

海大陸レーダーネットワーク構築：

HARIMAU (Hydrometeorological ARray for Isv-Monsoon AUtomonitoring)

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,

T. Sribimawati⁸ and 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

2004年4月に東京で開催された第2回地球観測サミットでの小泉首相演説(文科省ホームページ http://www.mext.go.jp/a_menu/kaihatu/earth/参照)において, 地球温暖化, 地球規模水循環, 火山・地震災害を最重点課題とし, 先端的科学技術の投入, 観測結果の公開, 途上国での人材育成(キャパシティビルディング)を柱とする「地球観測10年計画」が提唱された。この提案は2005年2月ブリュッセルでの第3回地球観測サミットにおける全参加国の基本的合意を得て具体化され, “Global Earth Observation: System of Systems”(GEOSS)として正式に開始された。これに対応して国内的には内閣府総合科学技術会議で「地球観測の推進戦略」がまとめられ, それに基く文科省科学技術学術審議会地球観測特別部会の審議を経て策定されたのが「海洋開発及地球科学技術調査研究促進費」による新たな競争的研究費制度「地球観測システム構築推進プラン」(Japan EOS Promotion Program = JEPP; http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/17/04/05041601.htm)である。

海洋研究開発機構地球環境観測研究センター(IORGC/JAMSTEC)では, 上記のGEOSSに至る構想の初期段階から故杉ノ原伸夫センター長の指導下に具体的な推進課題の検討が行われた。その中で, 現象としてはMadden-Julian振動(東西スケール=数千km, 時間スケール=数十日)など赤道域に生じる積乱雲の巨大集団(「季節内変動」と総称)の未解明, また領域としては既に1990年代からブイ網が構築・維持されてきた赤道太平洋域の西側に位置するインドネシア「海大陸域」, およびさらに西側のインド洋域に存在する広大な観測的空白が指摘され, このうち前者の領域を埋めるものとしてJEPPに応募し2005年から最長5ケ年の計画として採択されたのが本課題である。すなわち本課題は, 「海大陸」にレーダー・プロファイラ網を展開し, 「季節内変動」を解明, 全球気候予測高精度化に貢献しようとするものである。以下本稿では, その全体概要と初期成果について述べる。

2. 科学的な背景とねらい

インド洋と太平洋を分割する「海大陸」の出現は地球史的に極めて特異なものであり, ここを通過する海洋大循環(千年以上かけて地球一周)に関する海洋学的重要性, 南北両半球間やアジア・オーストラリア両大陸と海洋間のモンスーン(1年周期)の気象・気候学的重要性はかなり以前から指摘されてきた。また大気中を吹く風が海流を駆動し, 海洋から蒸発する水蒸気が大気中に雲を作るといふ大気と海洋の相互作用が, 太平洋エルニーニョやインド洋ダイポールモードなど数年スケールの全

全球的気候変動を生んでいることもわかっている。一方、これらよりずっと時間スケールの小さい現象として、「海大陸」の大島嶼上で顕著に現れる「巨大日変化」の存在が近年の本課題担当者らの観測研究で明らかになってきた。

上に述べた長短の時間スケールの中間に存在するのが「季節内変動」であり、一般にインド洋上で発生し、「海大陸」に上陸後、変質しつつ（あるものは消滅し、あるものは）東進して太平洋上へと抜ける。発生（雲集団の組織化）過程は大気海洋相互作用による言わば「ミニエルニーニョ」として捉えられ、「海大陸」への上陸はこの地域の気候において最も基本的な雨季（インド洋モンスーン）のオンセットに関与するが（図1）、この雨季の雨をもたらしているものは雲集団に内包される（ずっとスケールの小さい）対流性降水雲（積乱雲群）であるので、当然前述の「巨大日変化」との関連が予想される。つまり、「季節内変動」を仲介として、大島嶼上で毎日繰返される積乱雲発生の振舞（活発化あるいは沈静化）と、全球的な季節（年周期）変化や数年スケール気候変動とが互いに関係しあっているというシナリオである。

雲の振舞は気象衛星観測で明瞭に認められるが、そのメカニズムを解明するためには、赤道域の特殊性（地衝風近似が成立たない、低気圧には組織化されない）を考えると、風の直接観測が必須となる。雲に対応した変動を捉えるためには、風観測は対流圏全層にわたり、かつ少なくとも時間的に（できれば水平的にも）高分解能でなければならない。これらの要請を満たすためには、ドップラーレーダーやウインドプロファイラーの（可能な限りネットワーク的な）投入が必須になる。そのような観測機器を用いて本課題担当者らにより過去に行われた1点（図1）あるいは2点（図2）観測でも、「季節内変動」に伴うモンスーンオンセットや強い西風域の東進が検出されているが、これらを本課題ではより組織的・連続的に観測することを目指す。

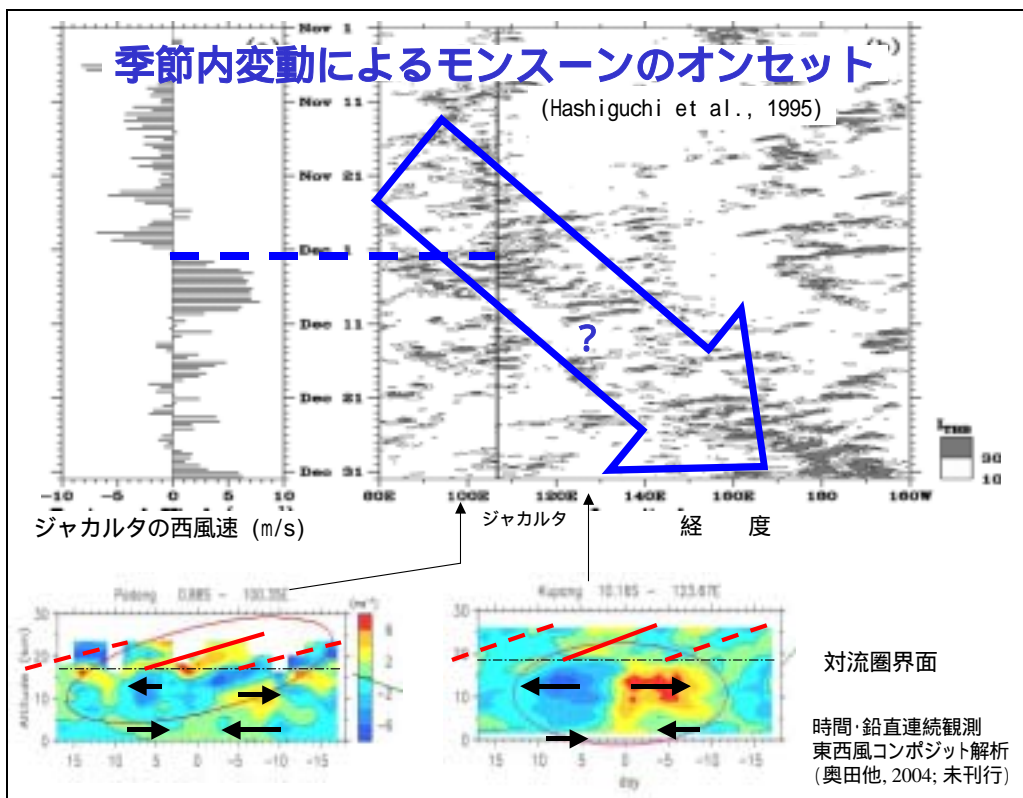


図1 1点風速観測および衛星雲観測による季節内変動の海大陸通過

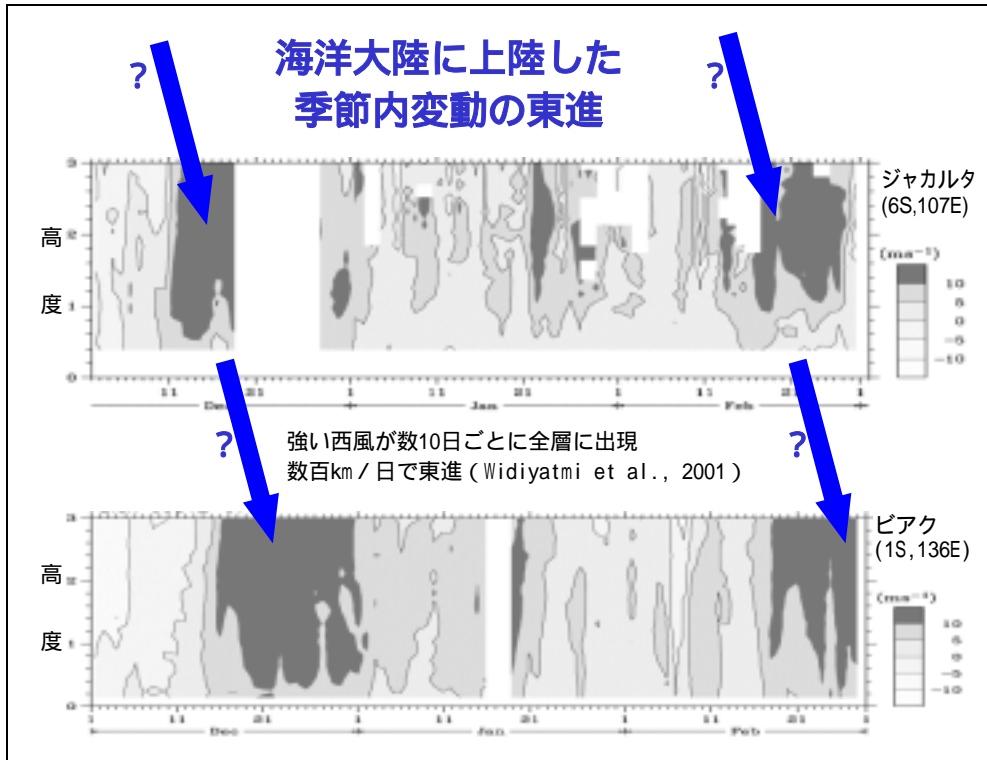


図2 2点プロファイラ観測による季節内変動の海大陸通過

3. 研究組織と実施計画

研究組織(図3)は、レーダー・プロファイラ観測そのものを主内容とする課題(京大・北大およびJAMSTEC 大気海洋相互作用グループからなる)と、ネットワーク観測を主内容とした課題(JAMSTEC 広域水循環グループの研究者が担当)とで構成されている。担当研究者は殆どが40歳台以下の若い世代であるが、いずれも観測機器・手法の技術開発的側面や豊かな現地フィールド経験を持っており、我が国においては勿論、国際的に見ても本課題を担当するのに最適かつ最強の研究者集団となっている。実際には、班構成にはこだわらずに共同で作業を進めており、また個々の研究者の実績を活かして、手法的にはレーダー・プロファイラ以外に気球観測、GPS(可降水量)観測や雨水サンプリング(同位体分析による起源推定)、地域的にも狭義の海大陸つまりインドネシア諸島以外に周辺のインドシナ半島や海上などについても並行して相補的な観測を実施している。

計画実施期間は2005(平成17)年度から最長5ケ年(実質的には4年半)であり、3年目の本年度(のまさにこの発表会)において中間評価を受けた結果に基づいて、4年目以降は継続が認められることになっている(図5参照)。当初計画では、前半3年間(20年3月まで)に、図4に示した気象レーダー(スマトラ島パダン)・プロファイラ(カリマンタン島ポンティアナ、スラウェシ島マナド、パプア島の属島ピアクの3箇所)観測網を建設するとともに、これらを統括しデータ収集やキャパシティビルディングなどの拠点ともなる現地観測推進本部(ジャワ島ジャカルタ)の開設まで完了する予定であった。これらの観測点の選定は、インドネシア気象庁の気象レーダー網計画(スマトラ地震津波復興予算の転用)などの進捗状況も見ながらそれらとの整合を考えて決めた。

しかし予算削減(3年目の本年度は殆ど半減)のため、マナドプロファイラ設置ならびにジャカルタ本部開設は4年度に伸ばさざるを得なくなっている。一方、自助努力として、過去に投入した

JAMSTEC の各種観測点のほかいずれもスマトラ島内にある京都大学赤道大気レーダー (EAR、大型ウィンドプロファイラ)、北海道大学気象レーダー (可搬) などを最大限活用しているほか、情報通信研究機構から比較的大型の気象レーダー1基を無償譲渡して頂き、これは本年度後半にジャカルタ本部建設予定地に設置することにしている。

中間評価を経て後半2年間 (20年4月~22年3月) の継続が認められれば、上記の延期事項の達成 (ジャカルタ本部建設においてはインドネシア政府予算も援用) のほか、当初から計画していた各観測点からのリアルタイムデータ公開 (衛星回線とインターネット利用、パダンについては昨年度内に完了) およびジャカルタ本部経由の国際気象通報網 (GTS) へのデータ送信システム構築を行う。こうして完成する観測網を用いて、まずはこれまでスマトラ島内の一点で行ってきたのと同様な観測を「海大陸」の他地点でも行い、これにより日変化の地域的異同ならびにそれに伴う「季節内変動」雲集団の崩壊や (再) 組織化については直ちに成果を出せる。また数値モデル (領域と全球の両方) も最大限援用し、既にスマトラ・カリマンタン両島については初期成果が得られている。

本課題を含め、JEPP の最大の主眼 (最低限の達成義務) はその名の通り観測システムの構築にあり、従って建設した観測点や取得したデータはより広範な観測事業・観測研究に供されてこそ意味をもつ。上記の後半2年間の観測は、GTS を通じて日々の世界各国の数値予報に貢献するほか、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。

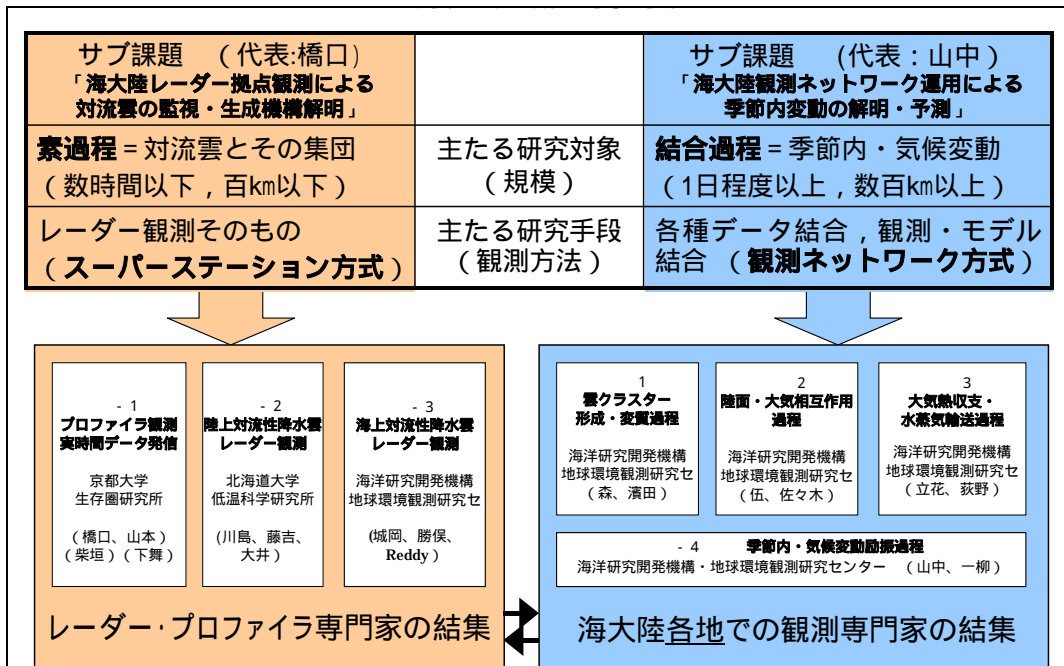


図3 研究組織

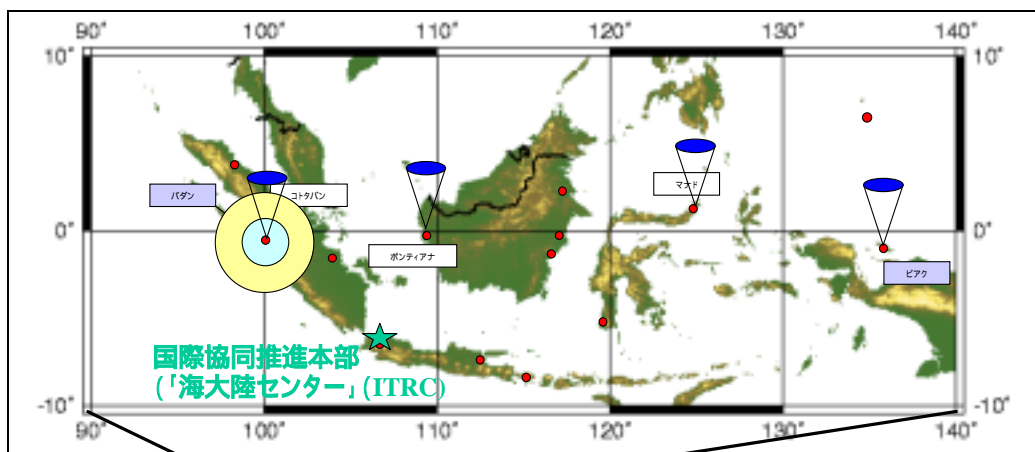


図4 海大陸レーダーネットワークにおける観測点設置計画

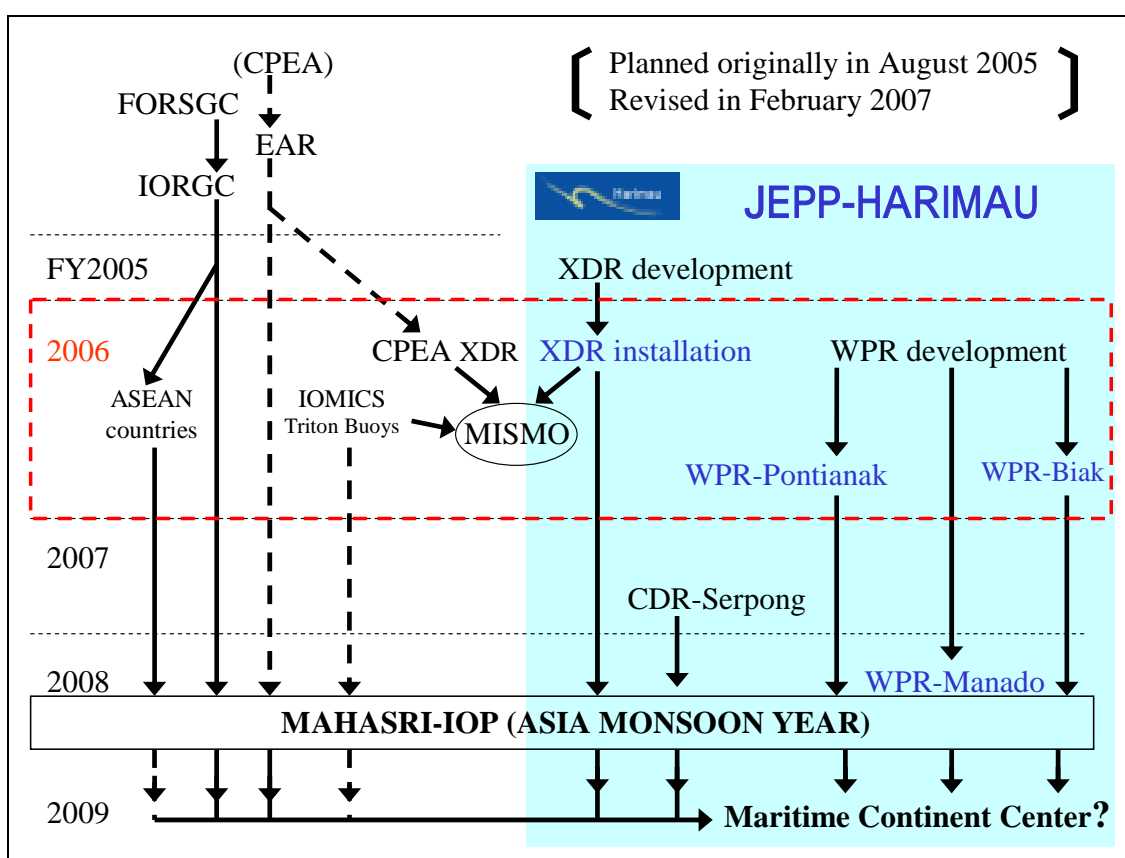


図5 . 本課題 (HARIMAU) の年度別実施計画

4 . 初期成果および今後得られることが確実な成果

JEPP の主眼は前述のように観測網構築とそれによる実用的成果であるが、それらは当然科学的成果と車の両輪をなす。以下ではこれまで得られた成果および今後確実に得られるであろう成果を、便宜上、実用的成果、観測的研究成果、理論的研究成果に分けてまとめるが、それらは相互に重なりあっていることを予め注記しておきたい。

まず技術的な先進性について、本研究の中心機器である(X帯,C帯)気象ドップラーレーダー(図6上段)は標準的なものであるが、衛星回線を用いてリアルタイムインターネット上に観測域の地図

上に降雨エコー・風分布を公開するシステムとしたことが特筆される(パダンのX帯レーダーについては既に実現、図7),このようなリアルタイム気象情報公開はインドネシア国内で初めてのことで、頻発する水害や風害の監視・予測に絶大な威力を発揮すると期待されている。これらの水害・風害の多くは、橋口・森・伍・川島らが研究してきた「海大陸」域特有の巨大日変化に伴う雲や海陸風生成によるものである。パダン地域ではレーダー設置後に水害による死者は出ていないが、ジャカルタ地域では2007年1~2月に大洪水(被災者30万人以上、死者百名以上)が発生し、このことも考慮してジャカルタ地域へのC帯気象レーダー設置を優先して実施することとした。これら気象レーダーは、インドネシア気象庁および濱田らが展開してきた自記雨量計と組み合わせて、我が国のレーダーアメダスと同様なものに発展することも期待されている(図8)。

一方、ウィンドプロファイラのうち本計画で新たに設置しつつあるもの(図6下段中・右)はいずれも京都大学の橋口らが中心になって新たに開発したものであり、同じグループが以前開発した日本気象庁プロファイラ網(WINDAS)用のものよりコンパクトかつ高性能になっていて、機会(予算)さえあればさらに多数展開し、この地域の天気図解析精度を飛躍的に向上させるほか、前述の日周期の強風発生 of 監視・予測にも威力を発揮することが期待されている。

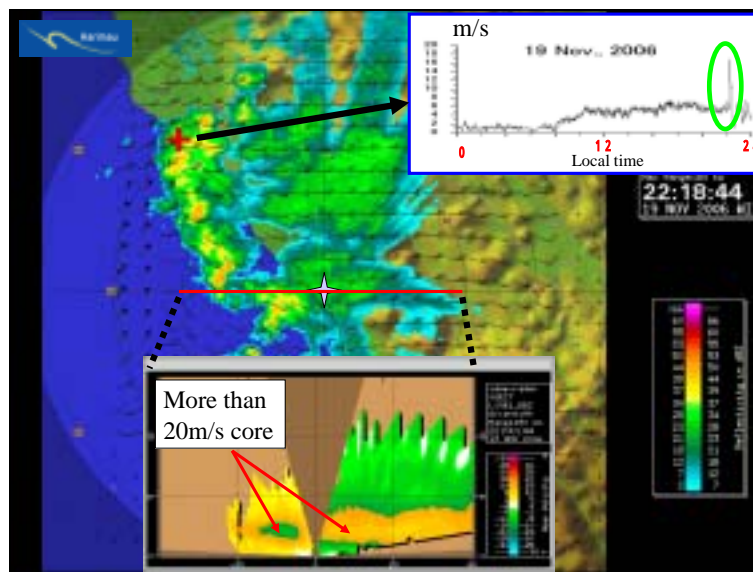


図6 . HARIMAU 計画で利用・使用中のレーダー群:

- (上段)気象レーダー
 - (左)ティク(パダン北方)X帯
北海道大学所有・可搬
 - (中)MIA(パダン北郊)X帯
 - (右)ジャカルタ移設予定,C帯
情報通信研究機構より譲渡
- (下段)ウィンドプロファイラ
 - (左)コトタバン(パダン北東方)
VHF帯,2001年京都大学設置
 - (中)ポンティアナ,UHF/L帯
 - (右)ピアク,UHF/L帯

図7 . インターネット上にリアルタイム公開されているパダン郊外MIA気象レーダーの降水エコーと水平風速分布

顕著な日変化の存在により、台風等の襲来が皆無な赤道近傍でも20m/sに達する強風が吹く(川島ら)



http://203.88.86.149/mia_xdr/index.html

レーダー網でのみ詳細な観測が可能な日周期変化は、殆ど毎日繰り返し起きているのであるが、それが特に顕在化して甚大な災害を生じるに至るには、地球規模のモンスーン循環や、中間的な規模をもって移動する「季節内変動」と相乗的に起きるからである。前述のジャカルタ豪雨に関して、伍らは北半球冬季モンスーン（シベリア高気圧からの吹出しで我が国を襲う寒波と同起源）が日変化と相乗的に作用して引き起こしたことをつきとめつつある。また「季節内変動」によって組織化された積乱雲集団の移動は、半世紀以上前に中緯度域の温帯低気圧や亜熱帯における熱帯低気圧が位置づけられたように、「海大陸」域の天候変化の鍵を握る概念として、広く普及・啓蒙していくべきである。

以上のような本計画の初期成果と今後のさらなる可能性について、インドネシアではマスコミが大きく取り上げており（確認されたものだけでも記事掲載は20件ほどある）、2007年3月にはインドネシア政府からも文科省やJAMSTECに宛てて感謝状が出された。

このような観測対象地域における成果にとどまらず、地球規模の気候・環境変動予測への貢献も次第に目に見えるようになってきている。2006年10～11月、本計画によるパダン近郊の気象レーダー設置および集中観測ならびにインド洋上での観測船みらい・ブイ網を用いた観測が連携して約1ヶ月間にわたって実施され、高層気象観測データは直ちに現業気象機関間通報網（GTS）によりリアルタイムで世界に流されたが、その結果今まで検出できなかったインド洋上の細かい水蒸気・風速変動分布が得られるようになってきた（図9）。本報告執筆時点において、本計画は、GEOSS計画の初期成功事例（計28例）の一つにノミネートされている。

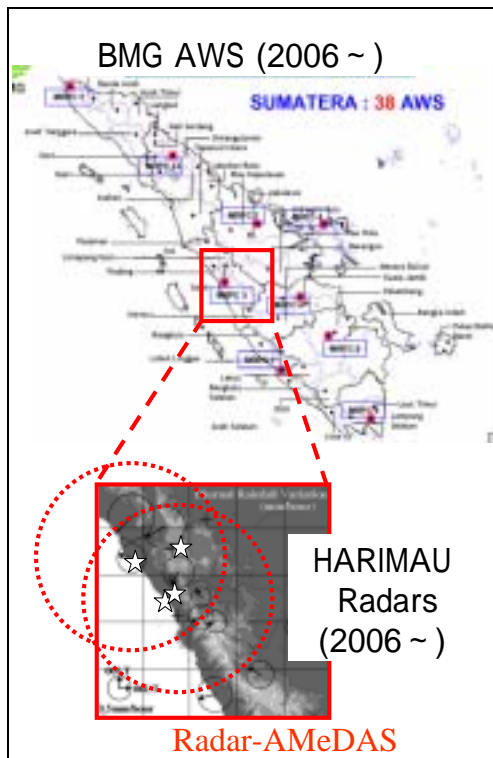


図8 .スマトラ島におけるインドネシア気象地球物理庁（BMG）の自動気象観測装置（AWS）設置計画と、HARIMAU レーダーの位置関係。

日本のレーダーアメダスのような局地気象監視網が構築できると期待される。これにさらにBMGによる気象レーダーが展開される計画もある。

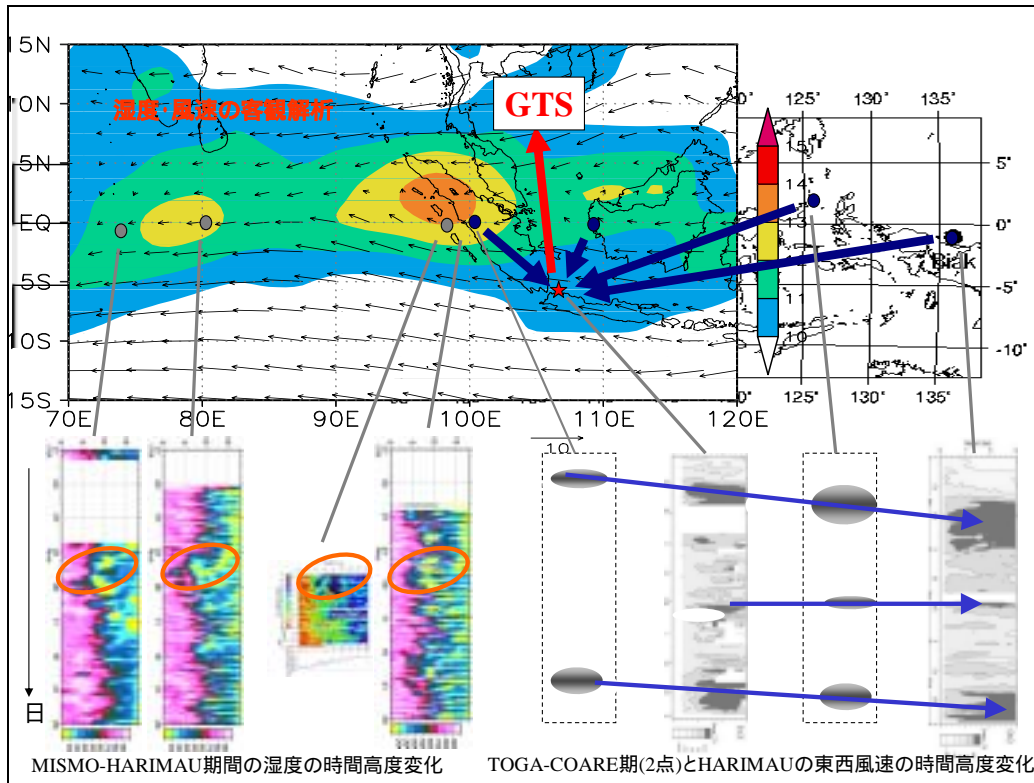


図9 . 本計画およびインド洋観測の連携期間中に送信された観測データを取り入れて米国海洋大気庁 (NOAA) が客観解析した水蒸気・風速分布 (左). 本計画の完成後はさらに「海大陸」に上陸後の「季節内変動」の通過・消長が刻々と捉えられることになる (右).

ネットワークを用いての科学的成果は、まだこれから本格化されるところであるが、初期的な成果は既に得られつつある。海大陸域では年周期・日周期の日射強制と高温海面からの豊富な水蒸気供給により対流雲が活発に発生し、それらが組織化して大気・海洋・陸面結合系すなわち気候の平衡状態を維持している。個々の雲は対流不安定による鉛直対流であるが、組織化した結果として現れるのは局地循環から大規模子午面(Hadley)・東西(Walker)循環に至る各種の湿潤水平対流である。日周期(伍らの観測と領域モデルの結合研究など)では、日出～正午の晴れ間の日射加熱で午後陸上に作られた雲が、日没～深夜の降雨でリセットされる(熱帯に熱帯夜はない! 図10参照)。定在水平対流を構成する東西伝播性対流がほぐれたものが日周期雲移動や「季節内変動」である。このシナリオに基づく原著論文数件が、現在投稿されつつある。

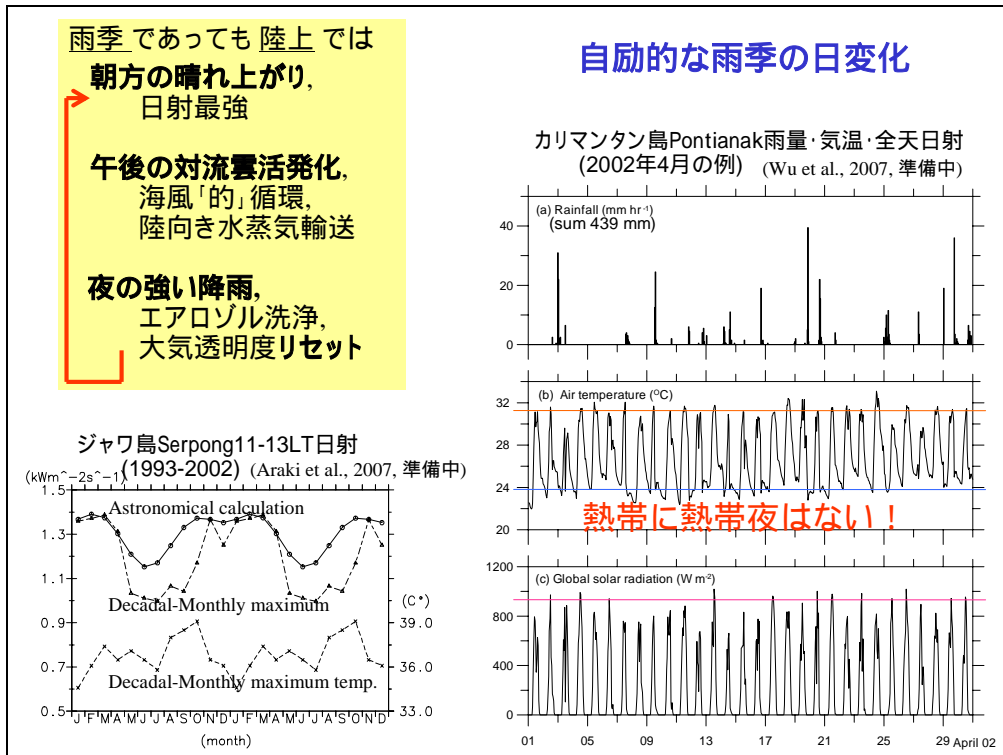


図 10. 晴天日に卓越する教科書的な海陸風と異なり, 雨季に顕著な「海大陸」日変化.

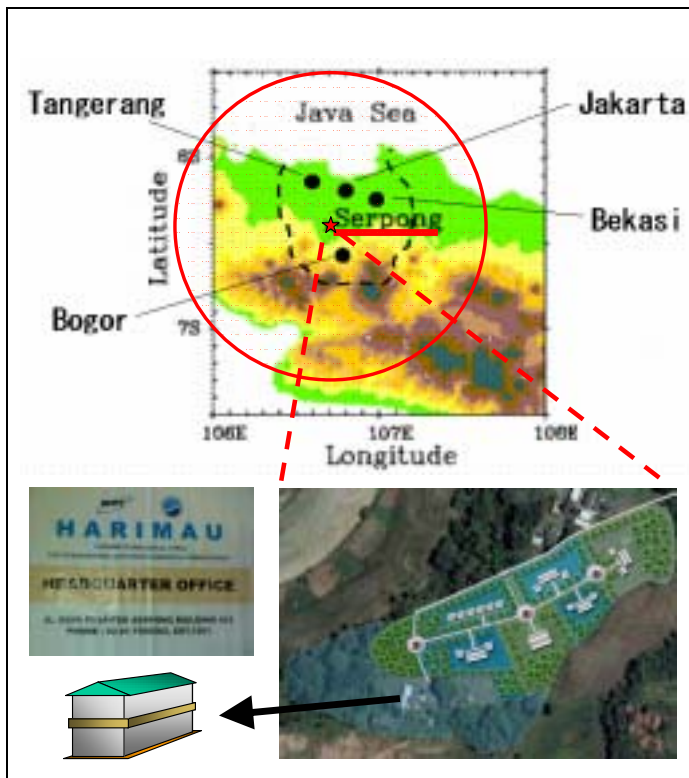


図 11. ジャカルタ南西郊外のスルポン研究学園都市にインドネシア政府が建設予定の気候変動科学総合研究センター内に設置される HARIMAU 現地観測本部 .C 帯気象レーダーもここに設置され, ジャカルタ首都圏一円を対象とした観測研究と水害監視に当たる.

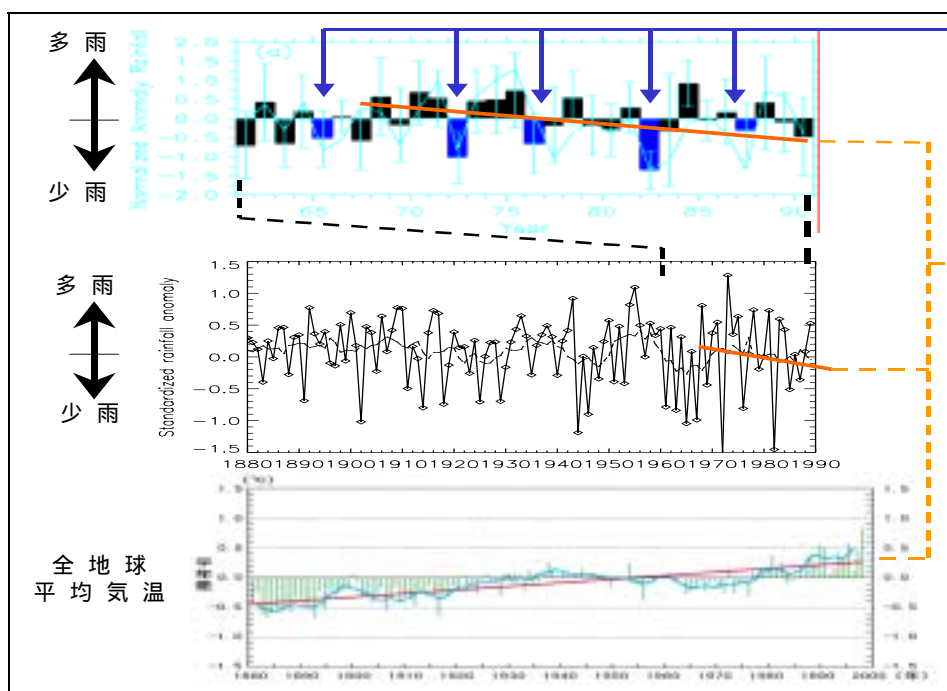


図 12. インドネシアの少雨（上 2 枚）と地球温暖化（下）との比較

5. おわりに： 本事業終了後の構想

本課題は 5 年間（実質 4 年半）で終了するが、ジャカルタ現地観測本部（図 11）はそのまま残し、JAMSTEC が既にハワイ（IPRC）やアラスカ（IARC）に現地機関と協同で運営しているような施設（仮称「海大陸センター」）に発展させたいと考えている。これにより、観測の継続・拡充はもとより、人材育成・技術移転、現地でのモデル結合研究やデータベース公開が行える。これらは、インドネシアの少雨傾向 エルニーニョ多発 地球温暖化（図 12）というような科学的にも興味ある研究の完遂に必要であるばかりでなく、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。

GEOSS および「地球観測推進戦略」は 10 年計画であり、本課題に続く新たな 5 年計画についても今から考えていかねばならない。今は国内各機関とも大きな変革期にあるが、今後は「基礎科学研究と社会応用貢献との両立」を一層重視した形になることが必須である。そのような、地球観測研究・教育体制の根本的かつ国家的な改革を考えることも本課題を含め今ある諸プロジェクトに課せられた大きな課題であり、論文生産効率など目先のことに囚われず、後代に評価されるようなものとしたいと強く決意している。