第 10 章

GAME（アジアモンスーンエネルギー・水循環研究観測計画）—アジア発のWCRP国際共同研究プロジェクト—

安成　哲三[*1,2]

10.1　はじめに

私たちは、日本およびアジア各国の気象学研究者、水文学研究者を中心として、1996年から2005年の約10年間、アジアモンスーンエネルギー・水循環研究観測計画（GEWEX Asian Monsoon Experiment : GAME）を進めてきた（安成, 1994, 1998, 1999, 2001, 2003, 2007参照）。この間のさまざまな国内、国際的な経験を通して、気象学に関連した国際的な研究プロジェクトはどうあるべきか、あるいはどう進めるべきかについて、多くの考えるべききっかけがあった。GAMEは全体として成功裏に終結したとはいえ、必ずしも、サクセス・ストーリーばかりではなかった。この章では、このプロジェクトを推進してきた代表者として、気象学あるいは地球科学におけるプロジェクトとは何か、どうあるべきかを総括し、今後の展望につながる議論を試みたい。

10.2　プロジェクトはボトムアップの結集

研究プロジェクトとは、個人研究と対比される研究形態であり、当然、リーダーを中心とする上意下達のトップダウンの研究であると考えている人が多い。しかし、プロジェクトが成功し、成果を挙げるために必要なプロセスは、むしろボトムアップである。多くの研究者が疑問を持ち、解決すべきと考えている問題、課題が、個人レベルの研究だけではどうしても解けない場合、1人あるいは複数の研究者の音頭取りで組織化し、必要な人的、財政的資源を求めて進めるのがプロジェクトのはずである。もちろん、問題の提案、プロジェクトの提案は個人あるいは少数の研究者からなされることが普通であるが、プロジェクトに参加する人たちは、その問題をさまざまなかたちで共有して解決しようという意志と意欲をもっていることが前提である。GAMEの場合、アジアモンスーンの変動と、ユーラシア大陸域のエネルギー・水循環過程がどう関わっているかに、強い関心を持っている研究者が参加した。分野的にはモンスーン気象、雲・降水機構、境界層・熱収支、陸面水循環、気候モデリングなどの研究者が多かった。もちろん、院生などの若手は、指導教員の指示・意向に沿って参加した人も多いが、それも研究室単位での意志と本人の希望が合致しているのが前提であった。

言い換えれば、大型の、特に国際的なプロジェクトが成功するためには、問題群を共有する研究者の、一種の認識共同体[*3]的な組織づくりが重要ではない

*1　名古屋大学・地球水循環研究センター
*2　海洋研究開発機構/地球環境フロンティア研究センター

だろうか。日本の気象学会（界）がコミットした最初の国際プロジェクトは、1970年代のAMTEX（Air Mass Transformation Experiment：気団変質実験）であった。このプロジェクトの目玉は、春に台湾沖で急激に発達する（台湾坊主とよばれた）低気圧の発生発達の機構を、現地観測をもとに解明するというものであった。しかし、このプロジェクトは、当時国際的に準備されていたGARP（Global Atmospheric Research Programme：全球大気実験計画）に何らかのかたちで参加しようという一環で提案され、気象学界全体での、ある意味で総動員体制が取られたため、参加者の問題意識の共有への努力は二の次であったように、当時、院生になったばかりの私は記憶している。そのためか、あまりやりたくもない観測などに動員されて、貴重な時間を取られるようなプロジェクト研究はもうごめんだというトラウマ（？）が、当時の気象研究者の一部には根強く残ったようである。GAMEを始めようとした時、私は、決してAMTEXの轍を踏まないようにしようと、肝に銘じていた。

10.3　地球気候の研究はプロジェクト研究である

プロジェクトに関して、もうひとつ私たちが認識しておくべきことは、地球規模での気候の研究、特に観測データにもとづく研究は、好むと好まざるに関わらず、国際的なプログラムやそれに関連したプロジェクトに大きく依存しているということである。GAMEはWCRP（World Climate Research Programme：世界気候研究計画）の一副計画である全球エネルギー・水循環研究計画（GEWEX）のアジアでの国際プロジェクトとして了解され、進められた。WCRPは、世界気象機関（WMO）、国際学術連合（ICSU）、ユネスコ海洋委員会（UNESCO-IOC）の合同で進めている国際プログラムであり、気象学・気候学の国際プロジェクトの場合、この枠組みの下で進めることは非常に重要である。なぜなら、WCRP傘下で進められている他の国際共同研究プロジェクトとの連携・共同が可能であること、プロジェクトで取得されたデータを、WMOの規定にもとづく国際的なデータ交換・提供の原則、即ち、世界のすべての研究者、研究コミュニティへの（非商業的な研究目的の利用についての）無償、無制限のデータ提供が、原則として義務づけられている、などの理由からである。これは、地球の大気や気候システムという、全人類共通の財産ともいうべきものの状態を表わす気象データや水文データは、観測した人たちだけのものではなく、人類全体がその利益を享受すべき科学研究活動に資するデータである限り、誰でも使えるべきであるという精神に基づいている。現に、今多くの研究者が使っている全球客観解析データ、衛星データやその元になっている世界の気象官署、観測所のデータは、原則として無償の開示がされていることを、私たちは肝に銘じておくべきであろう。あるプロジェクトによる特別な観測も、元はといえば、各国の税金による支えを受けているわけである。その各国が全人類の平和と地球の保全を進めているという前提に立つならば、ある国の税金で賄われた研究プロジェクトでも、データは全人類に資するべきものであろう。WCRP傘下の国際共同研究プロジェクトは、まさにこの精神に立つことを基本としている。先に述べた全球客観解析データに加え、地球の気候に関わる様々な衛星データは、WCRP関連のプロジェクトの一環として提言され、そして実行された観測や解析により作られたものである。加えて、全世界の現業気象官庁が営々として観測を行っているデータも、研究コミュニティに容易に使えているには、WMO/WCRPなどの枠組みが果たしている役割が非常に大きい。その意味で、気象学・気候学の研究は、フィールドに行って自分で叩いて取ってきた岩石だけで論文を書く（地質学などの）他の地球

＊3　認識共同体
アメリカの政治学者P. M. ハースは、専門家（科学者）集団の国際ネットワークが果たす役割を指摘し、これを"認識共同体（Epistemic Community）"と名づけた。この共同体は、国などの枠を越えて、専門的な知識をもった研究者集団が、地球環境問題などの人類全体の問題に貢献するという認識のもと、国際ネットワークを通して考えを議論しつつ、あるべき解決策を提言する集団。WCRPなどはまさにこのような共同体とも考えられる。

科学とは大きく異なっている。他の地球科学分野でも、地球内部や海洋底、海洋大循環など全球的な観測（調査）研究は、気候研究と同様、国際共同で行うプロジェクト、プログラムとして推進されている。地球スケールの研究をめざすかぎり、このような国際プロジェクトとして研究を進めることはもはや、不可欠であろう。

もちろん、国際プロジェクトかどうかは、研究プロジェクトの本質ではないが、GAMEのような、国を越えた大規模な気象・気候現象を対象にする限り、国際プロジェクトになることは必然の結果である。日本の気象気候研究コミュニティの一部には、前述のAMTEX以来の伝統（？）か、若い人も含め、「プロジェクト」研究に対する違和感や拒否感が今も強い。確かに、研究とは優れて個人的個性的であるべきであり、プロジェクト研究とは、その精神とは相容れない、というのがその主な理由であろう。しかし、どんなに巨大なプロジェクトといえども、もとは１個人あるいは少数の個人が、ぜひやらなければ必要なデータも取れないという強い主体性から始まったものである。それに同調する人たちが集まり、協力し合い、連携して観測する、あるいはデータを取得するのが地球科学におけるプロジェクトであろう。GAMEもそのようなプロジェクトをめざしてきた。地球科学における真のブレイクスルーには、新たな発想はもちろん必要であるが、その発想を支えるための新たなデータを取ることも不可欠であろう。たとえば、宇宙空間から降水を観測するTRMM衛星は、熱帯気象（気候）学において、まさにこのような新しいデータとブレイクスルーを次々と生み出しているが、このプロジェクトも、日米の二人の研究者の夢から始まったものであることを、若い人たちは学習すべきであろう。（安成、2003を参照）

10. 4　GAMEでは何を目指したか？

さて、ではGAMEのサイエンスは何をめざすものであったか？GAMEを始めたいと考えた、私自身の動機のひとつは、図10.1に示すユーラシア大陸の冬（春）の積雪と次の夏のインドモンスーン降水量の間の明瞭な負の相関が、（もしあるとしたら）どのような大陸上の大気・陸面相互作用を通して現れているのか、という疑問であった。雪氷気候学からアジアモンスーンの研究に踏み込んだ者にとって、この美しい相関を作り出している物理過程の解明は当然の疑問であった。幸い、気象学、雪氷学の研究者も、それぞれの立場から、ユーラシア大陸上での大気・陸面間のエネルギー・水収支、あるいはそれが気候の季節変化や経年変動に与える影響を調べようという機運が高まっていた。特に、1979年のFGGE/MONEX以来、アジアモンスーンや地球の気候に大きな影響を与えていることが示唆されてきたチベット高原での地表面エネルギー・水収支変動が大気に与える過程の研究は、大気大循環、雲降水過程、大気境界層、水文学分野の少なからぬ若手研究者の関心が高まっていた。また、シベリアやモンゴルでのエネルギー・水収支は、データがほとんどない状態だけに、寒冷圏の積雪、凍土過程に森林や草原の役割も含めて、観測したいという中堅・若手研究者が増えていた。一方、中国の梅雨前線地帯の雲・降水システムについては、日本の梅雨前線との比較という視点から、雲物理学やメソ気象の研究者と豪雨災害の水文研究者が、中国側研究者とすでに連絡を取りつつあった。熱帯東南アジアでは、メコン川やチャ

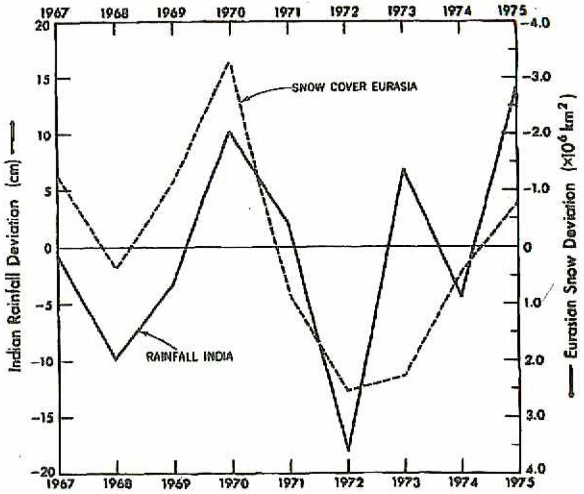

図10.1　衛星データから求めたユーラシア大陸の冬の積雪面積（破線）と次の夏のインドモンスーン降水量（実線）の年々変動。縦軸の積雪面積偏差は、上下を逆にプロットしてある。(Hahn and Shukla, JAS, 1976)

オプラヤ川の水循環変動という視点で、熱帯気象学と河川水文学の人たちが研究テーマを煮詰めつつあった。

確かに、アジアモンスーン地域の流域・地域スケールでの水循環変動をフルに調べようをしたら、広域のアジアモンスーン循環がそれぞれの地域にまず、どのように降水をもたらし、それが陸面での蒸発散や地表面流出となり、水蒸気としてまたどの程度大気に戻って、雲・降水過程にフィードバックされるかというプロセスを、かなり詳細に観測し、モデル化することが必要であった。

日本学術会議WCRP専門委員会の下に、GEWEX（後にGAME）小委員会を設置し、そこで、大学の助教授、助手や国立研究機関（気象研、防災研など）の中堅・若手研究員を中心に、1991年から94年頃まで何回となく議論をした結果、①全球エネルギー・水循環におけるアジアモンスーンの役割の解明、②アジアモンスーンの季節予報改善への貢献、③多様な気候・地表面状態を有するアジアモンスーン地域における、多スケール間の大気・陸面相互作用の解明、④アジアモンスーン変動が地域・流域スケールでの水循環、水利用に与える影響の解明、という目標を掲げて、GAMEの計画が作成された。国内での予算措置のため、GAMEは文部省測地学審議会（気象水象部会）で、1年以上をかけ、1995年にようやく建議された。国際的には、1994年3月のWCRP－JSC（合同科学委員会）で、GEWEX傘下の大陸スケール研究プロジェクトのひとつとして、正式に認定された（安成、1994, 1998）。

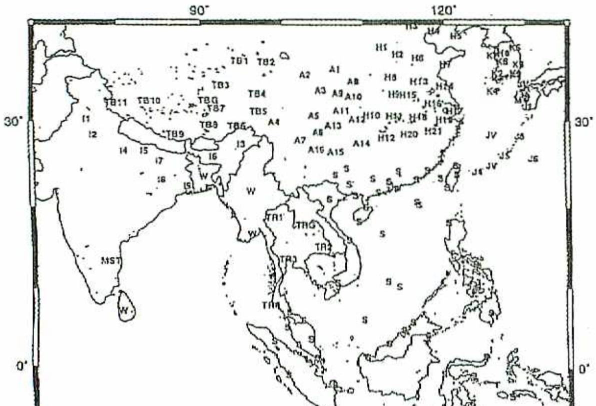

図10.2　GAME強化観測期間（IOP）における高層ゾンデ強化観測地点。1998年6～8月を中心期間としている。南シナ海周辺の観測点は、SCSMEX（南シナ海観測実験計画）が分担した。

すでに作成されていたECMWFやNOAA（NCEP／NCAR）の全球客観解析データでは、上記に掲げたようなエネルギー・水循環過程の研究には、あまりにも精度が悪すぎた。特に、対流性の雲・降水が卓越するこの地域の大気のエネルギー・水循環の解明には、日変化の分解能が必要であった。そのために、アジアモンスーン地域での高層ゾンデ観測を集中・強化して行い、このような解析に資する独自の客観解析データを作成しようというアイデアも生まれた。これはアジア各国の気象局の全面協力が必要であったが、1997年春の韓国済州島でのGAME国際科学パネルで合意され、1998年夏に、特別観測も含めた強化観測期間（IOP）を設けて、図10.2に示すように、モンスーンアジア全域の約120箇所でのゾンデの強化観測（1日2回を4回、場所と期間によっては8回に増やす観測）を行うことができた。集められたデータの客観解析は、気象庁/気象研究所が担当し、GAME再解析データとして、すでに提供されている（安成，1998）。

10.5　GAME計画の実行

GAMEは、開始された1996年以降、アジアでの観測研究を展開したGAME第1期（1996～2001）と、その観測データの解析とモデル研究を主とした第2期（2002～2004）に分けられる。第1期には前節で述べた1998年夏季の集中観測期間（IOP）を含み、①GAME-Tropics（タイ・チャオプラヤ河流域）、②GAME-Tibet（中国側のチベット気象研究計画（TIPEX）と合同）、③GAME-HUBEX（中国梅雨准河流域）、と④GAME-Siberia（東シベリア・レナ河流域）の④地域で大気・陸面相互作用の強化観測が行われた。さらに、地表面フラックス観測をさまざまな気候・植生帯で比較するためのGAME-AAN（自動気象観測システムネットワーク）が、北極沿岸

のツンドラ地帯から、シベリア・タイガ（北方林）地帯、モンゴル草原などを含め、熱帯雨林の地域に至るユーラシア東部の広範な地域で展開され、1年以上長期観測が継続された。GAME計画の全体の構造と、IOPの詳細に関しては、安成（2001）で報告されている。

10.6　GAMEの成果のハイライト

さて、GAMEの観測的研究と、関連したモデル研究ではどのような成果があったのか。ここでは、GAMEの地域観測プロジェクトで得られた成果と、IOP強化高層観測データにもとづくGAME再解析データなどによる広域のモンスーン循環や降水分布変動に関する研究成果の一部を報告する。

10.6.1　植生が調節する熱・水循環の季節変化

東南アジアの熱帯林地域での長期の熱・水フラックス観測は、常緑樹と落葉樹とで、蒸発散の季節変化が大きく異なることがわかった。タイ北部の常緑林では、雨季ではなく、雨がほとんど降らない乾季の最中である3月頃に蒸発散が最大となるのに対し、落葉樹林帯では、雨季の最中に蒸発散が最大になるという、顕著な違いのあり（Tanaka et al., 2003）、この違いは、図10.3のように、それぞれの森林の土壌水分条件と根系の深さに依存して生じていることが、多層土壌植生モデルによる検証で明らかになった（Tanaka et al., 2006）。

一方、シベリアのタイガ（亜寒帯林）では、年間降水量が200㎜前後と、非常に少ないにも関わらず、夏季の永久凍土表層の融解に伴う土壌水分を有効に利用することにより、熱・水循環を活性化し、森林の生育を維持していること、このプロセスにより、永久凍土層も、顕熱・潜熱比の調節を通して夏季の融解が抑制されることにより、タイガ・凍土共生系が維持されていることが明らかになった（Ohta et al., 2001）。これに関連して、夏季降水量の年々変動と永久凍土中の水分変動が密接に関係していることが、凍土内の水（氷）の同位体分析により明らかになった（Sugimoto et al., 2002, 2003）。これらの結果は、植生と気候は、一方的に気候が植生を決めているというよりも、土壌条件と水・エネルギー循環を通して、相互作用系として維持されていることを強く示唆することになった。

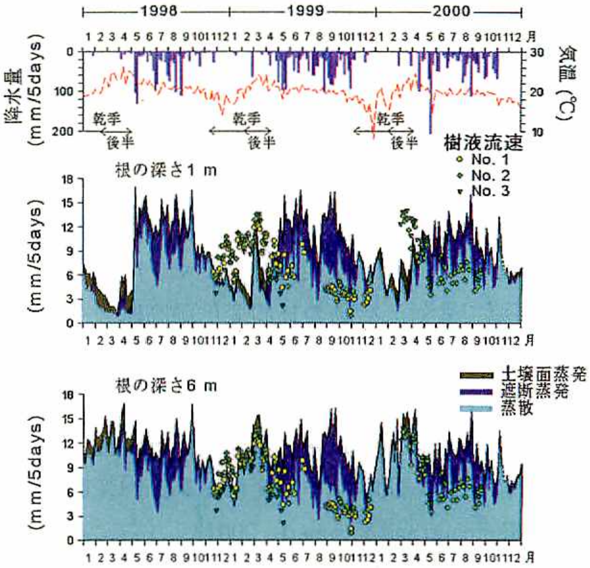

図10.3　多層土壌植生モデルによる東南アジア常緑熱帯林における蒸発散量の季節変化のシミュレーションと観測値。下図のように、モデルでの根の深さを6mに設定すると、観測値と良く合致することが明らかになった。(Tanaka et al., 2003).

10.6.2　植生改変が地域的な気候を変える？

植生が地表面と大気でのエネルギー収支や水循環にとって重要であることが10.6.1で明らかになったが、そのことは同時に、植生の人為的な改変がある程度の広がりをもって行われた場合、地域的な水循環や気候を変える可能性が考えられる。タイでは過去数十年、特にモンスーン後半の9月の降水量が減少傾向にあるが、Kanae et al. (2003) は、この降水量の変化が、大規模な森林破壊と農地化の影響の可能性が強いことを領域大気モデルにより示した。9月に選択的にその影響が顕在化する理由として、モンスーン気流がこの季節には弱くなり、地表面変化の影響がより強く現れることも指摘している。

10.6.3　日周変化する対流・降水活動の重要性

アジアモンスーンの多くの地域で行われたGAMEの観測で明らかになったひとつの共通の現象に、対流・降水活動の顕著な日周変化（Osawa et al., 2001）

と、そのモンスーン循環や擾乱に果たす役割の重要性である。インドシナ半島では、降水の日周変化が、ミャンマーからタイ、ラオスへと位相を変化させて東進することが、レーダーデータや降水データの解析で明らかになった (Okumura et al., 2003)。さらに領域大気モデルにより、この東進する日周擾乱の再現に成功した (Satomura, 2000)。ヒマラヤ山脈やチベット高原でも対流活動の日周変化が高原スケールで生じており、高原上の山地と谷間で局地循環を伴って時空間的な位相変化があること (Kuwagata et al., 2001; Bhatt and Nakamura, 2005; Fujinami et al., 2005)、その活動も顕著な季節変化と季節内変動のあること (Fujinami and Yasunari, 2001)、さらに高原スケールで日周変化する収束線が形成され、この収束線が時として発達すると、図 10.4 のように、高原東端部で、メソ・スケール擾乱を発生させ、梅雨前線帯でのメソ擾乱に発達すること (Yasunari and Miwa, 2006) など、日周変化が、アジアモンスーン地域では対流・降水活動の基本的なプロセスとして、また、メソ擾乱の発達などにも、マルチスケールな相互作用を通して、非常に重要であることが明らかになった。

また、インドネシア海洋大陸では、GAME での現地観測はされなかったが、対流・降水活動の日周変化が、熱帯の大気加熱と循環の維持にとっても重要な役割を果たしていることが、TRMM（熱帯降雨観測衛星）によるデータ解析と関連プロジェクトの観測データから明らかになってきた (Ichikawa and Yasunari, 2006; Mori et al., 2004; Sakurai et al., 2005)。

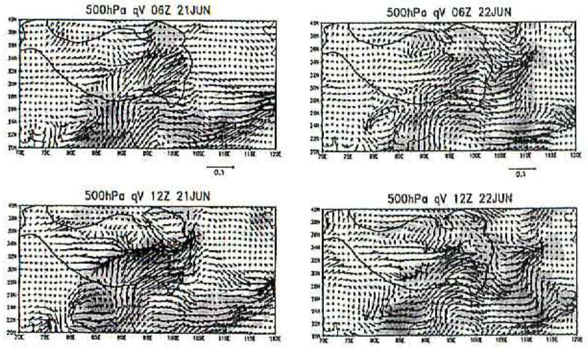

図10.4 チベット高原上の大気下層 (500hPha) における水蒸気輸送ベクトルに見られる収束線の日周変化。GAME再解析データによる解析。この日のように、収束線が高原東端まで延びた時にメソじょう乱が発生している。(Yasunari and Miwa, 2006)

10. 6. 4 梅雨前線に伴う雲・降水システムの構造

中緯度の雨は、東アジアでも低気圧の雲システムにより、もたらされる。この低気圧の前面には温暖前線、後面には寒冷前線があり、それぞれの前線が雨（雪）をもたらすことがよく知られている。しかし、GAME-HUBEX による淮河流域でのドップラーレーダなどによる集中観測により、気象衛星などでは一見同じようにみえる雲降水システムも、南からの湿った熱帯モンスーン気流の影響が強い場合と、北からの乾いて冷たい大陸内部からの気流の影響が強い場合で、その３次元構造がまったく異なることが明らかになった (Yamada et al., 2003)。これに関連して、梅雨前線が北上する場合と南下する場合で、図 10.5 のように、構造が変化し、降水の強度や持続性も大きく異なる「変幻自在」の姿を梅雨前線内の雲システムはとることが示された (Maesaka et al., 2004; 2005)。

10. 6. 5 雲・降水活動と大気・陸面相互作用

モンスーンの対流・降水活動や大気循環の季節進行は、陸面の状態（土壌水分や植生などの）状態に大きく影響を受けることも明らかになった。チベット高原中部における 1997 年、1998 年におけるドッ

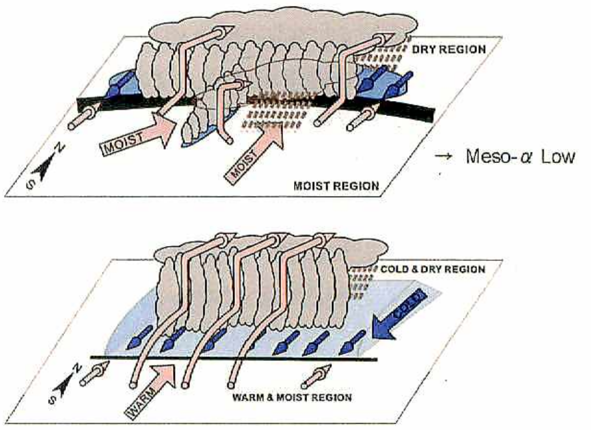

図10.5 梅雨前線が北上する場合（上）と南下する場合（下）に発達する前線上のメソスケールじょう乱の構造の違い (Maesaka et al., 2004)

プラーレーダの連続観測データなどにより、降水システムや降水雲の特徴が、比較的乾いた地表面状態のモンスーン前半と、湿った状態の後半で大きく異なることが明らかになった (Yamada and Uyeda, 2006)。モンゴル草原では、夏季（モンスーン季）の前半と後半で、土壌水分が草原生態系の活動（光合成活動）に与える影響が大きく異なり、夏の初めに降水があるかどうかが、その夏の草原の活動度を決めることが明らかとなった (Miyazaki et al., 2004)。このことは、蒸発散を通した夏の後半の降水活動への影響も示唆される。また、梅雨前線上の雲システムの発達には、南西モンスーン気流や太平洋高気圧の縁辺からの気流に加え (Ding et al., 2001)、中国南部に広がる水田地域からの水蒸気供給も重要であることが、観測とモデルの両面から示された (Shinoda and Uyeda, 2002)。GCM 実験からは、GEWEX Land-Atmosphere Study (GLAS) に参加した沖・鼎らは、GCM 実験から、インド、中国などの半乾燥域では、土壌水分変化が降水に与える感度の大きい特性を示すことを指摘している (Koster et al., 2004)。

10.6.6 大気加熱とモンスーン循環の季節進行

図 10.6 GAME 再解析データから計算された 1998 年 5 月のチベット高原上の大気の非断熱加熱率 (Q1) と潜熱加熱率 (Q2) の鉛直分布。(Ueda et al., 2003)

モンスーンの季節進行は、大気・陸面・海洋相互作用により、大気が加熱され、大気の温度場にバランスした大気循環が形成される過程である。特に GAME では、98 年の IOP 時には、高密度の日降水量観測データなどが収集された他、高層強化観測データを気象庁が再解析し、GAME 再解析データとして高解像、高精度の客観解析データが作成され、季節進行についても新たな知見が多く得られた。

東南アジアモンスーンの降水から見た季節進行には、モンスーン開始前に、前兆的な降水現象がインドシナ半島ですでに始まること (Kiguchi and Matsumoto, 2005) や、プレモンスーンを特徴づける広域の逆転層が存在すること (Nodzu et al., 2006) などが、GAME-Tropics の観測で明らかとなった。この

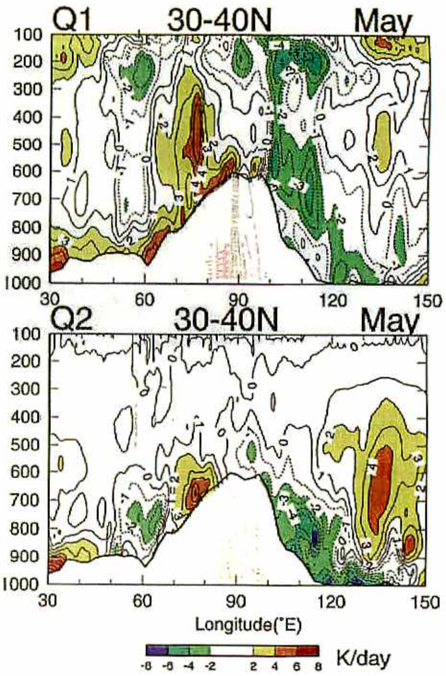

図10.6 GAME再解析データから計算された1998年5月のチベット高原上の大気の非断熱加熱率 (Q1) と潜熱加熱率 (Q2)の鉛直分布。(Ueda et al., 2003)

降水による潜熱は、地表面からの顕熱と共に、プレモンスーン期の大気加熱にも貢献していることがわかった (Ishizaki and Ueda, 2006)。また、インドシナ半島のモンスーンの季節進行には、非常に顕著なモンスーン降水量のブレイク（中休み）現象があり、これは大規模な南西モンスーン気流とインドシナ半島の山岳地形の相互作用が引き金となって、南シナ海や西太平洋での循環場と対流活動を変化させる東南アジアモンスーンにおける特異現象 (Singularity) であることがわかった(Takahashi and Yasunari, 2006)。

GAME 再解析データを用いて、大気の非断熱加熱の時空間分布が作成された。この結果、チベット高原上では、プレモンスーン期における大気加熱でも、図 10.6 に示すように、これまで言われていた顕熱だけでなく、潜熱の役割も重要であることが明らかにされた (Ueda et al., 2003)。

10.6.7 モンスーン降水をもたらす水蒸気の起源

輸送と混合過程を入れた Rayleigh 同位体モデルを GAME 再解析データで駆動した結果、インドシナ半

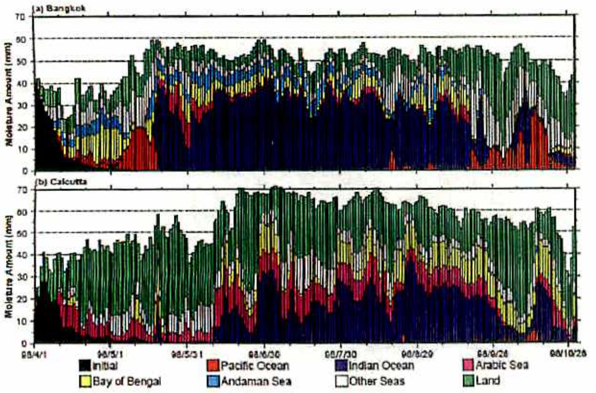

Fig. 6. Daily time series variation in water origins of total precipitable water at (a) Bangkok (13.5°N, 100.5°E), Thailand, and (b) Calcutta (22.5°N, 88.4°E), India.

図10.7　水蒸気輸送モデルによる起源地域ごとに色分けした水蒸気変動。（上）バンコク、（下）カルカッタ　(Yoshimura et al., 2004)

島内陸部でのモンスーン降水の安定同位体比の短期変動（1－10日周期変動）には、水蒸気フラックス（輸送）の変動による部分が半分近くを占めて、最も大きいことがわかった (Yoshimura et al., 2003)。

また、水蒸気源を地域ごとに色分けした水蒸気輸送モデルを、GAME再解析データで駆動した結果、アジアモンスーン各地域での水蒸気輸送源の時間変動を定量的に推定することができた。その結果、図10.7で見られるように、インドシナ半島の水蒸気はインド洋起源が多く、インドのカルカッタ（コルコタ）などは、むしろ陸からの蒸発散が多いなど、興味深い違いが明らかになった (Yoshimura et al. 2004)。これらの研究は、水蒸気輸送からみたモンスーンの開始や後退時期など、新しい水同位体気候学の可能性も示した。

10.7　プロジェクトでは副産物も重要である

プロジェクトには評価がつきものである。GAMEも、国内では文部省特別事業費（3年間）と科研費特定領域研究（3年間）をいただき、計3回の評価があった。WCRPの国際プロジェクトとしても毎年、進捗状況の報告が義務付けられている。計画を認め予算措置をした文部省（文部科学省）としては、最初の目標・目的に沿ってどう進んでいるかを評価することは当然である。当初の目標としていたことが、どうもうまく結果が出ないということも当然ありうる。その場合、評価としては低くなってしまうかもしれないが、再現性、普遍性が、かなり保証されている物理学とは異なり、作業仮説として立てていた理屈に沿った結果は、地球科学の場合、なかなか思うようには出ない可能性は高い。GAMEの場合、図10.1のような積雪と大気の関係の解明をひとつの目玉にしていたが、これに関するポジティブな結果はまだ出ていない。しかし、科学研究には、当初の目標や目的には必ずしも入っていなかった科学的成果が、副産物のように出てくるのは当然である。大掛かりの観測研究を行っているわけだから、その副産物も、馬鹿にならないことも多い。GAMEの場合、例えば、大気・陸面相互作用での生物圏（植生）の役割については、前節で紹介したように、シベリア、モンゴル、梅雨前線帯から東南アジア熱帯林にいたる地域で、非常に面白く、予期せぬ新しい結果が得られたが、これは、当初の計画では期待していなかった成果であった。目的への達成度などという評価目標のみでプロジェクトは判定すべきではないことも確かである。このような評価ばかりしていると、つまらぬプロジェクト、かなり分かりきったことをただ定量化、精緻化するだけのつまらないプロジェクトが増える可能性がある。もちろん、プロジェクトは、大きな予算と労力を使って進めるわけだから、十分に検討され、準備された科学目標は非常に重要である。しかし、科学研究にとって本質的に重要な自由度やファジイさ、あるいはエラーからの収穫などを、どうプロジェクトの評価でも認めるか。科学研究推進の政策・方針に関連した今後の大きな課題であろう。

10.8　国際プロジェクトにおける南北問題

GAMEという国際共同研究プロジェクトを進める際に、痛切に感じた問題が、アジアにおける「南北問題」であった。先に、プロジェクトは、一種の認識共同体として推進すべきであると述べたが、東南アジア・南アジア各国の現業機関や研究者と連携してプロジェクトを進める時、当然ではあるが、国内

の研究者同士での了解とは、様々な面で同じようにはいかない。気候がらみの観測研究で難しいのは、対象とする現象、問題に国境がない以上、フィールドとして日本国外でやらざるを得ない。しかし、その問題を持ち込んで研究（観測）をやるためには、もちろん、その国の政府および研究者グループ（機関）の理解と協力が必要である。もちろん、その（科学的）問題を、当事国の機関はや研究者グループがまったく同じ問題意識で取り組んでくれる場合、まさに問題の共有が成立し、場合によっては、予算や人的な面での協力、あるいは共同研究の体制が可能となる。GAMEの場合、中国国内での梅雨関連のGAME-HUBEX（准河観測計画）やGAMEチベット計画はそれに近い状況であった。チベットの場合、中国側の非常に近いテーマを掲げたTIPEXというプロジェクトと連携・協力しつつ、進めることができた。しかし、その場合も、データ交換を、２国間ならいいが、WCRPの枠組みで国際的にデータを公開するという原則で大きくもめ、この解決には長い時間がかかった。

他の地域（国）では、日本が、資材、人材とも丸抱えでプロジェクトを進めざるを得なかったが、その場合は、相手側機関（研究者）も、どうしても受身となり、問題の共有という側面は非常に弱くなってしまう。これまでの日本からアジア諸国へ出かけて行った研究（観測）プロジェクトの多くは、しかし、そのような形態を当然として、悪く言えば、（現地にとっての）ふんだんな資金で、やりたいことをやらせてもらい、データを取ってきて、自分たちの論文にのみ還元させるという、先進国の収奪的プロジェクトであったといえる。確かにWCRPの理念はすばらししい。全人類レベルでの知的財産の共有という意味で、（どんな国で観測されたデータでも）公開し、誰でもが利用できるということは原則として正しいであろう。しかし、現実には、このようなデータを好きなように利用できるのは、圧倒的に欧米や日本などの先進国の研究者である。このような「南北」の差を無視して、いくらデータは公開ですよ、といっても、発展途上国の多くは拒否反応あるいは消極的な態度を示すことは当然であろう。今でも、多くの発展途上国で、気象データや水文データを国際的に公開しようとしないのは、これらの国々の国益を守るためのささやかな抵抗という面も否めない。

では、どうすべきか。GAMEは、WCRPのアジアでの初めてのプロジェクトとして、この問題の解決に向け、試行錯誤し、大いなる努力をしてきた。これまで、欧米中心で進めてきたWCRPに、GAMEは新たな問題提起をしてきたことも事実である。特に、東南アジアを舞台としたGAME-Tropicsはこの問題に直面してきた。解決へ向けた一つの方向は、やはり、現地の研究者、機関のニーズと要求にできるだけ答えるような問題群の共有であろう。例えば、タイでは、モンスーン季の洪水予測には、南シナ海からの台風（熱帯性低気圧）の来襲予測が最も重要であるということを、私たちは現地で学んだ。このようなニーズへの取り組みは、当初のGAMEにはなかったが、この問題に答えられるような研究を、GAMEを引き継ぐプロジェクトでは考慮に入れる必要があろう。また、得られたデータを真に共有して使えるように、研究・教育の社会基盤の整備（いわゆるcapacity building）まで含めたプロジェクトにすることも重要である。共同で取得したデータを、（ただ名前だけ並べるのではなく）、共同で解析し、共同で論文を書いてこそ、真の意味での認識共同体の確立が可能となろう。WCRPも、発展途上国地域こそ、気候の問題が深刻であることに気がつき、ようやくその方向に動き出している。

今後も、日本が主導し、あるいは参画する地球環境関連の国際共同プロジェクトは、アジア地域でますます増えるであろう。世界の人口の６割近くを占めるモンスーンアジアでの地球環境問題は、そのまま、地球全体の環境問題でもある。今後のアジアを舞台とする気象気候や地球環境関連のプロジェクトで最も重要なのは、観測研究そのものにも増して、いかに、問題群の共有ができ、共同で解決へ向けて行動できるような人材を育成することへの貢献であろう。GAMEは、研究面での世界への多くの発信もあったが、プロジェクトを通して、このような「南

北問題」への解決へむけた理解と認識を、参加した多くの研究者が得たことも、今後へ向けたもうひとつの大きな成果であったといえよう。

10. 9　ポストGAMEの状況と今後の展望

2004年12月に最後のGAME国際会議が京都で行われた。この会議で、日本のみならず、多くのアジア各国の研究者、気象・水文関係の現業研究者から、GAMEでの研究成果と、プロジェクトとしてのGAMEの枠組みをさらに発展させる必要性が強調された。これらの議論を踏まえ、日本およびアジアの研究者が集まって議論を重ねた結果、GAMEの後継プロジェクトとして、MAHASRI (Monsoon Asia Hydro-Atmosphere Scientific Research and Prediction Initiative : モンスーンアジア水文気候研究計画) がWCRP/GEWEXに提案され、2006年3月、WCRP合同科学委員会で正式に承認された。現在、松本淳氏（首都大学東京教授、海洋研究開発機構地球環境観測研究センター・グループリーダー）を中心に、国内・国際両面で計画が進められている。

GAMEを開始し、実行した10年程度前と、現在では、日本およびアジアの気候・水文研究の環境は大きく変わっている。10.8節で指摘した、研究（プロジェクト）におけるアジアの南北問題は依然として存在しているが、特に中国・インド・韓国などを中心としためざましい経済発展は、これらの国々における研究環境を飛躍的に向上させている。これらの国々では、アジアモンスーン関係の大型研究プロジェクトが、いくつか提案され、それらの予算の多くは、GAMEが文科省から受けていた額に匹敵するかそれ以上の規模のようである。一方日本では、大学や研究機関の法人化と共に、大型研究費が、大部分競争的資金となり、長期的展望に基づく研究プロジェクトが非常にやりにくくなっている。研究に参加する若手研究者も、ポスドク研究員等として、研究費で雇わねばならないという、非常に不安定な状況になってきている。

このような状況で、アジア各国と連携した研究プロジェクトの遂行には、大きな経費の必要な観測での連携などで、GAMEの時より非常に遣りやすくなった面もあるが、いっぽうで、長期的な視野に立った国際的な連携の枠組みや研究基盤整備（キャパシティビルディング）などをどう進めていくか、いくつかの新たな問題も生じている。しかし、このような状況で改めて強調すべきは、やはり、アジアモンスーン地域における気候学・水文学として、今何が一番必要か、というサイエンスであろう。日本の研究者は、今後、ハード面ではなく、このソフト面でこそ、アジアをリードしていく必要があるし、その基盤はすでにあるはずである。

10.10　おわりに

この報告では、GAMEの経緯から計画概要、成果のハイライトや問題点、将来に向けて提起された課題など、限られた紙面でまとめた。WCRPの下で、アジアで始めて進めた国際共同研究としての意義や課題は、「天気」に掲載した安成（2007）と重複する部分が大きい。また、研究の成果については、とても全部を紹介することはできず、主にGAMEの直接的な観測データやGAME再解析データによる研究を中心にトピック的に紹介したにとどまった。GAME関係の研究成果は、プロジェクト開始以来、2006年5月までで、査読付きオリジナル論文が英文だけで約270編、和文だけで、約70編におよび、GAMEのデータを用いた論文は、現在も増え続けている。また、観測データは、現在、14枚のCD-ROMですでに公開されている。その他の報告書、ニュースレターの情報なども含め、以下のウェブサイトから、関連するすべての情報をたどることができる。

http : //www. hyarc. nagoya-u. ac. jp/game/

10. 9節で述べたように、GAMEを引き継ぐWCRP/GEWEX傘下のモンスーンアジア地域のプログラム（プロジェクト）として、現在、Monsoon Asian Hydro-Atmosphere Scientific Research and Prediction Initiative (MAHASRI)（日本語名：モンスーンアジア水文気候研究計画）が進められている。ウェブサイトは、下記に立ち上げられている。

http : //mahasri. cr. chiba-u. ac. jp/

これらのウェブサイトをぜひ参照していただき、アジアにおけるモンスーンと水文・気候研究の重要性と面白さを理解していただければ幸いである。

謝辞

GAMEの実行にあたっては、文部科学省をはじめ、日本学術振興会、宇宙航空研究開発機構（JAXA, 旧NASDA), 海洋研究開発機構（JAMSTEC)、アジア太平洋地球変動研究ネットワーク（APN）などから、資金面を含めた多大の支援をいただいた。また、国際的推進については、WCRP事務局（ジュネーブ）の支援と協力をいただいた。また、本原稿をまとめるにあたり、「気象研究ノート」編集委員の山中大学氏には貴重なコメントをいただいた。ここに記して感謝する次第である。

〈参考文献〉

Bhatt, B. C., and K. Nakamura, 2006: A climatological-dynamical analysis associated with precipitation around the southern part of the Himalayas. *J. Geophys. Res. (D)*, 111

Bhatt, B. C. and K. Nakamura. 2005: Characteristics of Monsoon Rainfall around the Himalayas Revealed by TRMM Precipitation Radar. *Monthly Weather Review*: 133, . 149-165.

Fujinami, H. and Yasunari, T., 2001 : The Seasonal and Intraseasonal Variability of Diurnal Cloud Activity over the Tibetan Plateau, *J. Meteo. Soc. Jpn*, 79 (6), 1,207-1,227.

Fujinami, H., S. Nomura, T. Yasunari, 2005 : Characteristics of Diurnal Variations in Convection and Precipitation over the Southern Tibetan Plateau during Summer. *SOLA*, 1,49-52

Ichikawa H., and T. Yasunari, 2006 : Time-space Characteristics of Diurnal Rainfall over Borneo and Surrounding Oceans as Observed by TRMM-PR. *J. Climate*, 19, 1238-1260.

Ishizaki, N. and Ueda, H., 2006 : Seasonal heating processes over the Indochina Peninsula and the Bay of Bengal prior to the monsoon onset in 1998, *J. Meteo. Soc. Jpn*, 84、375-387 .

Kanae, S., Oki, T. and Musiake, K., 2001 : Impact of Deforestation on Regional Precipitation over the Indochina Peninsula, *J. Hydrometeo.*, 2, 51-70.

Koster, R. D., Dirmeyer, P. A., Guo, Z., Oki, T., Sud, Y. C., Yamada, T. and others, 2004 : Regions of Strong Coupling Between Soil Moisture and Precipitation, *Science.*, 305, 1,138-1,140.

Kiguchi, M. and Matsumoto, J., 2005 : The Rainfall Phenomena during the Pre-monsoon Period over the Indochina Peninsula in the GAME-IOP Year, J. *Meteo. Soc. Jpn*, 83 (1), 89-106.

Kuwagata, T., Numaguti, A. and Endo, N., 2001 : Diurnal Variation of Water Vapor over the Central Tibetan Plateau during Summer, *J. Meteo. Soc. Jpn.*, 79 (1B), 401-418.

Miyazaki S., T. Yasunari, T. Miyamoto, I. Kaihotsu and T. Oki, 2004: Agrometeorological Conditions of Grassland Vegetation in Central Mongolia and their Impact for Leaf Area Growth. *J. Geophys. Res*, 109, D22106, doi : 10.1029/ 2004JD005179.

Mori, S., J. -I. Hamada, Y. I. Tauhid, M. D. Yamanaka, N. Okamoto, F. Murata, N. Sakurai and T. Sribimawati, 2004 : Diurnal rainfall peak migrations around Sumatera Island, Indonesian maritime continent observed by TRMM satellite and intensive rawinsonde soundings. *Mon. Wea. Rev.*, 132, 2021-2039.

Nodzu, M. I., S. -Y. Ogino, Y. Tachibana and M. D. Yamanaka, 2006 : Climatological description on seasonal variations of temperature inversion layers over the Indochina Peninsula. *J. Climate*, 19, 3307-3319.

Ohsawa, T., Ueda, H., Hayashi, T., Watanabe, A. and Matsumoto, J., 2001 : Diurnal Variations of Convective Activity and Rainfall in Tropical Asia, *J. Meteo. Soc. Jpn*, 79 (1B), 333-352.

Ohta, T., Hiyama, T., Tanaka, H., Kuwada, T., Maximov, T. C., Ohata, T. and Fukushima, Y., 2001 : Seasonal variation in the energy and water exchanges above and below a larch forest in eastern Siberia, *Hydro. Proc.*, 15 (8), 1,459-1,476.

Okumura, K., Satomura, T., Oki, T. and Khantiyanan, W., 2003 : Diurnal variation of precipitation by moving mesoscale systems : Radar observations in northern Thailand., *Geophys. Resear. Let.*, 30 (20), 2,073.

Sakurai, N., F. Murata, M. D. Yamanaka, H. Hashiguchi, S. Mori, J. -I. Hamada, Y. -I. Tauhid, T. Sribimawati and B. Suhardi, 2005 : Diurnal cycle of migration of convective cloud systems over Sumatera Island. *J. Meteor. Soc. Japan*, 83, 835-850.

Satomura, T., 2000 : Diurnal Variation of Precipitation over the Indo-China Peninsula : Two dimensional numerical simulation, J. Meteo. *Soc. Jpn*, 78 (4), 461-475.

Shinoda, T. and Uyeda, H., 2002 : Effective factors in the development of deep convective clouds over the wet region of eastern china during the summer monsoon season, *J. Meteo. Soc. Jpn.*, 80 (6), 1,395-1,414.

Sugimoto, A., Yanagisawa, N., Naito, D., Fujita, N. and Maximov, T. C., 2002 : Importance of permafrost as a source of water for plants in East Siberian Taiga, *Ecologocal. Res.*, 17, 493-503.

Sugimoto, A., Naito, D., Yanagisawa, N., Ichiyanagi, K., Kurita, N., Kubota, J., Kotake, T., Ohata, T., Maximov, T. C. and Fedorov, A. N., 2003: Characteristics of soil moisture in permafrost observed in East Siberian Taiga with stable isotopes of water, *Hydro. Proseessesc.*, 17 (6), 1,073-1,092.

Takahashi, H. G. and Yasunari, T., 2006 : A Climatological Monsoon Breakin Rainfall over Indochina - A Singularity in the Seasonal March of the Asian Summer Monsoon -, *J. Climate.*, 19-8, 1545-1556.

Tanaka, K., Takizawa, H., Tanaka, N., Kosaka, I., Yoshifuji, N., Tantasirin, C., Piman, S., Suzuki, M. and Tangtham, N., 2003 : Transpiration peak over a hill evergreen forest in northern Thailand in the late dry season : Assessing the seasonal changes in evapotranspiration using a multilayer model, *J. Geophy. Res. -Atmos.*, 108 (D17), 4,533.

Tanaka K, Hashimoto S, 2006 : Plant canopy effects on soil thermal and hydrological properties and soil respiration. *Ecological Modelling*, 196, 32 - 44.

Ueda, H., Kamahori and Yamazaki, N., 2003: Seasonal contrasting features of heat and moisture budgets between the eastern and western Tibetan Plateau during the GAME IOP, *J. Climate.*, 16 (14), 2,309-2,324.

Yamada, H., Geng, B., Reddy, K. K., Uyeda, H. and Fujiyoshi, Y., 2003: Three-dimensional structure of a mesoscale convective system in a Baiu-frontal depression generated in the downstream region of the Yangtze River, *J. Meteorol. Soc. Jpn*, 81, 1,243-1,271.

Yamada, H. and H. Uyeda, 2006 : Transition of the rainfall characteristics related to the moistening of the land surface over the central Tibetan Plateau during the summer of 1998. *Mon. Wea. Rev.*, 134, (accepted)

Yasunari, T. and Miwa, T., 2006 : The Development of convective cloud systems over the Tibetan Plateau and its impacts to the meso-scale disturbances over Meiyu/Baiu frontal zone during Baiu season of 1998, *J. Meteo. Soc. Jpn*, 84, 783-803.

Yoshimura, K., Oki, T., Ohte, N. and Kanae, S., 2003 : A Quantitative Analysis of Short-term 18O Variability with a Rayleigh-type Isotope Circulation Model, *J. Geophy. Res. -Atmos.*, 108 (D20), 4,647.

Yoshimura, K., Oki, T., Ohte, N. and Kanae, S., 2004 : Colored moisture analysis estimates of variations in 1998 Asian monsoon water sources, *J.*

Meteo. Soc. Jpn, 82 (5), 1,315-1,329.

安成 哲三, 1994：アジアモンスーン エネルギー・水循環研究観測計画 (GEWEX Asian Monsoon Experiment；GAME). 天気、41, 459-464.

安成 哲三, 1998：GAME強化観測期間 (IOP) を迎えて一季節変化する太陽入射エネルギーはアジアモンスーンをどのように駆動しているか一. 天気、45, 501-514.

安成 哲三, 1999：第59回気候問題懇談会報告 アジアモンスーンエネルギー・水循環研究観測計画 (GAME) 一アジアモンスーン変動と水循環の予測へ向けて一. 測候時報、66, 19-23.

安成 哲三, 2001：アジアモンスーン地域における気候・水循環変動の研究. 一GAMEの進捗状況と成果について一 学術月報、54、498－505.

安成 哲三, 2003：気候の研究とは何だろうか？WCRP-JSC24に出席して. 天気, 50, 45-48.

安成 哲三, 2007：国際研究プロジェクトとは何だろうか？－GAMEから学んだこと－, 天気 54, No. 2, 131-136.