

## 2. 地球規模水循環部会報告

### 2-1. 背景

世界各地で水不足、洪水被害の増大、水質汚染などの水問題が発生しており、これらに起因する食料難、伝染病の発生など、その影響は開発途上国においてますます拡大している。この原因には、水循環の変動性が大きいという自然要因に加えて、急激な人口増加による農業用水需要の増大や、都市開発、産業発展などの社会的要因が挙げられる。さらに、地球温暖化に代表される気候変動によって、これらの問題が一層深刻なものになることが懸念されている。

我が国はアジアモンスーンによる降水帯の東縁に位置しており、アジア諸国とともにこの世界最大スケールの水循環システムの大きな変動の影響を強く受ける。また、我が国はアジア諸国と同様に造山帯での土地・水利用形態に関連する諸問題や、巨大都市における水需給や水質の問題など、アジア諸国と共有できる社会的、技術的課題も多い。したがって、アジアモンスーンの変動性を理解し予測精度を向上し、水不足、水害、水環境の社会的、技術的な課題の解決策を当該諸国と協力して確立することは、我が国の水管理において重要であるだけでなく、世界人口の約6割を擁するアジア域の水問題の解決、ひいては社会の安定、経済の発展に不可欠である。

### 2-2. ニーズと現状

#### 2-2-1. 水循環の変動性

水循環は、季節および年々の変動が大きいことが特徴である。これまでの水管理は、対象とする流域の長期にわたる水文資料を収集し、この変動性を定常確率過程と仮定し、何年に1度の発生確率という安全度を設定して基本計画としてきた。また対象とする流域およびその近傍の観測データを用いて管理されてきた。しかしながら、水循環の変動性には、離れた場所でしかも異なる季節に生じている事象が関連しており、大気、陸域、海洋の相互作用の中で、それらの事象が相互に関連しながら様々な時空間スケールの変動性を作り出していると考えられるようになってきた。しかも、そのスケールは地域を越え、地球規模にも及ぶことがある。したがって、従来の手法ではこれら水循環の変動性を踏まえた水管理を行うことは困難である。また、地球温暖化が水循環変動に及ぼす長期的影響も重要で、降水の定常確率過程に基づく水管理計画の根幹を揺るがしている。地球温暖化が水循環変動に与える影響を理解し、定量的に評価するにあたっては、水循環の自然変動とそれへの人間活動の作用のメカニズムを理解することが不可欠である。

#### 2-2-2. 水不足問題は21世紀の世界共通の課題

水資源利用秩序は、本来それぞれの地域の気候や風土の中で、長年をかけて形成されてきたものであ

るが、人口増による食料確保のために新たに農地を開墾し、その結果水需要が増加し、同時に土地被覆の改変によって保水力が低下している。さらに産業や生活様式の変革による水需要増も相まって、水利用の秩序が大きく変化し、水資源の利用システムは脆弱になっている。この中で、水循環の大きな変動が生じたとき、危機状況に陥る可能性が増大している。河川水に加え地下水への依存度も高まり、地下水位の低下や地盤沈下、塩害の発生が世界各地で報告されている。これらの背景により、すでに水を巡る国際紛争が各地で発生しており、水問題は21世紀最大の地球規模での環境問題となることが世界的にも指摘されている。我が国では人口減少が推計されているものの、我が国へ輸入される食料の生産国での水資源問題や国際安全保障上の問題の観点から、これは看過できない課題である。

#### 2-2-3. 水・土砂災害の脅威

都市化や森林伐採など土地利用の変化が洪水流量を増大させ、また人口増による氾濫原での居住域の拡大が洪水被害を増大させている。このような水災害に加え、土砂災害も頻発しており、資産被害だけでなく人的被害が依然として大きい要因となっている。一方これらの被害をもたらす極端事象に対して、途上国においては観測すら行われていないのが実態であり、我が国においても予警報、災害防御・管理システムは完全とはいえず、極端事象の発生のたびに甚大な被害が生じている。さらにはこれら極端事象の強度、頻度、偏在化の変化も指摘されており、水・土砂災害のリスクマネジメントはますます難しくなっている。

#### 2-2-4. 水質汚濁と生態系への影響

人口増と産業発展に対して、上水道や下水道などの設備や排水規制などの社会制度の整備が追いつかない途上国を中心に、水質汚濁による公衆衛生上の問題が深刻化している。途上国では病気の約80%は、浄水、公衆衛生対策の不備が原因であり、水に関わる病気で多くの子供が亡くなっている。生態系に対しては、水利用形態に加えて土地利用変化による水量・水質変化が影響しており、生物活動の場の変化を引き起こす土砂輸送などの影響評価も重要である。また、それは絶対量のみならず、変動性も重要な要因である。なお、河川表流水の低下に伴う河川の断流等が生物の移動に与える影響についても評価を行う必要がある。

#### 2-2-5. わが国の科学、技術、国際リーダーシップの優位性

地球規模、地域的、局所的な水循環変動観測には、地上における観測ネットワーク、人工衛星、船舶を用いた観測、GIS(地理情報システム)データ収集体制

の強化が必要である。とりわけ、これらの複合的で多機関にわたる水循環情報を統合的に利用して水循環観測システムを構築するには、多量で多様なデータの取り扱いが問題となる。多量で多様なデータを多機関から収集し、アーカイブし、統合化して有効に利用するには、最新の情報通信技術（IT）分野におけるデータベースおよびネットワーク技術の導入が不可欠で、そのための研究・技術開発体制を確立しなければならない。

### 2-3. 今後 10 年で取り組む方向性と目標

人類の持続的な可能性と福祉を確保するためには、水災害の防御、望ましい水利用と配分、水環境の保全を実現する持続可能で望ましい水管理手法を開発することが求められている。そこで、様々なスケールで生じる水循環変動が人間活動に与える影響と、人間活動が様々なスケールの水循環系に与える影響とを評価して、その情報を危機管理、資源管理における政策決定に反映させることを目的として、地球規模水循環観測を実施し、そのデータシステムを構築することが必要である。このシステムの構築は国際協力の下に進め、得られる情報を国際的に共有できる体制を築くことが肝要である。その実現に向けた基本的な考え方を以下に示す。

#### 2-3-1. 包括的で一貫した研究・技術開発・定常運用体制を構築

観測に基づく水循環の実態の把握・変動メカニズムの解明・モデル並びに予測技術の開発から、食料増産や都市開発に伴う水利用・土地利用・災害リスク・水環境変化の実態の把握と将来予測・影響評価・対策シナリオ策定・技術開発まで、一貫した共同研究、技術開発、定常運用体制を構築し、その中核的役割として地球規模水循環に関する情報基盤技術を確立すべきである。

これにより、自然変動と社会的要因による変動の実態を明らかにし、それを包括的に記述するモデルを開発することによって予測能力を高め、社会的利益に資する水情報の創出が可能となる。また、全球的・地域的変動性と、流域・局所的変動性を組み合わせ合わせた研究、技術開発、定常運用体制により、広域変動が比較的ローカルな領域の水循環・水資源変動に与える影響を、また逆にローカルな影響が広域変動に与える影響を、双方向的に取り組むことが可能となる。

このような研究、技術開発、定常運用体制は一機関でカバーすることはできないし、また一国で閉じる内容ではない。したがって、国内関連機関を連携して取り組む体制づくりが重要であり、これを国際協力の下に進めることが不可欠である。これは、水問題に対する従来の個別の取り組みを、総合的、統合的な体制に転換するブレークスルーとなる。

#### 2-3-2. 地球規模水循環変動の包括的で持続的な統

#### 合観測戦略が必要

水循環変動は、局所的であると同時に地球規模であり、短期変動と長期変動を有しており、様々な時間スケールの諸現象が相互に関連して生じる。したがって、大気・陸域・海洋の水循環に関わる諸量を総合的に、局地的観測と地球規模の観測を統合化して、長期に継続して観測する体制の確立が必要である。

そこで国際協力の下に、水循環要素を総合的に計測する高度集中観測拠点（スーパーサイト）を地域代表性の高い所に設置し、水文・気象の現業観測と経済性に優れた多点観測とを組み合わせる地上観測ネットワークを構築する。また観測データのオンライン収集と品質管理体制を強化する。同時に衛星による地球規模水循環観測を継続、発展させる。地上観測は地域に密着した水文・気象情報の提供とともに衛星観測の検証機能を有し、衛星観測は包括的で広域の水循環情報提供の機能を有する。このように地上観測と衛星観測とを組み合わせる運用戦略が必要である。

スーパーサイトの設置には、わが国がアジア、特に東アジア、東南アジア各国と進めてきた国際共同研究、共同事業の経験、実績を踏まえ、これを強化する戦略が妥当である。また解析的研究やモデル研究から重要と考えられる地点の新規設置も視野に置く。ここでは、多パラメータレーダやウィンドプロファイラ、差分吸収ライダー等の地上リモートセンサやフラックス観測システム、土壌水分の多深度測定システム等を統合的に運用して、高度な観測システムを構築する。

気象の現業観測は、観測の標準化、データ収集、品質管理、統一フォーマット化、アーカイブ、公開方法などが国際的枠組みの下に合意され、実行されているが、河川（水位、流量、水質）や地下水（水位、水質）等、水文の現業観測データの国際的な共有化は達成されていない。この調整にいたずらに時間と労力を割くのではなく、まずは短期間プロジェクト等を通してデータ共有化のメリットを共体験し、その上でさらに理想的なデータ収集・品質管理・アーカイブに関する国際協力体制の構築へと進むことが肝要である。また、レーダやウィンドプロファイラ観測、GPS 可降水量測定、土壌水分観測などを加えた高度な現業観測の拠点を国際協力の下にアジア域に展開する長期的な戦略をもつことが望ましい。

経済性に優れた多点観測およびデータ収集のためには、多数のセンサやカメラ・照明、信号処理・制御回路、計算・サーバ機能、通信機能を有する小型計測装置をネットワーク化し、個別のセンサの能力を超えた精度の情報を収集する超分散モニタリングシステムを開発し、国際協力の下でスーパーサイトおよび主要な現業観測地点周辺に展開する。

衛星による地球規模水循環観測のためには、大気、陸域、海洋の水循環要素を包括的に観測するシステムを国際協力の下に構築することが必要である。わ

が国はこれまでの研究開発実績の強みを活かし、降水レーダ、マイクロ波放射計、合成開口レーダ、可視・赤外イメージャ等を高度化して、地上観測ネットワークデータによる検証を通して観測精度を向上に務める。また、河川水位や地下水位などの衛星観測手法の開発研究も推進する必要がある。

### 2-3-3. データ統融合化による高度で有用な水情報を創出

多様で多量なデータを、メタデータの作成やフォーマットの統一化を通してデータベース化し、統合的に利用するとともに、数値モデルとの結合性を高め、時空間的な観測空白域を埋めることが可能なデータ同化手法を開発し、観測データの流通性、公開性、利便性の向上と高度化を目的とするデータ統融合化システムの開発が必要である。

また防災や水利用、環境保全等、多様なニーズに対応するため、水量と水質データを統合的に用いて、社会的に有用で詳細な情報への翻訳するシステムを開発し、その出力を国際的に共有するシステムを開発することが肝要である。このためには自然科学的データと社会・経済的データとの結合が不可欠で、両者の質の違いを超えて結合を可能にする地球規模の空間情報基盤の整備を急ぐ必要がある。また、得られる有用で高度な情報を国際的に共有する情報システムの整備により、データ提供者はもとより広く国際社会に貢献できる情報を発信することが可能となる。

データ統融合化システム、データから情報への翻訳するシステム、情報の国際的共有システムを開発、運用する。国際社会に貢献するためには、これらに責任を持って長期に実行する地球規模水循環データ統融合化センターの設立が必要である。

### 2-3-4. 国際協力と人材育成を強化

局所的観測と地球規模観測を組み合わせた包括的で持続的な地球規模水循環観測システムおよびそのデータシステムを構築するには、関係各国の教育・研究コミュニティ、水文/気象現業観測機関との有機的で建設的な連携が不可欠である。

スーパーサイトと水文・気象の現業観測、経済性に優れた多点観測とを組み合わせ地上観測ネットワークの設置、運用や、データ統融合化システム等の開発は、水循環、水資源に関わる関係国の研究者や高度観測技術者の育成に貢献するところが大きい。同時に、観測研究者や専任的観測研究マネージャの育成が難しいとされるわが国の教育、研究の問題点をも補うものである。

そこで、関連する国際的なプロジェクトを総合的に進めうる推進戦略をもつ必要がある。またこれらの活動を支援するため、国内外の研究者や観測技術者の観測技術力を育成するとともに、国際プロジェクトを管理し推進する能力の向上を目指す研修プログラムの開発、提供が必要である。

地球規模水循環観測の実施およびデータシステムの構築に当たっては、観測機材やデータアーカイブ資源の整備が不可欠ではあるが、国政的調整、観測のマネジメント、データ収集と品質管理、データ統合化、データから情報への翻訳のための研究・技術開発・定常運用のために相応の人的資源が必要となることから、人的資源の重点的な投入が最も重要であることに留意しなければならない。

### 2-4. 今後 10 年間程度の取り組みの重点事項

#### 2-4-1. 地球規模水循環観測およびデータシステムの企画・運営・評価の推進組織の設置

地球規模水循環変動に関わる観測システム、データ統合、モデリング、社会的影響評価、対策評価の有識者を含めた府省横断的な推進組織を設置して、国際的な協力を視野において、地球規模水循環観測の実施およびデータシステムの構築を企画し、その実施・達成状況を評価しながら、運営の方向性を定める。

#### 2-4-2. 地球規模水循環統合観測システムの構築

(1) アジア・オーストラリアモンスーン域、ユーラシア高緯度および高山域の水循環変動の実態把握と、予測向上に向けた機構解明を目的とした包括的な地上観測ネットワークを構築。

- ・アジア地域レーダー・アメダスネットワークを構築。
- ・アジア域水循環スーパーサイトネットワークを構築。
- ・アジア域における水文・気象現業観測データ（地上レーダ、GPS 観測を含む）共有に関する連携強化と拠点的に観測の一層の高度化を推進。
- ・アジア域での高層気象観測を再構築。
- ・アジア域の降水・水蒸気の同位体比の高頻度観測を推進。
- ・アジア域での系統的な気象・水文の毎時自動観測と植生調査を推進。
- ・経済性に優れた多点観測システムの開発し、アジア域水循環スーパーサイトや現業観測高度化拠点を中心に展開。

#### (2) 地球規模水循環衛星観測ミッションの推進

- ・広域の水循環変動の把握とそのメカニズムの解明、気候監視解説、季節予報モデルの検証、気候数値解析における陸面同化の精度向上を目的とした、降水、土壌水分、積雪、水蒸気、雲の地球規模観測ミッションを継続的、発展的に実施。
- ・降水レーダ、マイクロ波放射計、合成開口レーダ、可視
- ・赤外イメージャ等の開発研究を推進。
- ・国際協力の下で衛星による包括的で継続的な地球規模水循環観測を推進。

#### (3) 地球規模水循環観測のデータセンター機能の提

供

地球規模水循環観測におけるわが国の観測、研究、調整能力や国際的なリーダーシップ、地域特性における強みに鑑みて、独自性を発揮しつつも、地球規模水循環観測データの公開、流通、統一の利用を促進のための国際的責任を担える分野、階層において、以下の二つのデータセンター機能を確立し、国際的な連携及び府省連携のもと、効果的、効率的に研究、開発、サービス提供を行う。

#### 集中型データ統融合センター

データ提供機関の独自性を確保しつつ、非均質情報源からの超大容量で多様な地球観測データの統融合を効果的に行い、新たな情報価値の創生とその国際的共有を目的として、集中的なデータ統融合センターを設立し、データ GRID、WEB サービス等を介した国際的な機関協力を目指す。

#### 分散型データ統合センター

非均質情報源からの多様なデータを、ユーザがネットワークを用いて手軽に、しかも統合的に利用できる分散型データ統合センターとしての機能を開発し、サービスを提供する。

(4)水循環データから河川・水管理に有用な情報への翻訳と水循環変動の影響把握システムの開発

衛星データの水管理指標への翻訳システムの確立に向けた技術開発の推進し、既往の水管理システム、流出モデル、降雨予測モデル、水質モデルと結合する。

(5)全球データ同化による全球長期再解析の実施

長期再解析の高度化（陸面過程、降水過程）ならびに一定期間毎の長期再解析の再実行する。

(6)アジア域でのメソスケールデータ同化手法の開発

メソスケールのデータ同化手法の開発による観測データの高度利用・現象の理解と予測の向上を目指す。

(7)観測技術力育成、国際プロジェクト管理・推進能力育成の研修センターの設立

国内外の研究者や観測技術者の観測技術力を育成するとともに、国際プロジェクトを管理し推進する能力の向上を目指す国際研修センターを設立し、人材育成、能力開発を推進する。

### 2-5. 留意事項

#### 2-5-1. 国際協力

全データを1カ国で管理することは困難であり、同時に科学的な視点からも国際政治的な視点からも、独占的にデータ収集機能を高めるのではなく、複数の国、地域が協力して、地域や対象を相互に分担し

て担当し、より総合的なシステムを階層的に構築していくことが望ましい。

#### 2-5-2. 現業機関と研究グループの協力関係の構築

データが現業機関と研究観測から提供され、またデータシステムが IT 分野の先端的な研究開発事項であるとともに現業的な長期運用が必要なことを考慮して、研究グループ、技術開発グループ、現業機関による協力体制を築くことが、持続的発展が可能な地球規模水循環観測システムの基本的戦略である。

2-5-3. 我が国の持つ技術や地域特性における強みを生かし、我が国の独自性を確保する

総合科学技術会議では、水循環変動が人間社会に及ぼす影響を回避あるいは最小化するとともに、持続可能な発展を目指した水資源管理手法を確立するための科学的知見・技術的基盤を提供することを目標として、2001年に地球規模水循環変動研究イニシアティブを立ち上げた。その中で全球水循環観測プログラムを策定し、国内関連機関が協力して、観測・モニタリング体制の充実とデータベースの整備を推進している。

我が国は統合地球水循環強化観測期間 (Coordinated Enhanced Observing Period, CEOP) プロジェクトを国際的に提案し、米国、ドイツをはじめとする世界各国と協力して地上強化観測データ、衛星観測データ、数値気象予報モデル出力を統合化することによって地球規模水循環データセットを作成し、それを用いて水循環のプロセスの理解と予測研究、モンスーンシステムのモデル開発研究、地球規模の広域予測情報を流域規模にダウンスケーリングする研究を国際的にリードしている。この国際ネットワークを継続、発展させることによって、包括的で持続的な地球規模水循環観測の実施およびデータシステムの構築を目指すべきである。

我が国は、世界初の衛星搭載降雨レーダを開発して、1997年に「TRMM」を日米共同で打ち上げ、現在も運用を継続しており、さらに米国、欧州と協力して全球降水観測(GPM)ミッション計画を推進している。また2002年には地球規模水循環観測に有用な2機の改良型マイクロ波放射計(AMSR-E, AMSR)をそれぞれNASAの衛星Aquaと我が国の衛星「みどり2」で打ち上げており、前者は現在も運用中である。1992年にわが国の衛星「ふよう1」で打ち上げられたLバンド合成開口レーダは土壌水分観測に有用であることが確かめられ、2005年にはさらに高度化されたPALSARを搭載した「ALOS(陸域観測衛星)」が打ち上げられる予定である。このような衛星による地球規模水循環観測におけるわが国の国際貢献、国際リーダーシップとして一層推進すべきである。

わが国が中心となって国際協力の下に地球地図プロジェクトが推進されている。現在、18カ国の交通網、境界、水系、人口集中地区、標高、植生、土地利用、土地被覆の8項目のデジタル地理情報が公開

されているが、この整備体制を強化し、一層の高度化と時系列的変化を追える形態へと発展させる必要がある。

2003年9月のヨハネスブルクサミット、2003年3月第3回世界水フォーラム京都会議を受けて、洪水問題についての国際的な連携の必要性が確認され、この一環として、わが国が主体的な役割を担う取り組みとして国際洪水ネットワーク(IFNET)がスタートしている。ここでは洪水情報の共有のほか、水文情報の少ない国、地域を対象として、衛星を活用した洪水警報システムの構築などが進められている。さらに2005年秋に独立行政法人土木研究所内に設置予定のユネスコ水災害・リスクマネジメント国際センター(仮称)にて、世界の洪水・土砂災害に関する気象・水文データ、被害、その背景となる土地利用などの社会経済データ、危機管理体制と対応の実態、事後対策などのデータベースを整備する予定であり、国連機関の地域センターとしての役割を踏まえ、水災害情報収集、発信の国際的リーダーシップを担うべきである。

農水省ならびに農水関連研究機関が主導して、アジア各国や国際研究機関の参加の下、2004年に国際

コンソーシアム「国際水田・水環境ネットワーク(INWEPF)」を設立することとなっている。このINWEPFは農業用水分野が抱える問題を解決するため、モンスーンアジア地域を主なターゲットとして、研究分野、政策行動分野、国際協力分野の連携と情報交換を強化し、適切かつ迅速な対応ができる仕組みの構築を目指しており、わが国は当組織の設立・運営に対する国際的リーダーシップを一層発揮するべきである。

気象庁は、1979年から現在までの全球大気および積雪・土壌水分など陸面の状態を再現し、高品質かつ高精度な3次元データセットを作成する「長期再解析プロジェクト」を、財団法人電力中央研究所と共同して推進している。特にアジアモンスーン・台風などアジア地域に特徴的な現象を精度良く表現したデータセットの作成は世界で初めてのことであり、今後も、定常的な観測網の維持と観測データの蓄積に努める一方、気象モデルおよびデータ同化技術により時間的空間的な観測空白域を推定するシステムの開発・高度化が重要である。

2-6. 課題分析表

(「重点化の必要性」の欄の 印は特に重要度が高いものを示している)

分類	ニーズ	現状	ギャップ(問題・課題)	具体的な取り組み	重点化の必要性	重点化の視点(留意事項)
<p>1.水循環変動要素の正確な把握 2.水循環変動の総合的理解 3.水循環変動の予測精度向上 4.水循環変動の影響評価と望ましい水管理</p>	<p>(1)観測,モデル・予測,影響評価,対策シナジー策定・技術開発,およびデータシステムの一貫した共同研究,技術開発,定常運用を企画,調整,運営,評価する持続的な体制が必要</p>	<p>個別機関で進められている観測,モデリング,影響評価,対策技術シナジーが地球水循環変動研究イニシアティブのもとで統合的な検討が進められている</p>	<p>既存のプログラムの情報交換,協力体制の確立が主であり,わが国としての一貫した施策の展開となっていない</p>	<p>地球規模水循環観測,モデル・予測,影響評価,対策シナジー策定・技術開発,およびデータシステムの企画・運営・評価の推進組織の設置</p>		<p>国際協力の推進 地球規模水循環観測の実施およびデータシステムの企画と構築 実施・達成状況の評価を基に運営の方向性の検当</p>
<p>2.水循環変動の総合的理解 3.水循環変動の予測精度向上</p>	<p>(1)アジア・オーストラリアンとその水循環変動観測</p>	<p>GAME,CEOP などによるアジア地域での国際協力,連携の基礎はできた GAME/SCSMEX などによる単年度の強化観測データはカバー済み CEOP/CAMP などによるアジア地域のスパ-サイトは14地点で実施中 赤道西部太平洋と一部インド洋でのTAO/TRITON観測網実施中 TRMM衛星,METEOSAT衛星による雲・降水観測は実施中 東アジア,東南アジアの一部で気象レーダによる観測は実施中 ストラパ,ラオ,タイで高層気象,GPS水蒸気量,水同位体の観測を実施中 太平洋ENSOに伴う年々変動は定性的に理解されている</p>	<p>海洋大陸と南,東南アジアの一部地域の国との協力,連携が弱い インド洋と海洋大陸には大きな観測的空白域が存在し,全球気候予測精度を下げる大きな要因 海面,陸面での熱・水収支,雲降水システムの年々変動の実態解明のための長期観測体制が弱い 気象レーダ観測網が非常に不十分で,ウインドプロファイラ観測網も存在しない 包括的な観測データは少ない 二百年近くの雨量観測があるのに収集・デジタル化されていない 降雨実況解析や領域客観解析なし 観測空白域のため全球気候予測精度を下げる大きな要因</p>	<p>アジア・オーストラリアン全域での観測協力・連携体制の構築が必要。特に加熱と対流活動の中心であるハット高原からインド半島,南シ海,インドネシア海洋大陸を含むインド洋・西部熱帯太平洋の暖水プール全体での観測が重要 スパ-サイトをノードとする,気象レーダ・ウインドプロファイラ観測網の建設が必要 アジア地域レーダ拠点観測と既存レーダデータの有効利用が鍵 インド洋パイ線の建設が必要 自動気象観測網,データ伝送網の建設が必要</p>		<p>WMO/WCRP/IHPなどの国際プログラムによる研究観測のリード体制が重要 各国の現業・研究機関および大学との連携・協力体制の構築 発展途上国での観測および研究体制構築のための能力開発が不可欠 観測データの共有と公開を促進するデータシステムの共有化が不可欠 衛星観測と地上(海上)観測の一体化体制 雲集団,日周期,季節内変動と季節・経年変動との相互作用の解明 観測データ伝送・集積・解析モデリングの連携・協力が必要</p>

				TRMM 後継機 (GPM など), GMS 後継機の早期実現が重要 CEOP などの経験, 蓄積を生かしたデータの共通化, 共有化が重要 レーダデータ解析, 領域客観解析の実用化が必要 アジア地域気候・水循環観測データセンターの設立が必要	
1. 水循環変動要素の正確な把握	(2) 降水の全球規模高頻度観測	地上雨量計観測 (全球約 10000 点) 地上レーダ観測 静止気象衛星による観測 衛星レーダ観測 (TRMM/PR) 米国, 日本の協力による TRMM/PR の降水の 3 次元分布, マイクロ波放射計観測の実績がある 衛星マイクロ波放射計観測 (DMS-13, 14, 15/ SSMI, DMS-16/SSMIS, TRMM/TMI, Aqua/AMSR-E)	発展途上国では地上雨量計観測データのリアルタイム収集が進んでいない国際交換されている地上雨量計観測は日降水量であるほかに, 分布が陸上の北半球に偏っている, 空間代表性が低い, 測定バイアスが考慮されていないなどの問題もある 地上レーダ観測はほとんど国際交換されていない 高緯度地方に対する衛星観測がない 変動の激しく, 観測頻度が不十分, 少なくとも 3 時間ごとの全球観測が必要 局地的な水資源の問題に対処するには分解能 (時間, 空間) が不十分 衛星による観測はその均質なデータの蓄積期間が十分でなく気候変動に伴う水循環変動の実態を把握できない	衛星による全球降水観測計画 (GPM) による 3 時間毎全球降水の観測の実現 GPM 主衛星搭載用二周波降水レーダ (DPR) の開発 DPR および衛星搭載マイクロ波放射計データを用いた降水強度推定アルゴリズムの改良研究 熱帯降雨観測衛星 (TRMM) 搭載降雨レーダ (PR) の長期運用 TRMM/PR および衛星搭載マイクロ波放射計を用いた降水強度および降水の 3 次元構造推定方法の改善	衛星を用いた降水の全球観測の高精度化と高頻度化 衛星のデータを用いた降水分布推定値の実用化 雲・降水の 3 次元観測はモデル検証やモデル研究には重要であるが, 気象予測への効果の観点からいえば, 現状では地上降水データより優先度が落ちる 衛星マイクロ波データは, 降水量までリニアせずに輝度温度データを直接同化するの将来性ある方向なので, マイクロ波による水蒸気・雲水量鉛直積算観測と一体と見なすべきである 我が国は衛星搭載降雨レーダの最先進国 地上検証データや解析データとの整合性 長期にわたるデータの蓄積
1. 水循環変動要素の正確な把握	(3) 土壌水分の全球規模観測	わが国はマイクロ波放射計, 合成開口レーダによる観測実績がある 欧州, 米国で L バンドマイクロ波放射計の打ち上げ計画がある	土壌水分量の空間的に均質な全球の観測がない 森林帯や土壌タイプにより衛星観測精度が低下 定量的な衛星観測は始まったばかり	ADEOS-II/AMSR, 米国 Aqua/AMSR-E データを用いたアルゴリズムの検証, 改良 全球 1 日 1 回 10 km 分解能の観測プロダクトの作成 ALOS/PALSAR を用いた高分解能土壌水分データの作成	わが国が開発した「みどり 2」搭載の AMSR, 米国 Aqua に搭載の AMSR-E は土壌水分センサとして現段階で最先端のセンサ わが国が開発した「ふよう」搭載の JSAR は初めての継続観測を実現した土壌水分観測に適した L バンド合成開口レーダ 地上検証データ, 解析データ, 季節予報モデルとの整合性 長期にわたるデータの蓄積

1.水循環変動要素の正確な把握	(4)積雪の全球規模観測	北半球の衛星(SSMI)による月平均積雪日数 北半球の月平均地点積雪日数 世界各国による地点積雪量観測	雪質の空間的な多様性を反映した全球観測がない 地点積雪量観測データの品質にバラツキが多い	全球1日1回10kmの分解能の観測データの作成	地上検証データや解析データとの整合性 長期にわたるデータの蓄積
1.水循環変動要素の正確な把握	(5)水蒸気の全球規模高頻度観測	ラジオゾンデ観測(全球約600点,世界時0時と12時) 衛星マイクロ波放射計観測(DMSP-13, 14, 15/SSMI, DMSP-16/SSMIS, TRMM/TMI, Aqua/AMSR-E) 衛星マイクロ波ゾンダ観測(NOAA-15, 16, 17/AMSU-B) 衛星赤外線ゾンダ観測(NOAA-15, 16, 17/HIRS, Aqua/AIRS, GOES-10, 11, 12/Sounder: 静止衛星) 衛星赤外線イメージャ観測(GOES/Imager, Meteosat/MVIRI, Terra, Aqua/MODIS) GPS地上観測(米国約200点,欧州約100点)	陸上下層の衛星データのトリバルが困難 衛星トリバルの鉛直解像度が低いこと ラジオゾンデ観測は、鉛直解像度が高いが、南半球や海上では観測点が少ない ほとんどの時空間代表性が低い地域によっては無視できないバラツキがある 衛星マイクロ波放射計観測は海上のみで、鉛直積算量の観測 衛星ゾンダ観測は海上または対流圏中上層のみで、鉛直解像度が低い 衛星赤外線観測は雲の影響を大きく受ける GPS地上観測は陸上のみで、鉛直積算量の観測現状では準リアルタイムの国際交換がされていない(欧州GPS可降水量データについては近々GTS配信が開始される見込み)	ラジオゾンデ観測技術向上のための国際援助 航空機自動観測測器への湿度センサの追加 GPS地上観測網の展開と、準リアルタイム国際交換の推進 衛星搭載次世代ゾンダ(数千チャンネル)の気象予報への効率的同化法の開発 海上に加え陸上での1日4回10km分解能の観測データの作成	大気中の水循環のもっとも基本的なデータであるだけでなく、気象予測の観点からは相変化の結果である降水量データよりも重要である 高度データ同化法と高精度の数値モデルの採用によって、風の観測データから水蒸気の情報のある程度抽出することも可能なため、風など他の気象要素の高解像度観測の充実も有効である 衛星データから陸上の水蒸気の情報抽出するためには、陸面データ同化の開発の進展に期待するところが大きい
1.水循環変動要素の正確な把握	(7)雲の全球規模観測	衛星の可視及び赤外放射計を用いてほぼ全球の雲の水平分布が高頻度(最低1時間に1回程度)得られている 地球温暖化に伴う降水の変化を正確にモデルに反映させるためには、雲の3次元分布の現状を知りその分布を決定する機構を解明する必要がある 2005年にNASA/JPLはCloudSat衛星を打上げ、雲のレーダ観測実験を行う予定 日本は欧州と協力してEarthCAREミッションを計画中	雲の3次元分布は得られていない 雲の3次元分布が十分には把握されていないため降水変化を良い精度では予測できない	レーダとライダーによる雲の同時観測を実現し、雲粒の粒形推定を含めたより詳しい雲の3次元構造を観測	雲の生成消滅とそのフィードバックを考慮した水循環機構の理解の深化
2.水循環変動の総合的理解	(7)ユーラシア高緯度大陸域水循環観測	温暖化に伴い水循環変動が起こるが、北ユーラシアでは雪氷・植生変動がこれに大きく影響する いくつかの個別計画で北ユーラシア地域での水循環の観測研究が行われている 東シベリアの2箇所で、直接、水循環を対象とした観測研究が行われている(ロシア域: GAME-Siberia, 観測F, CREST(名古屋大学))	地表下の凍土の状態、水分量・雪氷量の現状・変化が未解明 蒸発等にかかわる植生機能の生理特性が十分には解明されていない 積雪水量分布の把握ができていない、長期変化がわかっていない(積雪面積は比較的精度良くわかっている)	寒冷圏水循環各種要素(水の安定同位体を含む)についての面的多点観測ネットワークが必要 モデル改善のためプロセス研究に関するスーパーステーションに類する集中観測領域が気候帯・地表面状態別に数箇所必要	WMO/WCRP/IHPなどの国際プログラムによる研究観測のリード体制が重要 寒冷圏研究についてはWCRP/CLIC, WCRP/CEOPによる推進体制をもとに実施するのが重要 WCRP/CLICの重要研究課題の一つとなっている 各国の現業・研究機関および大学との連携・協力体制の構築

		<p>シベリア南方モンゴル域2箇所 で、直接、水循環を対象とした観測研究が実施されている(モンゴル域:CREST(筑波大)、観測F) 環境変動、衛星検証研究の一部として水循環に関係した観測研究が行われている(ロシア域:CRESTなど(北大)、極地研,JAXA関係) 上記のうち、観測F以外は、集中観測に基づく短期的な観測研究である</p>	<p>高緯度降水量についての良質のデータが構築されていない 水循環変動に関わる要素についての長期的モニタリング体制が確立していない 北ユーラシアは、当該国の経済事情により、観測研究を進展させるのが困難</p>	<p>IPYを中心とした国際協力同時観測 降水衛星(GPM)が高緯度まで加えられるようにすることが必要 過去の降水データについての高精度化の作業が必要</p>	<p>発展途上国での観測及び研究体制構築のための能力開発が不可欠 観測データの共有と公開を促進するデータベースの共有化が不可欠 日本がイニシアティブをとり、当該国との協力観測体制を確立することが肝要 データ管理の一元化が重要 衛星観測と地上観測の一体化体制 国内において長期的に安定して観測を実施できる組織作り、拠点が必要 「地球温暖化」の課題としても関係する</p>
2.水循環変動の総合的理解	(8)ユーラシア高山域の水環境観測	<p>短期しかも部分的な実験的研究が、高山岳域に関連調査が短期的に行なわれている(北極・グリーンランド山岳域:名大,アルタイ山岳域:極地研・観測F,東シベリア:北見工大) 大陸上の水源域であるにもかかわらず高山域における水循環の定期的観測点・長期的実験観測点は皆無に等しい 中国は国内に数地点の高山域観測点を持つ</p>	<p>観測点が皆無に等しい、あるいは行われている場合でも小規模計画のもとで行われているため総合性、継続性が無い 水循環変動性を把握するのに必要な要素をすべて測定しているわけではない</p>	<p>ユーラシア高山岳域における水循環要素についての地上観測ネットワークが気候帯 山岳域別に5-10箇所必要 高山域に特徴的な氷河・山岳凍土の変動状況に関する長期モニタリング、また気候変動に伴う変動性の把握が必要</p>	<p>WMO/WCRP/IHPなどの国際プログラムによる研究観測のリード体制が重要 氷河・凍土関連部分はWCRP/Clicの重要課題とされている 各国の現業・研究機関および大学との連携・協力体制の構築 発展途上国での観測および研究体制構築のための能力開発が不可欠特に水資源における高山域の役割が重要となる半乾燥・乾燥、寒冷域が対象 観測データの共有と公開を促進するデータベースの共有化が不可欠 衛星観測と地上観測の一体化体制 国内において長期的に安定して観測を実施できる組織作り、拠点が必要 「地球温暖化」の課題としても関係する</p>
2.水循環変動の総合的理解	(9)アジア域における代表地点での統合的、集中的な水循環過程の拠点観測	<p>各国の業務としての気象観測 我が国ではワイドプロファイルの現業ネットワークが作られている 放射はWMO-BSRN(地表面放射観測ネットワーク)観測が世界で実施中 GEWEX-CEOPとして世界36ヶ所、アジア・北アジア14ヶ所で大気フラックス、気温、湿度、降水量、気圧、地温を地上数mから深度約百cmまで測定する研究プロジェクトが進行中</p>	<p>水循環要素を総合的に計測する測定項目と方法が統一されていない データフォーマットが完全に統一されておらず観測データの国際的な共有化は達成されていない 水文・気象の現業観測と研究用の集中観測がうまく組み合わせられていない 観測データのオンライン収集と品質管理体制が不十分 地上観測と衛星観測</p>	<p>アジア域水循環スーパーサイトネットワークの構築 アジア域における水文・気象現業観測データ共有に関する連携強化 経済性に優れた多点観測システムの開発し、アジア域水循環スーパーサイトや現業観測高度化拠点を中心に展開</p>	<p>アジア各国、地域が協力して、地域や対象を相互に分担して担当し、より総合的なシステムを階層的に構築 現業機関と研究グループの協力関係の構築 衛星観測、モデル開発、予測精度向上の技術開発と連携 我が国の持つ技術や地域特性における強みを生かし、我が国の独自性を確保する</p>

			とを組み合わせた運用が不十分 ライトプロファイラ、ライダーレーダ、フラックス観測など、高度集中的な観測が実施されないため、水循環の物理的理解、モデル検証に限界がある 短波、長波別測定の実施と東アジア・北アジアの測定点が不十分 途上国での観測モニタリング技術の欠如		
1.水循環変動要素の正確な把握	(10)アジア域での降水の集中観測	アジア全域をカバーしていない 観測頻度がまちまち データが系統的にアーカイブされていない	データの価値に対する各国担当者の理解	国際協力による既設レーダのマルチ観測ネットワークの構築 国際協力によるデータ集録・配信の統一	予測・理解のための基本的データであるという認識が必要
1.水循環変動要素の正確な把握	(11)アジア域での系統的な水蒸気の地上観測	我が国の他は主として研究用サイトであり、現業的利用は困難 大気中の水蒸気量の直接的把握が可能ト	広域ネットワークの形成に受信機のコストが高く、受信方式の統一が図られていない	国際協力によるGPSネットワークによるマルチ観測の構築 受信機・アンテナ・データ配信方式および解析手法の基準化と集中解析センターの設置	測地観測と水循環観測の協力の 実験研究サイトの現業的運営
1.水循環変動要素の正確な把握	(12)アジア域の降水・水蒸気同位体比の高頻度観測	IAEA/WMO も GNIP Global Network of Isotope Precipitation の 114 地点での降水の月レベル測定 個人研究者レベルの単発的な研究	アジアでの測定点が少ない(特に、パキスタン、モンゴル、中国西部、西太平洋の諸国、オーストラリア) 月レベルの降水測定のみ 分析技術の簡素化、迅速化、マルチ化	東アジア・北アジアのモニタリングネットワーク化への試み 途上国での観測モニタリング技術者の養成	大陸内水循環研究のためには、水蒸気から地下水までの陸水の同位体比測定は重要 同位体比のマルチセンサー特性利用による気団経路解析や気象数値シミュレーションへの適用
2.水循環変動の総合的理解	(13)アジア域での系統的な気象・水文の毎時自動観測と植生調査	CEOP にて世界 36 ケ所、アジア・北アジア 14 ケ所で自動気象・水文観測を実施中 地下水に関しては各国が業務レベルで測定を実施中 河川に関して、ユネスコ IHP の AP-FRIEND でアジアの主要河川の量的加算が製作中	アジアにおけるマルチ観測では毎時データが取得できないところが多い 土壌水分測定点が少ない(特にパキスタン、モンゴル、中国北部と西部および東南アジア) 東アジア・北アジアの地下水データ情報の不足 研究プロジェクトで設置された装置の長期維持が困難 データフォーマットの統一されていない 途上国での観測モニタリング技術の欠如 日本側の観測研究者不足	省力化された連続毎時観測システムの開発による、全天日射・正味放射・風向・風速・気温・湿度・気圧・地中温度・土壌水分・降水量・積雪深・植生の観測体制の確立 東アジア・北アジアの水文情報の総合収集とデータベース化 稼働中の AMSR-E および打ち上げ予定の ALOS-PALSAR による土壌水分データの有効利用 NOAA、AVNIR-2 の地表植生モニタリング 途上国での観測モニタリング技術者の養成	研究プロジェクトで設置された装置の長期維持体制の確立 無電源サイトでも対応できる観測装置の必要性 衛星(AMSR-E や PALSAR)と地上土壌水分測定システムの相互利用が重要 国際河川流域での総合的水文モニタリングが重要 東アジア・北アジアの総合水文モニタリングが重要 国際協力による途上国での観測モニタリング高度技術者および管理者の養成が重要

1.水循環変動要素の正確な把握	(14)アジア域での高層気象観測の再構築	WMO 活動として業務レベルの測定	途上国では測定点が少なく、測定回数も少ない 技術および技術者の欠如	東アジア・北アジアのスーパーサイトを含んだモニタリングネットワークの質・量的な充実 途上国での観測モニタリング技術者の養成	スーパーサイトへのレダ等の新観測技術の導入 途上国での観測技術者の養成
2.水循環変動の総合的理解	(15)南極氷床域の水循環観測	定期的に南極地域観測調査隊が派遣され、各種分野の観測が行われている（極地研） 雪氷や気象気候分野では氷床上の気象現象・氷床のダイナミクスなどの研究が過去に行われたが、近年は古環境復元の研究が中心であった	昭和基地、ドーム基地などの定常的観測点では水循環に関する基本観測を行っているが、氷床全体を評価する観測体制は構築されていない 水循環について氷床全体ないし地域的な評価を行うことがデータ不足のためできない これまで氷床域の水収支を評価することのできる水循環の視点に立ったシステム的な観測研究が不足していた モデル構築・検証を意識した観測研究が不足していた 国際的観測協力による観測研究、総合的データセット構築が不足していた	南極観測について、水循環・海水面変動の視点での観測研究のプログラム化 水循環集中観測の多点観測ネットワークの構築 モデル構築・検証を意識した観測体制の構築 IPYを中心とした国際協力同時観測	WCRP/CLIC(雪氷圏と気候)研究計画が立ち上げられようとし、また IGY50年を期した第4回極年(IPY-4; 2007/08年)が企画されている時期に、これら研究を推進することは時宜にかなった課題である CLIC計画の重要課題とされている 観測データの共有と公開を促進するデータシステムの共有化が不可欠 衛星観測と地上(海上)観測の一体化体制 「地球温暖化」の課題としても関係する
1.水循環変動要素の正確な把握	(16)水循環観測に適する衛星センサ開発の研究の推進	信頼できる土壌水分のリモセンシングによる計測法は得られていない低周波のマイクロ波放射計を用いた計測法の研究がなされている TRMMのPRを用いた推定法が提案されている	低周波のマイクロ波放射計で土壌水分の推定が可能といわれているが、実際には人口(妨害)電波等の影響もあり、現在までのところあまり良い結果は得られていない 精度などで実用には役立たない研究レベルの段階である	現実的な環境での土壌水分とマイクロ波放射強度および散乱特性との関係の基礎データの取得	現実的な環境での土壌水分とマイクロ波放射強度および散乱特性との関係の解明
2.水循環変動の総合的理解 3.水循環変動の予測精度向上 4.水循環変動の影響評価と望ましい水管理	(1)水循環観測データの統合的利用システムの開発と国際的共有システムの構築	東アジア、東南アジア規模、地球規模の実験的なデータアーカイブ、公開(GAME, CAMP)の経験、実績 気象の現業観測は、観測の標準化、データ収集、品質管理、統一フォーマット化、アーカイブ、公開方法などが国際的枠組みの下に合意され、実行 地上観測、衛星観測、気象現業データの統合化研究(CEOP)の実施	時空間的な観測空白域の存在 衛星による統合化された地球規模水循環情報が提供されていない 地上観測、衛星観測、気象現業観測データ、モデル出力の継続的な統合化システムが未整備 観測データの流通性、公開性、利便性の向上と高度化を目的とするデータ統合化システムの開発と継続的運用が未整備 社会的に有用で詳細な情報への翻訳するシステム、その出力を国際的に共有するシステムが未開発	全地球を対象として、大量データの統合的利用のためのアーカイブ、統合化ツール、ユーザーインターフェイス、高度計算機能とのリンク機能を備えた「集中型データ統合センター」を設立 ネットワークでデータの統合的利用を実現する「分散型データ統合センター機能」を確立 東アジア、東南アジア域での水管理システムの開発 生態系保全と国土保全のためのグリーンデータ情報システム	複数の国、地域が協力して、地域や対象を相互に分担して担当し、より総合的なシステムを階層的に構築 現業機関と研究グループの協力関係の構築 国際的な基準(例えばISOTC211など)を基にシステムを構築するとともに、プロトタイプの実績を基に国際基準の構築へ貢献 我が国の持つ技術の強みを生かし、我が国の独自性を確保する

				の開発 作物栽培管理に おける水循環情報 システムの開発		
4.水循環 変動の影響評価と 望ましい水管理	(2)水 循環デ ータから 河川・ 水管理 に有用 な情報 への翻 訳と水 循環変 動の影 響把握 システ ムの開 発	衛星観測の水管理実務へ の利用,特に洪水,濁水など の水管理の実務に対する適 用の場面が少ない わが国の河川情報の公 開,流通は進んでいる	衛星デ-タの水管理指 標,河川流量,河川水位 河川・湖沼水質,取水量 潮位・波高への翻訳システ ムが確立されていない東 南アジア諸国では遅れて いる	衛星デ-タの水 管理指標への翻訳シ テムの確立に向けた 技術開発の推進 既往の水管理シ テム,流出デ-ル,降雨 予測デ-ル,水質デ- ルとの結合		衛星デ-タの水管理指標 への翻訳シテムの確立に向 けた技術開発の推進 既往の水管理シテム,流 出デ-ル,降雨予測デ-ルと の結合
2.水循環 変動の総 合的理解 3.水循環 変動の予 測精度向 上	(3)全 球デ-タ 同化に よる全 球長期 再解析 の実施	大気中の水蒸気,土壌水 分,積雪量等のデ-タを統合 するシテムとして長期再解析 が日米欧により行われている	日本においても 1979-2003年の長期再解 析を実施中だが水循環 デ-タの品質はデ-タによ り異なるまた長期再解 析の継続が不明 衛星を用いた観測デ- タの一層の高度利用が必要	長期再解析の高 度化(陸面過程,降 水過程)ならびに 一定期間毎の長期 再解析の再実行		アジアのデ-タを生かした 再解析が必要 再解析デ-タのユーザと解 析者の密接な情報交換に よる再解析手法の向上 長期的な降水量観測の 必要性
2.水循環 変動の総 合的理解 3.水循環 変動の予 測精度向 上	(4)ア ジア域 でのミ スケ ルデ-タ 同化手 法の開 発	気象庁で予報業務の一環 として実施	衛星,レーダ等で得られ た観測デ-タの一層の高 度利用が必要	ミスケルのデ-タ同 化手法の開発によ る観測デ-タの高度 利用・現象の理解 と予測の向上		非静力学デ-ルによる再 解析手法の向上 アジアのデ-タを生かした 再解析が必要 地上観測デ-タのない地 域の推定雨量算出による 水管理の高度化
1.水循環 変動要素 の正確な 把握	(1)観 測技術 力育 成・国 際プロ ジェクト 管理・ 推進能 力育成 の研修 センター の設立	東アジア,東南アジアにお ける研究的集中観測(GAME, CAMP)による人的ネットワーク確 立の経験,実績 JICAやUNESCOによる途上 国の気象や水文の研究者育成 プログラム	関連する国際的なプロ ジェクトを整合的に進め る推進戦略が不十分 関係各国の教育・研究 コミュニティ,水文/気象現業 観測機関との有機的で 建設的な連携が不十分 国際プロジェクトの主 催側の専任プロジェクトマネ ジャーがない 途上国の水循環研究 プログラムをフォローできる 研究者が不在 国内外の研究者や観 測技術者の観測技術力 を育成するとともに,国 際プロジェクトを管理し推 進する能力の向上を目 指す研修プログラムの開 発,提供が不十分 国政的調整,観測のマネ ジメント,デ-タ収集と品質 管理,デ-タ統合化,デ-タ から情報への翻訳のた めの研究・技術開発・定	国際研修センターを 設立し,人材育成 能力開発を推進 複数の国,地域 が協力して,地域 や対象を相互に分 担して担当し,より 総合的なシステムを 階層的に構築		我が国の地域における リーダシップを生かし,我が 国の独自性を確保する 各国および多国間の高 レベルの地球観測研究推進 多岐にわたる国際プロ ジェクトの連携・調整および 海外でのスムーズな研究遂 行のために専任プロジェクト マネージャーが不可欠 途上国の水循環研究の 向上と途上国での水循環 研究プログラムの立ち上げ を目指す

			常運用のための人的資源の重点的投入が不十分			
3.水循環変動の予測精度向上	(2)途上国への予報手法の技術移転	JICA や WMO による途上国の気象や水文の研究者育成プログラム		途上国への予報手法の技術移転 途上国職員の研修 共同研究を通じた途上国の研究者との共同研究		途上国に対する地球観測データの直接的な受益