの貢献や国際協力の魁となるはずである。

主要研究業績(平成 19 年度)

1. Ichianagi, K., M. D. Yamanaka, Y. Muraji and B. Vaidya, 2007: Precipitation in Nepal between 1987 and 1996. *Int. J. Climatol.*, 27, in press.
2. Wu, P.-M., M. Hara, H. Fudeyasu, M. D. Yamanaka, J. Matsumoto, F. Syamsudin, R. Sulistyowati and Y. S. Djajadihardja, 2007: The impact of trans-equatorial monsoon flow on the formation of repeated torrential rains over Java Island. *SOLA*, 3, 93-96.
3. Fudeyasu, H., K. Ichianagi, A. Sugimoto, K. Yoshimura, A. Ueta, M. D. Yamanaka and K. Ozawa, 2008: Isotope ratios of precipitation and water vapor observed in Typhoon Shanshan. *J. Geophys. Res.*, 113, in press.
4. Hamada, J.-I., M. D. Yamanaka, S. Mori, Y. I. Tauhid and T. Sribimawati, 2008: Differences of rainfall characteristics between coastal and mountainous areas of Sumatera, Indonesia. *J. Meteor. Soc. Japan*, in revision.
5. Sakurai, N., M. Kawashima, Y. Fujiyoshi, H. Hashiguchi, T. Shimomai, S. Mori, J.-I. Hamada, F. Murata, M. D. Yamanaka, Y.-I. Tauhid, T. Sribimawati and B. Suhardi, 2008: Internal structure of precipitating cloud system migrating with diurnal cycle over Sumatera Island during CPEA-I campaign observations. *J. Meteor. Soc. Japan*, in revision.
6. Hashiguchi, H., M. D. Yamanaka, S. Mori, K. Imai, F. Syamsudin, T. Manik, Erlansyah, W. Setiawan, Y. D. Djajadihardja, J. T. Anggadiredja and B. Tejasukmana, 2008: HARIMAU radar-profiler network over Indonesian maritime continent and development of Luneberg lens wind profiler radars. *IEEE Systems J.*, GEOSS Special Issue, submitted.
7. Wu, P.-M., M. D. Yamanaka and J. Matsumoto, 2008: The formation of nocturnal rainfall offshore from convection over western Kalimantan (Borneo) Island. *J. Meteor. Soc. Japan, Special issue on the International Workshop on High-Resolution and Cloud Modeling*, submitted.
8. Yamanaka, M. D., S. Mori, Wu P.-M., Hamada J.-I., N. Sakurai, H. Hashiguchi, Y. Shibagaki, T. Manik, Erlansyah, W. Setiawan, B. Tejasukmana, F. Syamsudin, Y. S. Djajadihardia, and J. T. Anggadiredja, 2008: HARIMAU Radar-Profiler Network over Indonesian Maritime Continent: A GEOSS early achievement for hydrological cycle and disaster prevention. *J. Disaster Res.*, submitted.
9. Fudeyasu, H., K. Ichianagi, K. Yoshimura, S. Mori, N. Sakurai, J.-I. Hamada, M. D. Yamanaka, and F. Syamsudin, 2008: Effects of cloud processes on the precipitation isotope ratios observed in Sumatera, Indonesia. *Geophys. Res. Lett.*, submitted.