

特集■モンスーンアジアの自然

地球の気候と アジアモンスーンの水循環

安成哲三 小池俊雄

太陽エネルギーで駆動されている水の循環は、地球の気候を形成し、維持しているきわめて重要な過程である。豊かな雨をもたらすことによって人と生きものの生活に密接に影響しているアジアモンスーンは、海洋と大陸の対照が生み出す強力な水と大気の循環系であり、グローバルな水とエネルギーの循環に重要な役割を果たしている。地球気候とその変動のしくみを理解するために、この地域での水とエネルギー循環過程の実態解明が、いま求められている。

季節をつくるモンスーン

私たちは、四季折々の季節の変化を楽しんでいる。ときには、季節特有の現象に苦しむこともあるかもしれない。地球の気候に季節があるのは地軸が傾いているから、というのが、まず第一にでてくる説明である。たしかに気温の年変化は、その地における太陽高度の季節的変化と密接な関係をもっている。“気候”を意味する英語の climate の語源には、“傾き”という意味が含まれている。

季節の変化のなかでもうひとつの大きな要素は、降水量の変化、あるいは乾季と雨季の変化である。東アジアに住むわたしたちにとって、暑い夏は同時に雨の季節であり、寒い冬は日本海側をのぞき、乾いた季節である。インドから東南アジアに住む人々にとっては、雨季・乾季こそが季節である。この季節をもたらすのがモンスーン、すなわち季節風である。モンスーンの語源は、アラビア語で“季節”を意味する Mausim である。モンスーンとは、したがって、季節的に交替する大気の循環であると同時に、雨季・乾季そのものでもある。

モンスーンは、熱帯アフリカと中南米の一部の地域にもみられるが、ユーラシア大陸東南部からインドネシア・熱帯太平洋、オーストラリア北部を中心とする地域で最も顕著であり、この地域はモンスーンアジアと総称されている。この地域にモンスーンが卓越する理由は、低緯度にまで広い面積を占めるユーラシア大陸とまわりの海洋とのあいだで季節的な加熱・冷却の差が大きいことに加え、ヒマラヤ・チベット山塊の存在がこの差をさらに強めていることによる⁽¹⁾(本特集、村上多喜雄氏の解説参照)。

そして、モンスーンの形成と維持にとってもうひとつの重要な要素は、水の水循環である。モンスーン循環にともなう海洋上での蒸発、海から陸へ向かう風による水蒸気輸送と大陸域での水蒸気収束、その結果としての凝結(雲の生成)・降水、そして地表面からの流出という水循環過程は、潜熱の吸収・放出によって、海洋上の大気の冷却と大陸域付近の大気の加熱を強める。この海洋域と大陸域のあいだに生じた大気の加熱・冷却の差によって、モンスーン循環は強い状態で維持される。強いモンスーン循環はこの水循環の役割をさらに強めるという、正のフィードバックがここにはたらいっている。モンスーンは、水の水循環をともなっ

Tetsuzo YASUNARI 筑波大学地球科学系
Tosio KOIKE 長岡技術科学大学建設系

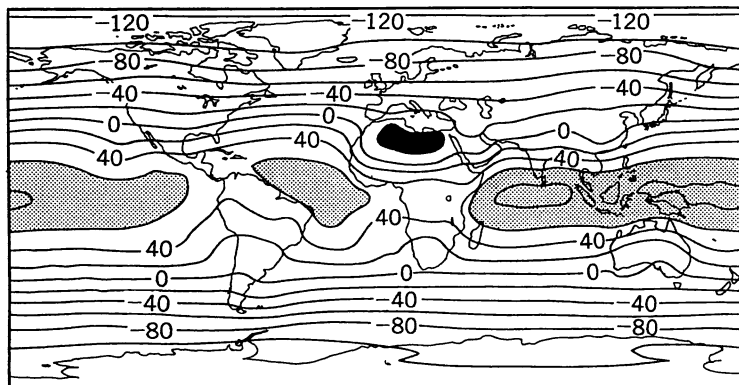


図1 大気圏上端における年平均放射収支。単位は W/m^2 で、影をつけた域は $60 W/m^2$ 以上、黒色域は負の値を示す。

て、はじめて強力な大気循環系として存在できるのである。

太陽エネルギーを再配分するモンスーン

水惑星地球の気候システムの維持と変動のしくみを解明するためには、システムにおけるエネルギーの流れと、その分配・移動の担い手である水の循環を理解することが重要である。気候システムのエネルギー源は、地球系へ入力される太陽の放射エネルギーである。とくにその入力、緯度方向に大きな勾配をもっていることが、気候形成にとって重要な因子となっている。たしかに、年平均でみた放射エネルギー収支(入力された太陽エネルギーと地球系からの赤外放射エネルギーの差)の分布(図1)⁽²⁾では、南北方向には大きな勾配をもっているのに対し、東西方向には全体として一様な分布をしており、緯度方向の勾配の卓越していることがわかる。

しかしながら、大気の実際の加熱・冷却(図2)⁽³⁾をみると、夏冬ともに際だって東西方向に非対称である。とくに注目すべきは、グローバルにみた加熱の中心が、北半球の夏にはチベットから東南アジア付近(図2b)、冬にはインドネシアからオーストラリア北部のアジアモンスーンの降水活動の中心(図2a)と一致していることである。地球大気の実質的熱源としてアジアモンスーンがいかに重要な役割を果たしているかがよくわかる。

一方、熱帯・亜熱帯を中心とする海洋上は、図1にも示されるように大きな正の放射収支域であるにもかかわらず、その放射エネルギーを上まわるエネルギーが蒸発、すなわち潜熱エネルギーへ

変換されている。その不足のエネルギーが大気から海洋へ顕熱エネルギーとして輸送されるため、大気は実質的に冷却される。変換された潜熱エネルギー(すなわち水蒸気)は貿易風でモンスーン地域に運ばれ、そこで雲・降水として解放される。これこそが、上に述べた、モンスーンにともなう水循環過程を通じた熱エネルギーの再配分である。

エルニーニョを引き起こす(?)

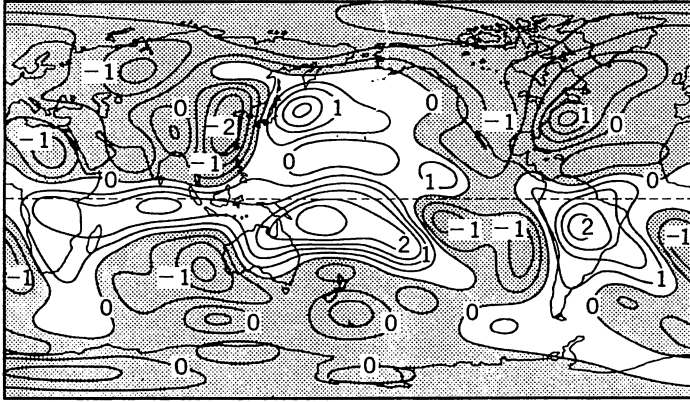
アジアモンスーンの変動

アジアモンスーンは、平均状態としての地球の気候形成に大きな役割を果たしているだけではなく、その年々変動にも積極的な役割を果たしている⁽⁴⁾。図3は、夏のインドモンスーンの降水量が、次の冬の西部熱帯太平洋の混合層(表層)水温と非常に高い正の相関関係にあることを示している。この相関に介在する物理過程はまだ明らかではないが、夏のアジアモンスーンにともなう熱帯太平洋上の大気の東西循環と海洋のあいだの相互作用が鍵となっていると考えられる。

たとえば、夏のアジアモンスーンがいつもより弱い状態にあったとすると、熱帯太平洋上の東西循環も弱く、したがって貿易風の東風も弱い状態がつづく。暖かい海水のたまり場である西部熱帯太平洋で東風による暖水の蓄積効果が弱まり水温が低下すると同時に、中・東部熱帯太平洋では東風が冷たい海水を湧昇させる効果も弱まり、水温が上昇する。その結果、ふだん維持されている“西が暖かく東が冷たい”熱帯太平洋の水温のコントラストは、弱められてくるだろう。

この海洋の状態は、大気の東西循環をさらに弱

1月



7月

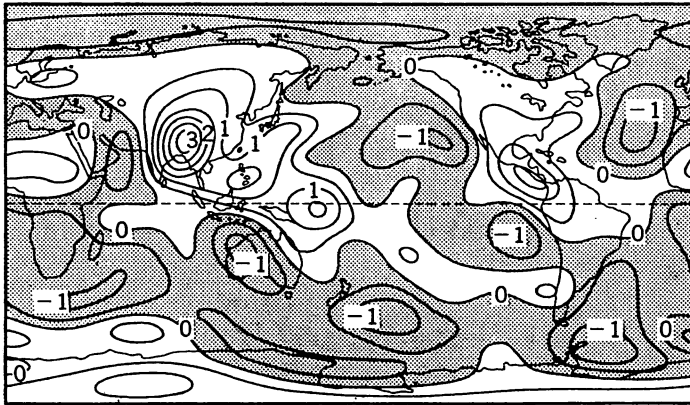


図2 1月と7月の大気加熱率(K/日)。大気柱全体で平均した非断熱加熱率。影の領域は負の値を示す。

める正のフィードバックとしてはたらく。季節の進行とともに、この大気と海洋の偏差状態はさらに進み、ときにはエルニーニョとよばれる状態にまで発展する。夏のモンスーンが強い状態が始まった年には、まったく反対のかたちで大気・海洋相互作用は進行する。村上(本特集号の解説参照)の指摘する東太平洋における大気・海洋相互作用による1年周期の季節変化は、このようにアジアモンスーンの強弱によって年々の変調を受ける可能性が強い。

“地球温暖化”とアジアモンスーン

CO₂などの温室効果ガス的人為的増大が地球の気候に与える影響が、現在大きな問題となっている⁽⁵⁾。大気中のCO₂濃度を現在の量の2倍に増やしたときに、地球の気候はどうなるかを、大気大循環モデルによる数値実験でシミュレートした結果の多くは、北極域を中心として10°C前後の地上気温の上昇を予測している。しかし、中緯度

や熱帯に住む世界の大部分の人間にとっては、気温の変化もさることながら、“温暖化”にともなう降水量がどのように変化するかということが、非常に重要な問題であろう。世界の50%を越す人口が集中するこの地域では、モンスーンがもたらす降水を水資源として農業・工業生産に有効利用することによって、人々の生活が支えられている。モンスーン降水量の時間的空間的な変化は、

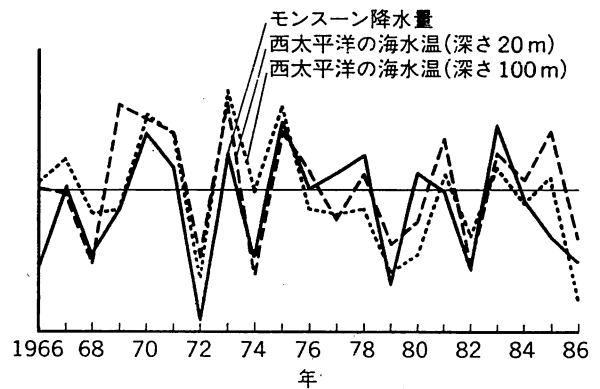


図3 インドモンスーンの降水量と、西部熱帯太平洋の翌年1月の海水温の年々の変動。平均からの偏差で表わす。

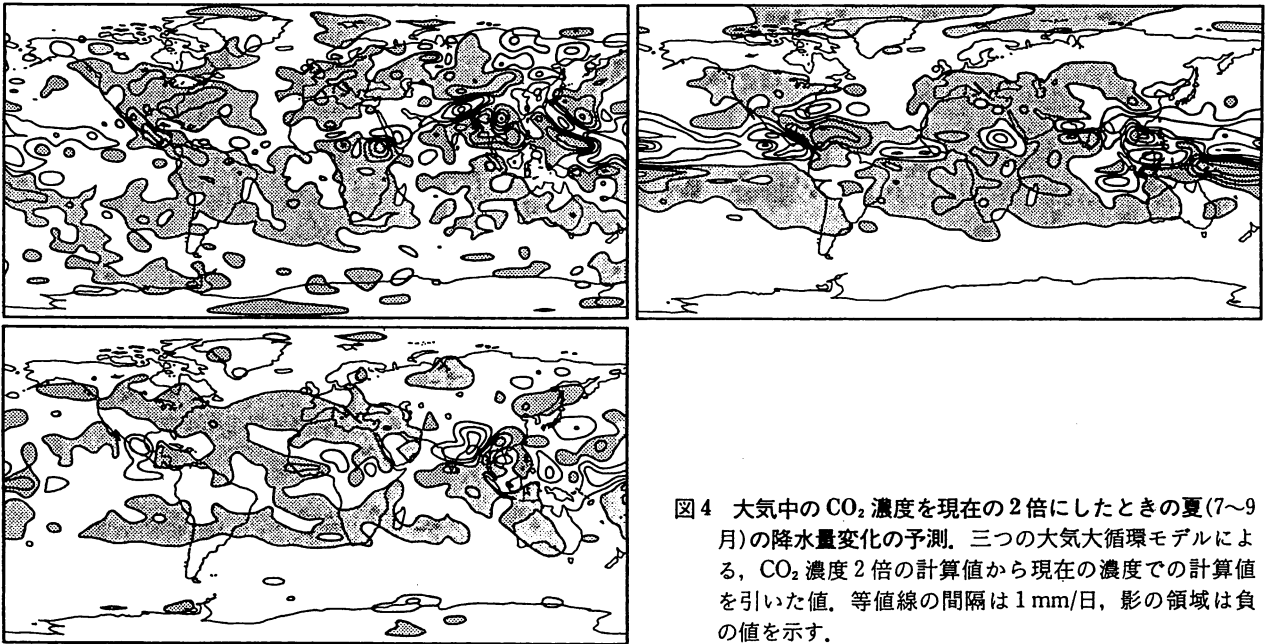


図4 大気中のCO₂濃度を現在の2倍にしたときの夏(7~9月)の降水量変化の予測。三つの大気大循環モデルによる、CO₂濃度2倍の計算値から現在の濃度での計算値を引いた値。等値線の間隔は1mm/日、影の領域は負の値を示す。

洪水や干ばつのあり方や頻度を変化させ、この地域の水資源と水利用に深刻な影響をあたえる可能性がある。

しかしながら、この問題に関しては、現在の大気大循環モデルは、非常に大きな不確定性を示している。図4は、CO₂を倍増させたときに夏(北半球)の降水量がどうなるかを、三つの大気大循環モデルで比較したものである。分布は、現在のCO₂濃度での予測値との差で示されている。どのモデルの結果も局地的なばらつきが大きく、アジアモンスーンにともなう降水量分布も、モデル間に系統的な類似性はみられない。

このような不確定性をつくりだしている原因はいろいろあるが、基本的には、大気における温室効果の強化が、海陸の熱的なコントラストをどのように変化させるかが、まだよく理解されていないことによる。なかでも大気の熱力学過程に関連した雲の取り扱いかたど、大気と地表面のあいだでのエネルギーや水の交換過程の取り扱いかたど、モデルごとにより異なることが、図4の大きな違いとなって現われている。熱帯やモンスーン地域での雲の形成過程やその放射への影響、大気・陸面間、大気・海洋間の相互作用の実態は、気候モデルに組み込めるかたちでは、まだほとんどわかっていないのである。

アジアモンスーンの変動と ユーラシア大陸の積雪

アジアモンスーンの変動は、熱帯大気の東西循環をとおして、熱帯太平洋域の大気・海洋相互作用と密接にリンクしていることを先にのべた。この場合、むしろモンスーンの変動のほうが積極的な役割をしている可能性も指摘した。では、モンスーンの変動は、なにが原因で起こっているのだろうか。

はじめに述べたように、モンスーンは海洋と大陸のあいだの熱的コントラストで生じる大規模な大気循環である。したがって、モンスーンの変動は、海洋の熱的状態だけではなく、大陸上の熱的状態にも影響をうけるはずである。

ユーラシア大陸の冬(または春)の積雪とひきつづく夏のアジアモンスーンとのあいだに負の相関があることは、HAHNとSHUKLAの論文⁽⁶⁾以来、多くの研究によって指摘されてきた。たとえば図5は、過去約20年間の4月の中央アジア地域の積雪面積と、そのあとのインド全域におけるモンスーン降水量のあいだに、有意な負の相関のあることを示している⁽⁷⁾。積雪が大陸上に多くあれば、春から夏にかけての地表面と大気の加熱が遅れ、あるいは弱められ、夏のアジアモンスーンの循環

が弱くなることは、想像に難くない。しかしながら、冬から春にかけての積雪が、どのような物理過程を通して夏のモンスーンに影響をあたえるのであろうか。

残念ながら、この疑問に答えられる観測的研究はまだほとんどない。ユーラシア大陸上に春先の積雪量が多い場合と少ない場合とで、引き続く夏の気候がどのように異なるかを、大気大循環モデルをもちいて調べた研究⁽⁸⁾⁽⁹⁾では、日射を強く反射する積雪の大きなアルベド(反射能)の効果だけでは数カ月のタイムラグをもった夏の気候への影響は説明できず、融けた積雪がその後の地表面の土壌水分を増加させることによって、夏の地表面での加熱を抑制する効果の大きいことが示唆されている。さらに、積雪だけでなく、ユーラシア大陸の北半分やチベット高原に存在する永久凍土の夏の気候加熱への影響も考えられる(本特集、大畑哲夫氏の解説参照)。

ユーラシア大陸の生態系の 多様性と水循環

大陸の地表面が海洋と大きく異なる点は、地形と植生をふくめたその多様性にある。とくに地球上最大の大陸であるユーラシア大陸は、北のツンドラ・永久凍土帯から南の熱帯降雨林帯まで、および東の亜熱帯湿潤気候帯から内陸の草原・砂漠地帯までの、気候と植生の緯度・経度方向の大きな変化にくわえ、平均高度 5000 m を越えるチベット高原・ヒマラヤ山脈を有するきわめて変化に富んだ地表面で構成されている。地球の気候システムにおける地表面と大気のあいだの相互作用を考えると、この陸面での多様性のもつ意味と役割を明らかにしていく必要がある。

本特集で大沢雅彦氏が指摘するように、熱帯から極にいたる、あるいは低地から高山にいたる大きな気候の勾配が、第一義的には植生の分布を決めている。それと同時に、植生の違いが大気と地表面のあいだのエネルギーや水の交換過程の違いをつくり、気候形成に寄与しているという、動的平衡系として大気・地表面系を理解することも必

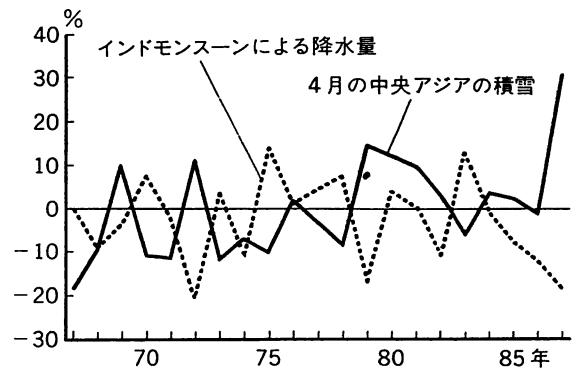


図5 ユーラシア大陸(中央アジア)の4月の積雪面積と夏のインドモンスーン降水量の年々変動。平均値からの偏差(%)で示す。積雪面積は人口衛星からの観測データ。

要であろう。そして、この動的平衡系の維持に大きな役割を果たしているのが水循環である。

たとえば大陸の東半分を占めるモンスーンアジアでは、モンスーンの豊富な降水量を前提とした森林が、南の熱帯降雨林から北のタイガ(針葉樹林)まで連続的に分布している。この森林は同時に、裸地や草地にくらべ大きな蒸発散と水の貯留能力をもつために、湿潤なモンスーン気候をさらに安定に存在させる働きもしていると考えられる。森林のアルベドは裸地面にくらべて小さいため、太陽放射の吸収も大きく、大気・地表面系の水循環も活発になりやすい。

一方、植生の乏しい内陸の乾燥・半乾燥地域では、降水量が少ないため、平均的な量としての水循環は小さいが、地表面の熱と水の貯留容量が相対的に小さいことがその変動を大きくする方向にはたらく。水循環を通じた大気の加熱の変動もこの地域では大きく、モンスーンの年々変動や季節内変動には、むしろこの地域の水循環の変動が大きく効いている可能性がある。図5に示した春の積雪面積と夏のモンスーンとの関係は、中央アジア地域でとくに高い相関を示しているが、これは森林が少なく草原が卓越したこの地域の地表面が、さきに述べたような積雪の大気にあたえる影響をより効果的にしているという可能性も考えられる。

地球気候システムと 大気・陸面相互作用

地球の気候システムのなかで、エルニーニョに代表されるような熱帯の大気・海洋相互作用は、蒸発と風の吹送効果を通じた大気循環と海水温のあいだのフィードバックによって、大気・海洋系の平均的状态からの振れ(アノマリー)を季節的に発展(あるいは終息)させていく過程であった。この大気・海洋系は、熱源に対する熱帯大気の応答と、それに励起された波動の伝播という機構を通して、中・高緯度の大気循環に影響をあたえる⁽¹⁰⁾。

これに対し、大陸上での大気・陸面作用は、モンスーンに対する積雪の役割のように、かなり異なったかたちの役割を、気候システムのなかで果たしている。すなわち、陸面そのものは海面のように簡単には変化しないが、冬や春の(降水量や気温の)気候状態を、積雪や土壌水分のアノマリーのかたちで夏まで記憶させる。この地表面状態のアノマリーにともなった熱・水収支のアノマリーを通して、夏の気候に影響を与えていくという、気候シグナルの季節間の伝達という過程が気候システム内でおこなわれる。この場合、中・高緯度の大気の状態がモンスーンを通して熱帯の大気・海洋系に影響するという、大気・海洋相互作用とは逆向きの働きをすることも、この相互作用の際だった特徴といえる。

より長い時間スケールで考えると、地表面状態の変化そのものが気候システムに関与する可能性もある。たとえば熱帯降雨林は、水の貯留だめとしての役割と大きな蒸発散量によって、大気への安定な水蒸気源としての役割をもっているといわれている。森林からの大きな蒸発は、下層の大気を不安定に保つことによって対流活動を常に維持し、降水をさらに森林にもたらし、この水の再循環(リサイクル)機構が、熱帯降雨林とそこでの気候をたもっているともいえる。しかし、人間活動などのために森林の破壊・伐採が広い面積でおこなわれると、水の表面流出が増え、蒸発散量は、

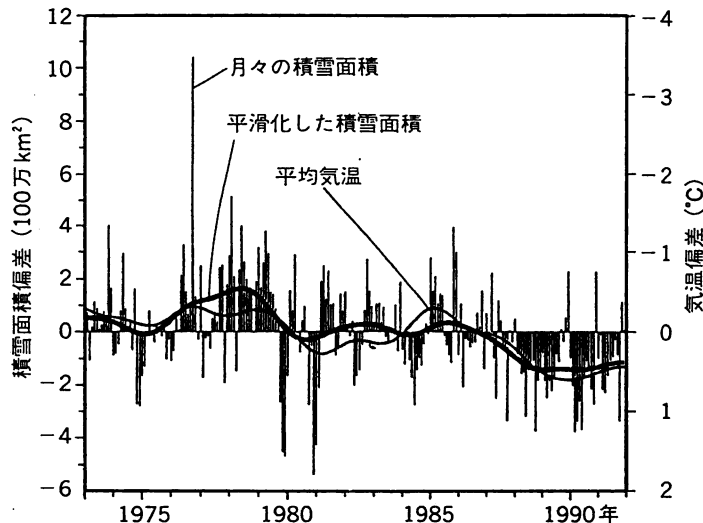
3分の1程度になってしまう⁽¹¹⁾。降雨林を維持する機構そのものが弱まり、森林の破壊がさらに進むという正のフィードバックが作用する可能性も十分にある。さらに、現在の熱帯降雨林の大部分をなくしてしまうと、蒸発散と水蒸気収束による潜熱の解放を主たるエネルギー源とするモンスーンの循環そのものが弱まるという可能性も、大気大循環モデルの数値実験で示唆されている⁽¹²⁾。

一方、シベリアやチベット高原の大部分の地域は、厚い永久凍土層におおわれている。凍土の活動層(季節的に融解する表層)は、積雪の影響もふくめ、年々の寒候季の“寒さ”を、負の熱貯留量の積分値として記憶し、つぎの夏の気候加熱に影響するという気候のメモリーの役割を果たしている可能性が大きい。さらに夏の降水量の一部は、土壌水分としてこの活動層に貯えられたまま秋に凍結し、次の夏まで持ち越される。季節進行のなかでこのように伝達される永久凍土層の気候シグナルが気候の年々変動に果たす役割は、まだほとんど解明されていない。(詳しくは大畑氏の解説参照)

さらに、活動層より下の凍土層は、より時間スケールの長い気候変動におけるフィードバックの機能を果たしていると考えられる。凍った水分を多くふくむ永久凍土層は、氷床と同様に、氷期中の非常な低温期に貯えられた“負の熱容量”の大きな貯留庫である。したがって温室効果ガスの増加にともなう長期的な温暖化傾向に対しては、温暖化を遅らせる負のフィードバックとして機能しう一方、活動層がしだいに深くなるにつれて凍土層中に貯えられていたメタンやCO₂を放出し、温室効果を促進する可能性も指摘されている。

シベリアの永久凍土層域をふくむユーラシア大陸の北半分は、過去約20年間に北半球で地上気温が最も急激に上昇した地域であり、積雪や永久凍土層の長期変動との関連が注目されている。たとえば図6は、最近約20年間のユーラシア大陸上での積雪面積の減少と北半球平均地上気温の上昇との関連を示唆している⁽¹³⁾。

このように大気・陸面相互作用には、どの時間



2 図6 北半球の積雪面積と平均気温の変動。それぞれ平均値からの偏差で表わしている。

スケールをとっても、水とその相変化が大きな役割を果たしている。この作用は、大気・海洋相互作用とともに、グローバルな気候システムの維持と変動をになうエネルギー過程の、水循環による調節作用とフィードバックの一環として理解する必要がある。

モンスーン変動の予測にむけて ——国際共同研究観測計画 GAME の提唱

モンスーンの変動に関する概念的な検討や部分的理解は、ここで述べてきたようになり進んできたといえる。しかしながら、モンスーンにともなう大気・水循環とそれともなう季節的降水やその年々変動の予測には、地域的にみても全球スケールでみても、まだ大きな誤差が含まれている。その最も大きな原因のひとつは、大陸上での大気・陸面相互作用とそれに関わる水循環過程が、物理的なモデル化を踏まえて、大気モデルと妥当な形で結合されていないことである。また、それを実現し検証するための広域観測システムが確立されていないことも大きな要因となっている。これはもちろんモンスーン地域に限られたことではなく、気候モデルによるグローバルな気候変動予測の精度を向上させるためにも大きな課題である。

気候変動国際共同研究計画(WCRP: World Climate Research Programme)の一つの大きな副計画として提案されている全球エネルギー・水循環観測計画(GEWEX: Global Energy and Water

Cycle Experiment)は、人工衛星などによる全球的な観測と、広域水文過程を精確に組み込んだ気候モデルによって、全球的なエネルギーと水循環が地球の気候とその変動に果たす役割を理解することを目的としている。

はじめに述べたように、アジアモンスーンはグローバルな水・エネルギー循環において、きわめて重要な役割を果たしている。また、アジアモンスーンの変動にともなう水循環の地域的な変動は、全人類の半分以上を占めるこの地域の人々の生命と生活に、非常に大きな影響をあたえている。このような問題提起を踏まえ、私たち日本の気象学・水文学研究者は、GEWEXの一環として“アジアモンスーン水・エネルギー研究観測計画(GAME: GEWEX Asian Monsoon Experiment)”を、少なくとも数年以上にわたる長期間の国際共同研究プロジェクトとして提案し、具体化を計っている。

この計画は、モンスーンアジアを中心とするユーラシア大陸での水循環と大気・陸面相互作用の実態の解明と、そのモデル化をめざしている。そのためには、大気と地表面状態に関する広範囲でしかも高い密度の観測体制が必要となる。しかし、モンスーンアジアのほとんどの領域では地上観測施設が乏しいのが現状であり、GEWEX計画の目的の一つにもなっている衛星観測による情報抽出手法の開発と検証が不可欠である。

とくに降水量は、大気大循環モデルによる定量的算定が困難なため、実測が強く要求される水文

量である。この観点から、1997年に日本・アメリカ共同で打ち上げ予定の熱帯降雨観測衛星(TRMM: Tropical Rainfall Measuring Mission)に搭載される降雨レーダー、マイクロ波放射計、可視光・熱赤外放射計は、貴重な情報となる。とくに熱帯域の月降水量を直接測定することに期待が寄せられている(本特集の新田勅氏の解説参照)。

土壌水分や積雪量の観測については、さまざまな波長帯のマイクロ波放射計やアクティブセンサーである合成開口レーダーなどが有効であると期待されているが、必要な空間分解能やアルゴリズム開発など、まだ多くの問題を抱えている。その解決には、1998年にヨーロッパで打ち上げ予定のENVISAT 1衛星や、1999年に日本で打ち上げ予定のADEOS 2衛星が大きな力になると期待されている。さらに、全球的な大気温度、水蒸気、雲形・雲量、地表面温度、植生については、1998年以降に予定されているアメリカのEOS(地球観測システム)衛星計画やヨーロッパのMETEOP 1衛星などが、日周変化もふくめて観測を行なう計画を提出している。これらが実現されれば、包括的な観測が可能な体制が構築されることになる。

これらの衛星観測のデータと次に述べる陸面過程のモデルをつなぐために、モンスーンアジアの陸面状態を代表するいくつかの地点・地域での重点的な大気・陸面相互作用と水循環の観測も、GAME計画の重要な研究の一部である。

これらの観測データをふまえ、多様な地表面での水循環過程がどのようにモンスーン変動へ影響をあたえるか、また逆に、モンスーン変動が地域水循環へどのように影響をあたえているかを、同時に評価することが重要である。そのためには、陸域水文過程と大気循環のマルチスケールな相互作用を組み込んだ結合モデルの開発が必要となる。すなわち、大気大循環モデルのグリッド(格子点)スケール以下の空間スケールで起こっている複雑多様な地表面でのエネルギーと水の交換過程を積分してグリッドスケールに反映させると同時に、グリッドであたえられた情報を、サブグリッドスケールの単位地表面に微分して反映させるのであ

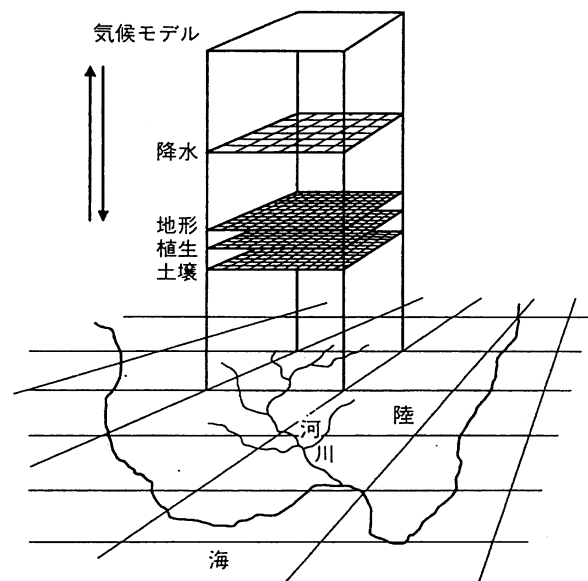


図7 気候モデルと陸域水文モデルのマルチスケール相互作用の模式図。

(図7)。先に述べたように、モンスーンは熱帯の大気・海洋結合系とも密接に関連しつつ変動しており、モンスーンの変動をシミュレートし予測するためには、最終的にはユーラシア大陸の多様な陸域水文過程を表現できるマクロ水文モデルを大気・海洋結合モデルに導入した、陸面・大気・海洋結合モデルの開発が不可欠となる。

モンスーンアジアは、熱帯気候からツンドラ気候まで、湿潤気候から乾燥気候までの多様な気候区にくわえ、季節的な積雪域、永久凍土帯、熱帯雨林、タイガ、草原、砂漠など、きわめて多様な地表面から構成され、大気-陸域相互作用におけるいくつかの極值的現象が同時に生起しており、このような普遍的モデルの構築と検証に格好の場を提供しているともいえる。

GAME計画が、このような観測とモデル化を通して、変化しつつある地球環境のなかでのアジアモンスーンとその水循環の変動予測だけでなく、全球的な気候変動予測の精度向上に大きく貢献することを、私たちは期待している。

文 献

- (1) 安成哲三: 科学, 61, 697(1991)
- (2) E. A. SMITH & L. SHI: Ame. Meteor. Soc., 001 (1992)
- (3) D. R. JOHNSON et al.: in 'Monsoon Meteorology', C.-P. CHANG & T. N. KRISHNAMURTI eds.,

- Oxford Univ. Press(1987) pp. 271~297
- (4) T. YASUNARI: Meteor. & Atmos. Phys., 44, 29 (1990)
- (5) IPCC: Climate Change, J. T. HOUGHTON et al. eds., Cambridge Univ. Press, pp. 365(1990)
- (6) D. G. HAHN & J. SHUKLA: J. Atmos. Sci., 33, 2461(1976)
- (7) Y. MORINAGA & T. YASUNARI: 準備中
- (8) T. P. BARNETT et al.: J. Atmos. Sci., 46, 661 (1989)
- (9) T. YASUNARI et al.: J. Meteor. Soc. Japan, 69, 473(1991)
- (10) J. D. HOREL & J. M. WALLACE: Mon. Wea. Rev., 109, 813(1981)
- (11) 福嶋義宏: 農業土木学会誌, 57, 723(1989)
- (12) T. B. DURBIDGE & A. HENDERSON-SELLERS: IAHS Pub. No. 214, 103(1993)
- (13) W. B. WILKINSON ed.: IAHS Pub. No. 214(1993)

科学時事



全身麻酔薬の作用機構解明か

全身麻酔薬が使用されはじめてから1世紀以上たっていて、今日ではごくふつうに使用されているが、じつはその作用機構はまるでわかっていない。エーテルや笑気、フローセンなどのような実用的な全身麻酔薬以外にも、大なり小なり麻酔作用をもつ物質は多い。こうした物質の麻酔薬としての強さはオリーブ油への溶解度(疎水性の指標と考えてよい)と正比例することがよく知られている。そのために、麻酔薬は神経細胞の細胞膜の脂質に作用するのではないかとずっと考えられてきた。しかし、この説には難点があって、臨床的に通常用いられるような濃度では、麻酔薬は細胞膜の性質を変えないのである。

フィラデルフィアのトーマスジェファーソン大学のSLATERらは、全身麻酔薬の作用部位が細胞膜ではなく、細胞内の情報伝達の中心となっているタンパク質リン酸化酵素C(プロテインキナーゼC)であることを明らかにした(S. J. SLATER et al.: Nature, 364, 82 (1993)).

プロテインキナーゼCは、神経細胞の細胞膜にあるイオンチャンネルタンパク質などをリン酸化させて、細胞膜をへだてたいろいろなイオンの出入りを変化させることによって、神経細胞の信号伝達を変化させる。SLATERらの実験によると、麻酔薬はプロテインキナーゼCの活性を阻害し、阻害の強さはオクタノール：水での分配係数と直線的に正の相関をしめしていた。オクタノール：水での分配係数は麻酔薬としての効果の強さの指標であるから、強い麻酔薬ほどプロテインキナーゼCの活性を強く阻害したことになる。この実験は脂質が入っていない系で行なわれたことから、麻酔薬が実際に作用したのはこの酵素分子の疎水性の部分であったと考えられる。また、麻酔薬の阻害作用は酵素分子の触媒部位ではなく、調節部位であることも明らかになった。このことは、麻酔薬の作用点が細胞膜の脂質であるというこれまでの説を完全に覆すものである。

これまで麻酔薬の開発は、疎水性がある液体や気体を対象にして、麻酔作用が強く毒性が低いものを軒並み試験するという方法で行なってきた。これからはプロテインキナーゼCの阻害作用をもつ分子を設計することによって、より安全で効果のある麻酔薬を効率よく開発できるのではないだろうか。