

アジアモンスーン地域における農業水利用 変化予測モデルの開発

増本隆夫*・丹治 肇**・小川茂男***・堀川直紀****・力丸 厚*****・久保純子*****・
宗村広昭*****・ファム タイン ハイ*****・ラウシヨン カマール*

目 次

I 緒 言	67	3 温度差画像を用いた農地水利用状態の把握	76
II 研究方法と対象地域の概要	68	4 高分解能センサー画像と統計値による検証	77
1 RR2002 研究プロジェクトによる水循環研究	68	V 流域レベルの農業取水可能量推定モデルの開発	78
2 アジアモンスーン地域の水利用	70	1 研究目的と方法の概要	78
3 メコン河における水利用の概要	71	2 補給水量モデルの開発と適用	78
III 微地形情報を利用した歴史的洪水データ復元法 の開発	72	3 灌漑モデルの開発と考察	80
1 研究目的と方法の概要	72	4 データ解析とモデル出力	81
2 氾濫原地域の微地形分布図の作成	72	VI 流域の開発レベルが農地氾濫と灌漑に及ぼす影 響評価モデルの開発	82
3 過去 20 年間の氾濫域と微地形との関係	73	1 研究目的と方法の概要	82
4 農業的土地利用・水利用と微地形の対応	73	2 氾濫湛水と灌漑形態のモデル化	82
IV 農地を中心とする土地利用変化推定モデルの開 発	74	3 現況の湛水域分布と営農パターンの把握	83
1 研究目的と方法の概要	74	VII 結 言	84
2 雨季・乾季を考慮した農地利用分類	74	参考文献	85
		Summary	90

I 緒 言

アジアモンスーン地域は、特有の気象、地質構造を持ち、広域に分布する多様な森林、水田耕作、氾濫原居住、人口稠密、洪水、渇水、多量の土砂生産など、水利用、防災、都市立地などにおいて、独特の自然共生型社会を形成している。したがって、著しい人口増、熱帯林の伐採による土地の乱開発、灌漑方式の変更、気候変動などに伴う流域水資源の変化も、地域特有の自然的、社会的現象を含んでおり、欧米の水文・水資源モデルの移入では不十分な場合が多く指摘されている。本研究はこの地域性を重視し、アジアモンスーン地域に特有な水文循環

過程をモデル化することによって、自然・人工改変に伴う、当地域特有の水資源変化を予測し、その対応策の具備すべき条件を検討するものである。対象流域は湿潤帯の代表であり、また大きな水資源問題に直面するメコン流域とする。モデルの予測可能性を、「過去の変動現象を復元シミュレーションできる」ことにより確保する。

特に、農業水利用に関しては、アジアの面積は世界の陸地の 24% にすぎないが、世界人口 65 億人の中の 39 億人が暮らしている。このことは多湿な環境と古くから米を主要な穀物としてきたことに起因しており、アジアにおいて持続してきた水田稲作は地域の気候、風土に適合し、多くの地域資源を有効利用した持続的で環境に優しい経済活動であったといえる。しかし、モンスーンアジアの水利用や、畑地とは異なる水田の水循環機能については、欧米諸国では十分には理解されていない。さらに、日本において開発されてきた各種水循環モデルにおいても農業水利用のメカニズムを取り込んだモデルは存在していない（増本, 2003b）。これは、水利用量の現地計測等が不十分かつデータ不足であること、地上観測データと衛星画像データとの統合利用についての研究が行われていないことなどからきている。

一方で、最大の水利用者は農業であり、世界の水使用量 (3.3 兆 m³) の 70% が農業用水、20% は工業用水、残りの 10% が生活用水である。したがって、農業用水は流

*農地・水資源部水文水資源研究室

**農村総合研究部有明海研究チーム

***農地・水資源部土地資源研究室

****農地・水資源部水管理研究室

*****長岡技術科学大学環境・建設系

*****早稲田大学教育学部

*****島根大学生物資源科学部

*****ベトナム国ハノイ水利大学

平成 19 年 3 月 15 日受理

キーワード：メコン河、水循環、農業水利用、微地形、洪水、土地利用、水田、衛星データ、農業用取水量、灌漑施設、氾濫モデル、灌漑

域水循環の主要な部分を占めており、そのうちの70%が水田灌漑であり、将来的な世界の水不足は、食料不足にも直面する大きな問題になると考えられている。1900年から2000年の間に人口は3.8倍、水利用量は6.6倍、灌漑面積は5倍となった。世界的には灌漑面積は増大したが、今後は一人あたり農業用水の年間水資源量は減少すると予測される(1995年から2025年で6,600m³から4,800m³)。他方、生活用水の増大は著しい(43%増)。アジアの灌漑と米の重要性については世界の水利用の半分がアジアの利用であり、その9割が米生産である。そして世界の米の9割がアジアで生産されている。水田灌漑の特徴は乾燥地域とくらべ、社会性、経済性、および技術性において大きく異なる。アジアモンスーンでは降水量の時期的変動が大きく投機的になるおそれがある。水田の水は反復利用されているなど共同体社会で水が利用されている。

そこで、ここでは、部分的にしか存在しない過去の流域水循環関連情報を、収支の取れた利用可能な状態に復元する農業水利用変化予測モデルを構築し、過去の観測できなかった水資源の変動の実態に関するデータセットを作成する。併わせて、特徴的な気候、地形、土地利用、水利用などの地域に試験流域を設け、観測実験、モニタリングを実施して、水資源変化に関する基礎データセットを作成する。初期目標として、これらデータセットに、これまで得られているデータを組み合わせ、アジアモンスーン地帯の、自然、生産活動の変動を反映した、個々の水文・水資源現象の農業水利用に関する素過程をモデル化する。特に、農業水利用モデルに焦点を絞り、この研究で想定するアジアモンスーン地域における変動として、気候変動、農業形態の変化、流域内貯留機能の変化等の水循環に与える影響を重点にして、実際にメコン河流域で指摘されている水資源の変化を考える。さらに、その後、得られたモデルをメコン流域を対象に総合的に適用し、過去の洪水、渇水などと農業開発や灌漑形態の変更、都市化などとの因果関係を総合的・科学的に評価し、それに基づいて、将来の水資源変化を予測し、変化に対応した、実行可能な適応案の具備すべき条件、骨格を提示する。

ただし、本報では、農業水利用モデルの構築のために、①微地形情報を利用した歴史的洪水データの復元、②農地を中心とする土地利用変化推定モデル、③流域レベルの農業取水可能量推定モデル、④流域の開発レベルが農地氾濫と灌漑に及ぼす影響評価モデルのそれぞれで得られた成果をオニムバスの集大成して纏めたものとして報告する。

また、個々の個別モデル開発にあたって、独自の現地観測データ取得は言うまでもなく、過去の地球温暖化研究やGAME等のプロジェクトでの実績あるいは東南アジア諸国での蓄積も十分に活用するが、同時に、多くの河川流域で直面している地上データが得られない場合を

想定して、これを補完するリモセン、気象・水文結合モデルなどの技術開発を精力的に行う。

なお、本研究の多くは、文部科学省「新世紀重点研究創生プラン(Research Revolution 2002(RR2002))人・自然・地球共生プロジェクト」の支援を受けた研究プロジェクト「アジアモンスーン地域における人口・自然改変に伴う水資源変化予測モデルの開発(平成14~18年度)」(研究代表者:山梨大学竹内邦良教授)の下で行われたものである。研究遂行にあたっては、全体のプロジェクト課題の共同研究機関として、山梨大学、土木研究所、森林総合研究所、国際建設技術協会等ならびに関連研究者の絶大な協力を受けた。さらに、各種基本データの提供や現地観測の実施に関しては、メコン河委員会(MRC:土木研究所とともに3機関の間で共同研究協定有り)、カンボディア国水資源気象省水文河川局および同省気象局、ならびにベトナム国ベトナム水利科学研究所(VIWRP)、南部水利科学研究所(SIWRP)、南部農業計画設計研究所(Sub-NIAPP)、南部水利計画研究所(SIWRP)(ベトナム4機関とは共同研究協定有り)の支援を受けた。ここに記して、心からの謝意を表す。

II 研究方法と対象地域の概要

1 RR2002 研究プロジェクトによる水循環研究

a 全体の計画

前述したように、文部科学省のRR2002人・自然・地球共生プロジェクトの下で、アジアモンスーン地域における水循環変化予測モデルの構築を行ってきた。その内容・方法を要約すると以下ようになる。

研究内容は、アジアモンスーン地域特有の水文過程・水資源利用形態を反映した、気象・水文・水資源一貫モデルを構築し、将来シナリオ下での水資源変動予測シミュレーションを行う。対象流域は湿潤帯の代表であり、また大きな水資源問題に直面するメコン流域とする。そこで、過去の変動実態把握のため、既存の逸散・分散したデータの復元を進める。同時に典型的気象・水文、土地・水利用地域に試験流域を設置し、モニタリングする。これらを基に、アジアモンスーン域に特有の水循環・水利用の素過程をモデル化する。次に、これらのモデル、技術を結集させて、メコン流域での過去の洪水、水利用の原因、結果、影響を科学的に評価し、変動に対する対策案を提示する。

ただし、当該課題の対象流域は、メコン河流域とともに黄河研究グループも参画しているが、ここではその内容には触れないこととする。

具体的な研究目標・方法としては、1つは、流域水循環、水資源システムをシミュレーションできるモデルの開発で、全体を、2期に分割し、最初の3年間で、素過程として降雨の発生、蒸発散、浸透、地表水、地下水、取水、水利用、還元、揚水などのモジュールを完成させる。こ

のため、森林生態、水田等農地灌漑、洪水氾濫、地下水涵養、揚水などの実態解明を行う。次に、最終5年目に、素過程モデルを総合して、流域全体の気象、水文、水資源一貫シミュレーションモデルを構築する。

次に、上記の統合モデルを用いて、過去20年間のシミュレーションを行い、水収支が整合することを確認する。すなわち、降水発生、水文循環、水利用が互いに整合し、「過去の変動現象をシミュレーション的に復元できる」ことを、モデルの検証、予測可能性の証明とする。

次いで、このモデルを用いて将来20年後の水資源予測を行う。このための水需要予測は社会経済的発展、制度的選択等に関するシナリオ解析を用いる。

最後に、共通の方法として、以上のモデル開発、検証、予測を、0.1度メッシュでのGIS上で行う。特に、1) 0.1度メッシュ、20年間（最終5年目の目標）のGISデータを整備する。すなわち、両流域の水文、水資源にかかわる既存データの精査、モデル解析により、0.1度メッシュ内の水収支をシミュレーションするために必要な、気象、地形、地質、水文、植生、土地利用、水利用データ等を整備する。なお個別研究では、より解像度の高いデータの整備に努める。また、2) 気象、水文、水資源一貫シミュレーションモデルを、この0.1度メッシュGIS上で実行できるようにする。すなわち、0.1度メッシュの擬河道網上で、地表水、地下水、水利用すべてのシミュレーションを行い、評価が行えるようにする。

データ整備は、既存プロジェクトによる既存データの発掘、資料解析、モデル解析を主とするが、水利用形態、森林生態など、補助的な現地観測ないしモニタリングを必要とするものについてはこれも実施する。

この研究で想定するメコン流域での変動とは、気候変動、森林生態系変動、農業形態の変化、流域内貯水機能の変化等の水循環に与える影響の変化である。

b 農業水利用分野の計画

農業水利用の分野での貢献は、農業用の水利用に係る素過程のモデル化とデータの復元、試験流域の設置・モニタリングならびにメコン河における水利用変動メカニズムとその変動要因の解明及び対策の立案である。その詳細を以下に示す。ただし、変動に対する対策案に関しては、一貫シミュレーションモデルの開発に重点をおき、ここでは扱わないことにする。

(1) 過去の流域水循環関連情報の復元

特にアジア諸国の流域で直面している地上水利用・水文データ不足に対処するため、地上気象水文データが不足する流域における過去の水循環の実態を推定できる手法を確立する。これにより過去の変動の実態と農業等の人為的変動の要因が明らかになり、今後の変動を把握・検出するための参照データとなる。リモートセンシングデータ等の世界を網羅する公開データを用いて、必要な精度で農業水利用の素過程を評価できる個々のモデル開発を分担して行う。各種データの利用・再現に当たって

は、メコン河委員会とも連携する。

①微地形情報を利用した歴史的洪水データ復元法の開発
毎年の洪水の規模は様々に変動しているようにみえるが、歴史的な地形変遷を考えれば低平地の氾濫や湛水形態は流域の形状に大きく左右され、流域固有のものともみることができる。そこで、ここでは微地形から広域地理情報までを利用して過去の洪水の発生規模や発生形態の復元を行う方法を開発する。

②農地を中心とする土地利用変化推定モデルの開発

地形、土壌、洪水の有無等の自然条件と道路や灌漑施設の整備などの人為的な活動により、農地分布が規定され農地開発により土地利用が変化してきた。既存の情報が少ない中で、このような農地を中心とした土地利用変化を今までに観測された衛星データや既存の調査データ、現地調査等によって広域にわたり推定する手法を開発する。得られた結果に自然的・社会的条件を加え、土地利用変化推定のモデル化を行う。

③流域レベルの農業取水可能量推定モデルの開発

ここでは地上水文データの少ない、特に灌漑排水データの不足する流域における関連データの復元を行うために、取水可能量や灌漑に関する水利用量を地形と気象モデルから提供される時空間情報の関数あるいはモデルとして表現する方法を開発する。

④流域の開発レベルが農地氾濫と灌漑に及ぼす影響評価モデルの開発

アジアモンスーン水田地帯においては、氾濫湛水と灌漑が表裏一体となった水循環が形成されているが、その実態は各種水文データの不足から、具体的には明らかにされていない。そこで、ここでは衛星データを利用した氾濫湛水域推定手法の開発を行うとともに流域の開発レベルと水循環の関係を明らかにして、人為的農業活動や開発が流域水循環に及ぼす影響を評価するためのモデルを開発する。

上記①～④の連携については、①が航空写真や衛星データからの地形情報、②が衛星情報を利用した土地利用、③が統計データや施設情報を利用した水利用量を扱ってそれぞれのモデル作成を行っており、④はそれらの情報を統合したものになっている。

なお、上記の各課題は、本報告の著者らのうち、①久保・増本、②小川・力丸、③丹治・堀川・宗村、④増本・力丸・ファム・ラウション、が担当した。

ただし、流域の基礎データに関しては、メコン河委員会の各種調査結果やGISデータを利用している（JICA, 2003；MRC, 2000; 2001; 2002; 203abc; MRC & JICA, 2002）。

(2) 試験流域の設置・モニタリング

メコン河流域を代表する農業水利用形態を有する場所に小さな試験流域を設置し、降雨量、熱収支、表面流、河川流量等の水循環を正確に、長期間計測し、本研究プロジェクトでのアジアモンスーン域水循環変動

モデル開発の検証データとして共有する。

なお、データが極端に不足しているカンボディアの水利用形態に関する現地観測も行ったが、これの詳細は、増本ら (2007) の纏めや辻本らの報告 (辻本, 2006; Tsujimoto ら, 2007) を参照することとし、当報告ではその記述を省略する。

2 アジアモンスーン地域の水利用

a 概観

モンスーンアジアの主穀は米である。そして、世界のコメの生産量の9割近くがこの地域の国々で生産されている。世界の農業生産の多様性の中で見た場合には、モンスーンアジアはほぼ全域にわたって水田稲作地域が広がる点で、ほぼ均一な地域であるといえる (Fig.2)。

また、一般的に年間降水量の違いにより、年間降水量が400mm以下の常年かんがい地帯、400mmから1,000mmの不安定かんがい地帯、1,000mm以上の補給かんがい地帯に分類できるが、モンスーンアジアはその全域が最後の分類に属している。世界各地の気候・水文条件の違い、あるいは灌漑形態の違いの大きさを考えると、モンスーンアジアにおけるこれらは、ほぼ均一なものとして捉えることができる (Masumoto, 2003a)。

しかし、一方で、モンスーンアジアにおける水田稲作は、大きく中山間地域と低平地、あるいは大陸部と島嶼部の水田稲作に分けることができる。これらの間には、灌漑の形態や技術面において様々な相違点が見られるが、世界の乾燥・半乾燥地域における灌漑との比較対照で考えた場合には、以下に述べるようなモンスーンアジアの水田灌漑にほぼ共通する特徴を挙げることができる (Masumoto, 2003; Masumoto et al., 2002ab)。

b 豊富な水を利用した独特の営農法と多面的機能の発揮

モンスーンアジアでは、雨季と乾季があるように水資源の供給量の季節的な変動や短期的な変動が大きいという特徴がある。このため、水資源の豊富な時期に水稻の作付けや栽培を行うことが基本となる。この際に、洪水の利用や灌漑により、作物の水分要求量を上回る水を耕地に導入し、土を耕す (水田の代掻き) 作業の容易化、雑草の繁茂の抑制、土壌肥沃度の維持、土壌浸食防止、連作障害の防止、リーチング (塩類の除去) などの多面的な効果を期待する。灌漑は、水管理に必要な労働力の軽減も期待できる。

この作物の水分補給量を上回って導入された水の多くは、地下への浸透や排水路への流出を経て、下流の地下水や河川水に環流する。環流の割合は地域によって異なるが、日本の例では取水量の50%~75%といわれている (例えば、利根川鬼怒川の試算例, 2003時点)。このように一度河川から取水し、用水路を経て一時水田に貯え、ゆっくりと地下水を涵養し、さらに河川に環流し、下流域において再度利用することを流域内で繰り返すこ

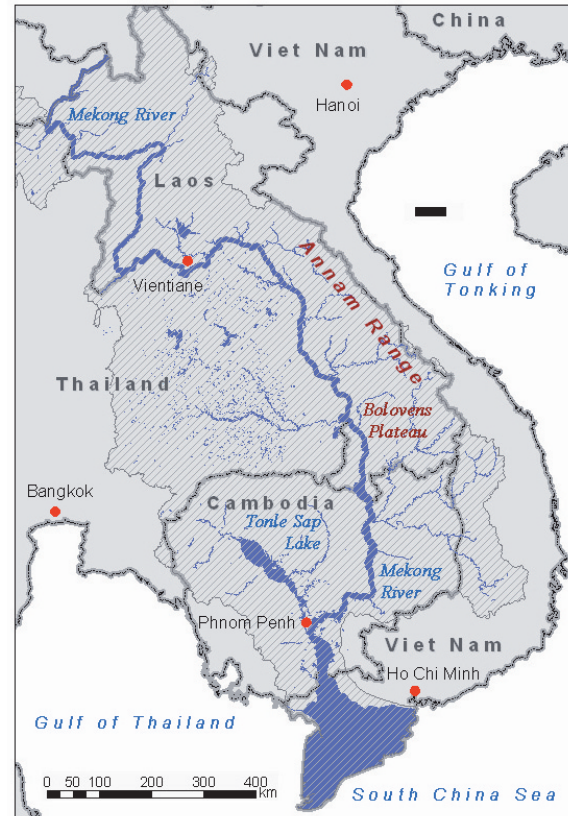


Fig.1 メコン河下流域の概要 (斜線部はメコン河下流域を示す)
Outline of the Lower Mekong River Basin

とにより、流路長が短く、流れの速い河川が多い地域でも、水資源がすぐに海に無効放流されることなく、水資源の滞留時間を長くすることができる。

結果的にモンスーンアジアの水田灌漑は、流域全体として水資源の利用効率を高め、健全な流域水循環の形成に大きく貢献していることになる。また、同時にこのように豊富な水を利用する水田灌漑は、多くの場合営農上の便益に加えて、地下水の涵養、洪水の抑制、生活用水としての利用、養魚・舟運・工業等他産業への利用、消防、融雪、伝統文化の伝承、生物多様性の保全、水辺景観の形成など、社会的・経済的な効果も発生させている。これらの効果を発生する機能を総称して、灌漑の多面的機能と呼び、モンスーンアジアの水田灌漑は、これらの様々な社会的・経済的効果が相対的に大きいため、乾燥地域における灌漑や農業用水利用とは異なり、持続性の観点からも多面的機能を外部経済として正当に評価を行う必要があることになる (増本, 2004; Masumoto et al., 2006)。また、それらの機能のうち、水田の持つ洪水防止機能の評価法などの検討も行われている (Masumoto, 2003cd; Masumoto et al.; 2006b)。

c 共同の力で水資源の変動性を克服する持続性の高いシステム

一方、モンスーンアジアでも、雨季にさえも水資源が豊富にあるというわけではなく、地域によっては干天が続き、予期できない異常な渇水を生じる。このようなと

きには乾燥・半乾燥地域と同じように、作物の生育に必要な水分の絶対量が不足し、作物の生育に必要な水分を補うことが、灌漑の最大の目的となる。このように、モンスーンアジアの水田灌漑では、作物に必要な灌漑水量は、実際の降雨のタイミングと量によって大きく変動する可能性がある。また、その変動がいつどの程度であるか、予想することが困難であるという特徴を有している。また、モンスーンアジアの伝統的な水田灌漑には、地域農民の共同体によってつくられたため池や堰、あるいは用排水路などの共有財産的なかんがい施設と、これらの施設及び配水を管理する共同体による水管理システムが、近代化の過程を経て現在もなお有効に機能している例が多く見られる。このように、湿潤地域における水田灌漑稲作は、各地域で何世紀にもわたって営々と発展を続け、水や農事に関する伝統行事・儀礼・神事等にも密接に関与しながら、水と共に生きる人々の営みに支えられた独特の風土を形成している。これは、水田灌漑の水が単に農作物の生産という経済活動のために使用されて捨てられる水ではなく、人々の生活空間としての環境の重要な要素としての水として、長い歴史にわたって大事に使用され保全されているからである。

このように、世界で最も人口密度の高い社会が広範に形成されているという現在の事実が証明しているように、モンスーンアジアの水田灌漑稲作は、土地・水資源の利用と高い生産力の維持が可能な極めて持続性の高い優れた農法であり、持続的に社会を支えるシステムでもあるという特徴を有している。

3 メコン河における水利用の概要

a メコン河流域の特徴

メコン河は、チベット高原に源を発して中国西部を南東に流下し、ミャンマー、ラオス、タイ、カンボディアを経て、ベトナムにて南シナ海に注ぐ。流域面積は日本国土の約2倍に相当する約795,000km²で世界第21位、年間総流出量は4,750億m³で世界第8位の規模である。流路長は約4,880kmで、東南アジアの河川で最も長く、世界第12位である。

メコン河の大きな特徴のひとつとして、流量の季節変化の大きいことが挙げられる。メコン河の流量はほとんど未調整であり、河状係数は40～50と大きく、雨季と乾季の水位差でみると、カンボディアの首都プノンペン（地点はFig.1参照）で7mにもなる。たとえば、河口から332km地点に位置するカンボディアのプノンペンでは、年平均日流量が12,740m³ s⁻¹であるのに対し、年最小流量は1,780m³ s⁻¹、年最大流量は43,110m³ s⁻¹と推定されている。流出のパターンとしては、5～6月に流出量が増大し、上流部は8～9月、下流部は9～10月にピークになり、4月に最低水位を記録する。メコン河の乾季流量（年最小流量）には、最上流国である中国からの流入量の寄与が大きく、一方、雨季流量（年平均流量およ

び年最大流量）の形成には、中流部ラオスのアンナン山脈やボロヴェン高原に降ったモンスーン降雨が大きく寄与している。なお、トンレサップ湖を含むカンボディア氾濫源では、毎年のように広大な氾濫区域が生じており、結果として15%程度の年最大流量がプノンペンまでに調整されている（MRC and JICA, 2004）。

b 農業水利用の実態

約80万km²のメコン河流域面積のうち、農地面積は35万km²、そのうち灌漑農地面積は3万km²であり、灌漑率はわずかに8.6%である。さらに、流域内の水田面積は約23万km²、畑地は12万km²であり、農地の7割弱が水田である（清水ら, 2004; Shimizu et al., 2006, Fig.2参照）。

同時に、メコン河流域には、多様な水田の水利用や灌漑方式があるのが特徴である。東北タイではダムを水源とする通常の灌漑稲作が行われているが、ラオスでは小河川からポンプ等で取水する方式が主流となっている。また、カンボディアでは灌漑率はまだ低く、氾濫原では減水期稲作が行われるほか、平原部には雨季単作天水田が広がっている。一方、メコンデルタでは干満差を利用したアオ取水が行われ、水田二期作、三期作が行われている。

このような多様な水田農法、灌漑方式がある中で、水循環の実態解明の意味合いも変わってくる。東北タイやラオス等での灌漑稲作は灌漑の定型パターンと考えられ、水循環モデルを構築して、河川還元量の算定、真の消費水量の評価、灌漑事業の下流への影響度評価を行う。

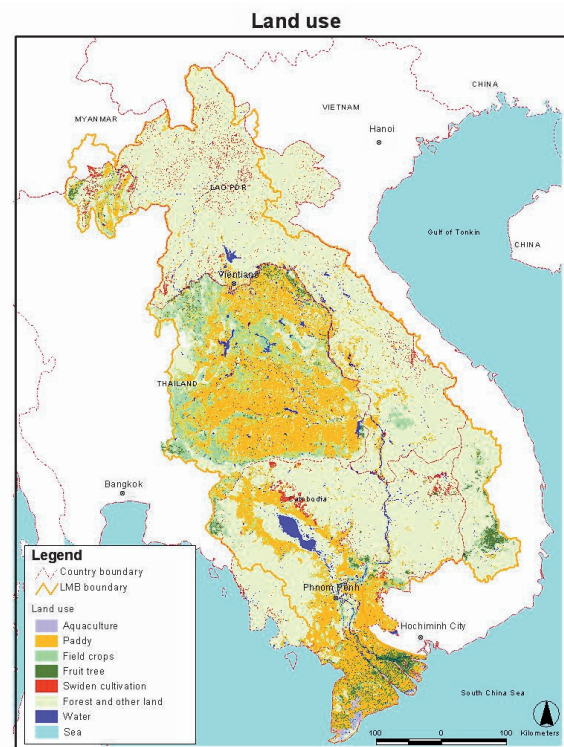


Fig.2 メコン河流域の農地の分布 (MRC, 2006)

Distribution of Agricultural lands in the Mekong Rive basin

これにより、特に東北タイの灌漑事業がメコン河本流にどのような影響を与えているのかが評価できる。次に、カンボディア等の天水田では、現状で天水田での雨季作が行われており、乾季の河川流量に影響するところは小さい。同時に、カンボディアの減水期稲作やコルマタージュ地域等における水利用は、同地域における洪水とも大きく関係し、雨期に水を保持・貯留していることから、流出遅れなどにより乾季の河川流量に何らかの影響を及ぼしている (Masumoto et al., 2003c)。コルマタージュ地域 (Fig.3) についても、導水、排水のメカニズムにより、下流への洪水の軽減効果や乾季流量の確保等の効果がある (Masumoto et al., 2002b)。一方、メコンデルタのベトナム域はメコン河の最下流部に位置するため、さらに下流で還元水を再利用することはないが、デルタでの現状の水需要を明らかにすることが重要である。確保すべき最低流量は、ベトナムによると、塩水遡上防止に $1,500\text{m}^3/\text{s}$ 、農業用水需要量で $500\text{m}^3/\text{s}$ 、あわせて $2,000\text{m}^3/\text{s}$ を目安としている (堀, 1996; MRC and JICA, 2004)。

ただし、多くの水循環モデルによる算定では、多くが畑作物に対する収量モデルを水田に対しても適用しており、水稻割合の高いモンスーンアジア地域では、実際の水需給量と計算値との間に大きな誤差が生じている可能性が指摘されている。中でも、水文・気象・農業データがこれまで収集されずデータ空白域となっていたメコン河流域では、天水田が約8割を占めていることもあり、生産量と水需要量との関係は明らかにされていない (清水ら, 2004)。さらに、メコン河流域に位置するトンレサップ湖は、乾季 ($2,500\text{km}^2$) から雨季の湖水面積が5倍程度に大きく変化し、洪水貯留と農業用水供給の両機能を同時に発揮するという大きな特徴を有しているといわれ

るが (MRC & WUP-FIN, 2002)、この巨大湖沼が有する水文環境変化や水利用特性は十分には明らかになっていない。

III 微地形情報を利用した歴史的洪水データ復元法の開発

1 研究目的と方法の概要

地上気象水文データが不足するメコン河流域において、過去の水循環の実態を推定できる手法を確立し、全流域の過去-現在の農業利水収支の復元とモデル化を行うことを全体計画における目的とする。本課題においては特に氾濫域における平野の微地形に注目し、カンボディア平原における微地形分布と洪水氾濫との関係を明らかにした上で洪水時の最大浸水範囲の推定を行い、これらを過去の洪水状況復元に用いる。さらに、雨季・乾季の水位差を利用した農業水利と微地形条件との関係を明らかにし、人間の活動に伴う水循環の形態についても考察する。

メコン河下流部のカンボディア国内において、本川および主要支川・派川流域平野の微地形条件、過去の洪水状況、過去-現在の農業水利等を明らかにするために以下のデータ・資料を収集し、解析を進める (Kubo, 2002; 2003ab; 2004ab; 2005; 2006bcd; 久保, 2002; 2003; 2004; 2005; 2006)。i) 地形図や空中写真判読、現地調査により対象地域の微地形分布図を作成し、氾濫域における微地形条件を明らかにする。ii) 衛星データや既存資料、聴き取り等に基づき、過去の洪水状況図の作成を行う。iii) 微地形条件と洪水氾濫域との対応を明らかにし、過去の洪水状況の復元を行う。iv) 雨季・乾季の水位差に伴う農業活動や水利用の過去-現在の実態を推定し、水循環モデルを構築する。v) 氾濫原地域の表層地質から平野の形成史を考察する。

2 氾濫原地域の微地形分布図の作成

カンボディア域の空中写真 (縮尺約 1/2.5 万) を入手し、それらの実体視判読とこれまでの現地調査 (例えば、2006年8月~9月等、久保, 2007) により、引き続き氾濫原地域の微地形分布図を作成した (Fig.4(a))。また、1950年代撮影の空中写真 (縮尺約 1/4 万) をブノンペンにて確認し、一部をスキャナー入力した。このほか、カンボディア国内の縮尺 1/10 万地形図の電子ファイルと GIS データを入手した。

微地形分布図の作成範囲は、メコン河上流側はコンボンチャム付近まで、トンレサップ川・トンレサップ湖沿いはコンボンチュナン付近まで、下流側はベトナム国境付近までである。氾濫原はメコン河沿いにコンボンチャム付近より下流に広く分布する。氾濫原の周囲には、台地や残丘状の山地・丘陵などが分布する。氾濫原はメコン河やトンレサップ川などの大河川沿いの部分と、その

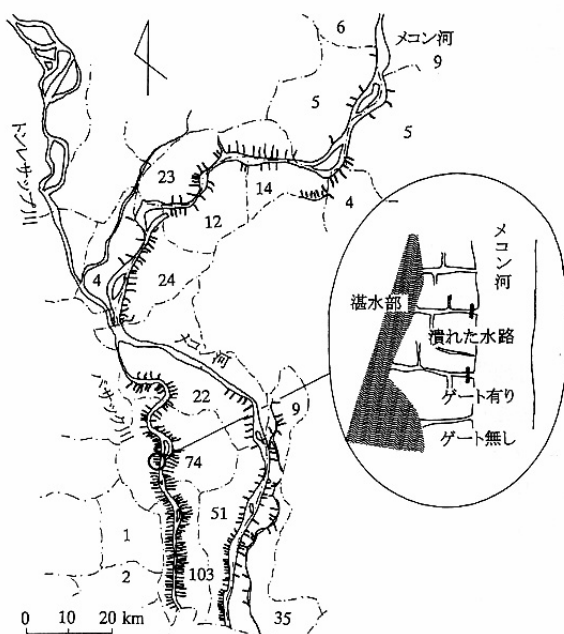


Fig.3 コルマタージュ域の概要
Outline of Colmatage systems

周辺の高位沖積面に分けられる。河川沿いの部分は主に自然堤防と後背湿地、旧河道などからなり、後背湿地では雨季に広範囲で浸水する。また、後背湿地の中には周年湛水地もみられる。一方、高位沖積面とした部分は通常は雨季にも浸水しない。このため、土地利用パターンにも違いが見られる。メコン河沿いの自然堤防は河川の規模に比して小規模であるが、いくつかの小河川にも自然堤防が発達するものがある。メコン河の旧河道と思われる流路跡が右岸側に認められ、自然堤防を伴っている。

バサック川沿いには幅広い自然堤防状の微高地が発達するが、これらはコルマタージュ水路に伴う分布を示す。微地形分布図は、カンボディア公共事業省 1/10 万地形図上 (Illustrator 形式) でオーバーレイ表示できるようにし、さらに ArcView 形式で GIS データ化した (Fig.4(a)(b))。

3 過去 20 年間の氾濫域と微地形との関係

JERS-1, LANDSAT-7, SPOT 等の衛星画像を入手し、洪水期の浸水域を上記微地形分布図と比較し、洪水規模と浸水域との対応を求めた。氾濫原の主要河川沿いの後背湿地では毎年雨季になると浸水するが、自然堤防は浸水を免れることより、地形との対応がみられる。高位沖積面は通常の年は雨季でも浸水しないが、2000 年洪水時のような大規模洪水時には浸水がみられた (2000 年洪水に関しては増本 (2000, 2001) を参照)。

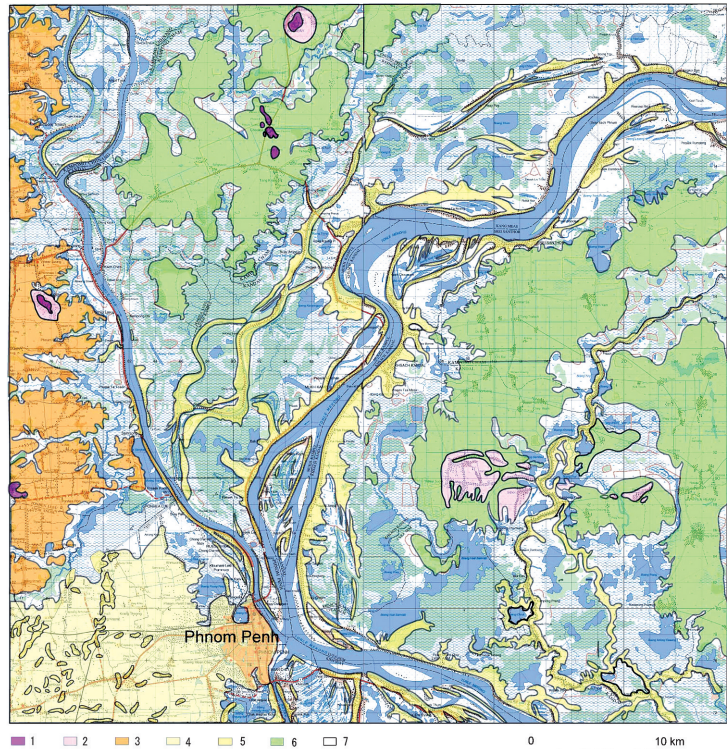
以上のことから、通常の洪水年、渇水年、大規模な洪水年では微地形に応じた浸水範囲が認められることが確認された。

さらに、表層地質データとして、プノンペン周辺の工事ボーリングデータを入手したほか、ハンドオーガーによる表層堆積物調査、土取場における露頭調査等を行い、表層堆積物の分布と微地形、洪水挙動との関係を考察した。プノンペン周辺では旧河道・後背湿地ともに、表層部の数 m は赤色を帯びたシルト層が観察された。

4 農業的土地利用・水利用と微地形の対応

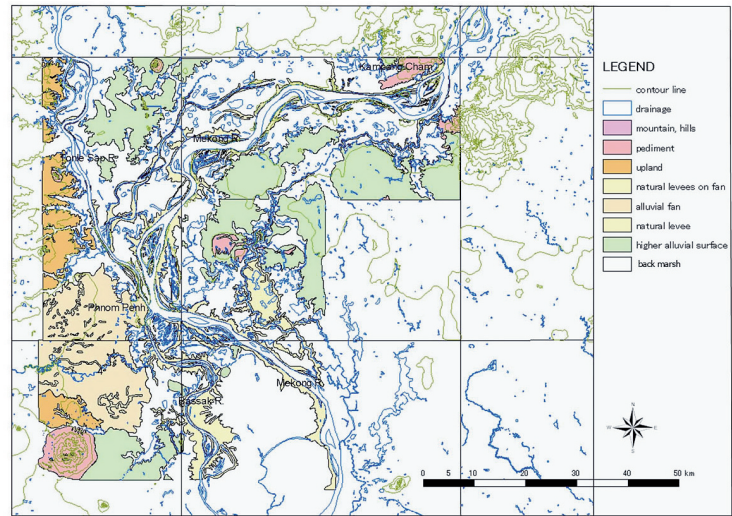
氾濫原地域は主に農地と湿地・水域 (非耕作地) からなる。農地は大部分が水田であるが、一部にトウモロコシやサトウキビなどの畑も分布する。水田は湛水の程度に応じて利用のされかたに違いが認められる。

雨季に湛水する氾濫原の後背湿地では、周年湛水地およびその周辺部は湿地 (非耕作地) が広がる。自然堤防や高位沖積面周辺の後背湿地では、減水期に田植えをする水田が分布する。一方、緩扇状地や高位沖積面では雨



(a) Illustrator 形式 (一部)

1: 山地・丘陵, 2: ペディメント, 3: 台地, 4: 扇状地, 5: 自然堤防, 6: 高位沖積面, 7: 後背湿地, Mapping by Illustrator style



(b) ArcView 形式 (一部)

Fig.4 プノンペン周辺微地形分布図

Geomorphological mapping of the Lower Mekong Plain (Cambodia Floodplain)

季に主に天水を利用して水田耕作が行われる。これらの地域では、碁盤の目状のいわゆる「ポルポト水路」が認められるところが多い (Navuth and Kubo, 2003; 久保, 2006)。

さらに、バサック川沿いには「コルマタージュ」水路が河川と直交する方向に放射状に作られ、水路沿いの地域は幅の広い微高地がみられる (Fig.3, Fig.4 参照)。これらの

微高地上ではトウモロコシやサトウキビなどの畑，周辺には水田がみられる場合がある。

トンレサップ川とメコン河の間の高位沖積面を縁取るように，トンニユップ (tomnup) と呼ばれる小規模な堤がみられる (Kubo, 2001; 2002; 2003ab; 久保; 2002)。これらの堤は雨季の間に高位側に湛水させ，減水期にそれを水源として低位側で稲作が行われている。トンレサップ湖周辺にもトンニユップは多数みとめられるが，それらは長方形の一方の長辺を欠き，高位側に開いた平面形のものが多い。一方，高位沖積面を縁取るものは直線状あるいは円弧状またはそれらの組み合わせであり，高位沖積面周縁の湾入部を閉じるような形態や，高位沖積面と氾濫原の境界と併走する形態を示す。

以上のように，これらの地域の土地利用・水利用形態と微地形とは良い対応を示すことが明らかとなった (Fig.5)。その他，コンポントム州サンボープレイクック遺跡 (7世紀の王都) 周辺 (古城・久保, 2002) や，タケオ州プノムチソー遺跡周辺の台地上や高位沖積面上に集中的に見られる小規模ため池群や運河状遺構など，古代の水利施設を示唆するものも認められた (Shimoda & Kubo, 2004; Nagumo & Kubo, 2006)。

IV 農地を中心とする土地利用変化推定モデルの開発

1 研究目的と方法の概要

水循環に関する情報の少ないメコン河流域において，水利用と密接に結びついている土地利用と水循環の実態を再現・推定する手法を確立する。また，土地利用変化推定モデルにより過去から現在，将来にわたる土地利用変動を推定する。土地利用とその変化は水の貯留や流出に影響を与え，人為的操作が加わる農地の水利用形態を把握する必要がある。そこで過去から現在にかけて農地の水利用形態を類型化し，その実体を明らかにする。また，土地利用変化情報に自然条件，社会条件を加え，土地利用の変化推定モデルを構築する。各種衛星データや既存の地図データ等を収集し，年度別時期別に整理し，農地の利用形態分類マップを作成する。このようなマップを1970年代と現在について作成し，土地利用の変化状況を推定する。

研究方法は以下のようなになる。すなわち，メコン河下流域を対象に，過去から現在までの水利用を考慮した土地利用を推定するために (新垣ら, 2002)，NOAA/AVHRR データや MODIS/TERRA データを用い，NDVI から植被率を推定する。植被率の季節変化から農地の水利用形態を把握し分類する (高橋ら, 2002; 2003; 寺岡ら; 2002)。得られたデータに Landsat/ETM+ データや既存の土地利用図を加え，精度の向上と検証を行う。次に，土地利用図を作成し，長期的な農地を中心とした土地利用変化を明らかにするとともに，変動要因を明らかにす

GEOMORPHOLOGICAL INTEGRATION

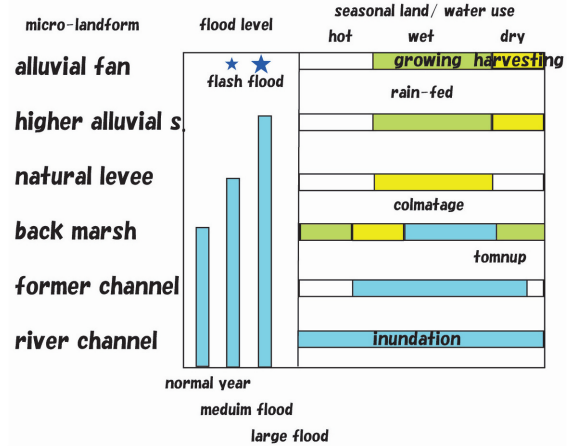


Fig.5 微地形と氾濫水位，土地利用・水利用との関係
Relation between inundation level and land use/ water use

る。ここで得られた関係から土地利用変化推定モデルを作成し，過去から現在，将来にわたる土地利用変動を推定する。

全体の研究計画は次の通りである。まず，地図など土地利用に係わる既存のデータおよびメコン河流域の衛星データ (Landsat データ，NOAA/AVHRR データ) を収集するとともに，作付け状況の現地調査を行う。次に，解析手法の検討と2000年を基軸とした土地利用図の作成，解析結果の検証のための現地調査，現在および過去の土地利用状況と水利用の推定を行う。さらに，2000年を基軸とした土地利用の高度化と過去にさかのぼった土地利用の変化状況を推定し，昼夜の地表面温度差画像と土地被覆分類画像を用いた解析とランドサットデータの分類結果と照合する。最後に，衛星データを用いた土地利用変化の過去，現在，将来の推定方法を提案する。

2 雨季・乾季を考慮した農地利用分類

陸域と水域とに分別し，陸域では MODIS Surface

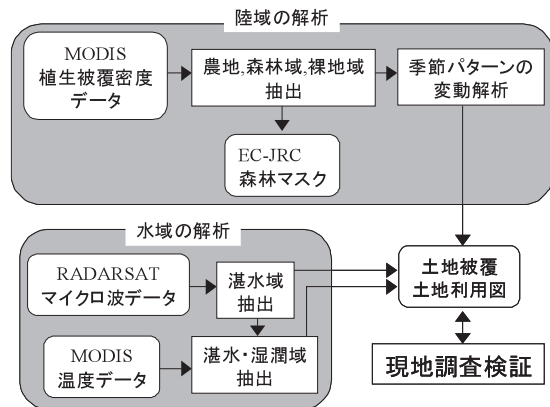


Fig.6 陸域と水域の解析の流れ

Analysis flow for land and water surface

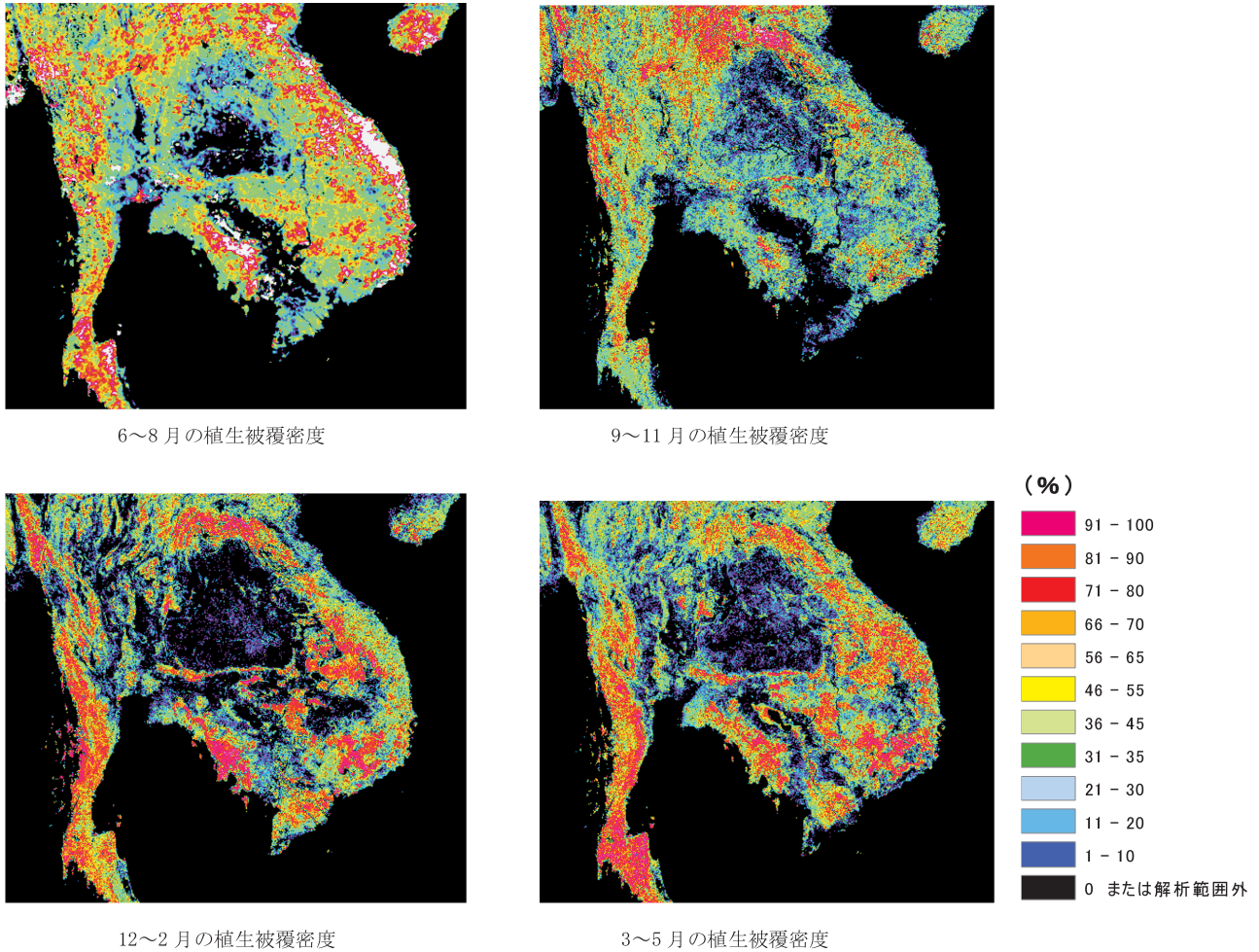


Fig.7 2000年四半期毎の植生被覆密度平均値の画像
 Images of averaged vegetation coverage in 10 days intervals of 2000

Reflectance データセットと EC-JRC 土地利用図より参照し抽出した森林域マスクデータを用い農地、森林域、裸地に分類を行った (Fig.6)。水域は RADARSAT データを用い湛水域の抽出を行った。RADARSAT データで抽出することができなかった地域に関しては、MODIS Land Surface Temperature /Emissivity (以後 MODIS-LST) データセットを用い湛水・湿潤域として抽出した。抽出した陸域、水域の土地被覆分布、土地利用分布情報を合成し、2000年のメコン河流域における土地被覆、土地利用図とした (長澤ら, 2004ab; 中西ら, 2003a; 2004; 力丸ら, 2005; Rikimaru et al.; 2005)。また、2003年10月にカンボディアで行った現地調査より検証を行った。

陸域には MODIS-Surface Reflectance データセットを用い、3~5月、6~8月、9~11月、12~2月毎に合成を行い、植生被覆密度を抽出した。Fig.7のデータを k-means 法で分類しカテゴリを割り振った。森林域に関しては、EC-JRC の土地被覆図より抽出した森林域を引用した (角山ら; 2002)。裸地、農地は各カテゴリ内の植生被覆密度の平均値を四半期ごとに算出し、変動パターンによって土地被

覆・土地利用を決定した。植生被覆密度が1年中低く推移している地域を裸地とし植生被覆密度が高く推移している地域、または変動している地域を農地とした。更に、変動パターンによって、営農形態別に分類を行った。Table 1のように、植生被覆密度を0~29(%)、30~59(%), 60~100(%)の三段階に分け、雨季に植生被覆密度の高くなる地域を雨季中心型、乾季に植生被

Table 1 植生密度と営農型の関係
 Relation between vegetation density and cropping pattern

クラス	クラス内平均植生被覆密度(%)				営農型
	雨季		乾季		
	6~8月	9~11月	12~2月	3~5月	
1	4.6	3.3	2.7	2.7	裸地
2	14.6	40.7	5.1	6.4	雨季中心型
3	37.5	8.9	3.5	7.7	雨季中心型
4	31.3	10.9	9.1	48.6	雨季乾季混合型
5	90.3	12.2	7.5	11.9	雨季中心型
6	54.2	52.7	6.4	14.3	雨季中心型
7	73.5	34.1	19.6	55.6	雨季乾季混合型
8	48.9	33.2	46.4	35.9	多期作型
9	15.9	6.7	55.9	34.5	乾季中心型
10	46.0	16.1	71.2	69.4	雨季乾季混合型
11	57.9	46.8	74.2	77.2	多期作型
12	61.2	71.6	34.7	37.6	多期作型
13	37.8	68.8	67.4	56.3	多期作型
14	81.8	73.8	56.9	62.3	多期作型
15	88.6	33.0	63.7	71.9	多期作型
16	69.7	82.2	80.3	80.3	多期作型

(%)
 60~100
 30~59
 0~29

覆密度の高くなる地域を乾季中心型、雨季、乾季に植生被覆密度が高くなる地域を雨季乾季混合型、年中植生被覆密度が高くなる地域を多期作型とした。最終的に得られた農業水利用を考慮した農地利用分類図は Fig.8 に示される。

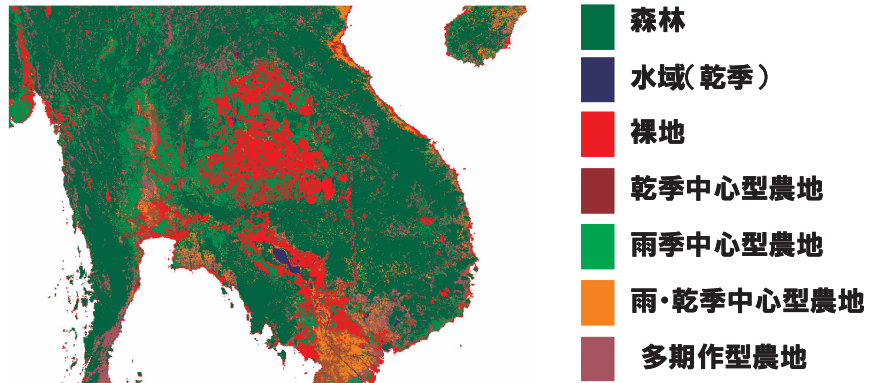


Fig.8 営農形態別の土地利用分布図

Land use distribution according to cropping pattern

3 温度差画像を用いた農地水利用状態の把握

西ら (2004ab) により、昼夜地表温度差より農地水利用状態の把握の可能性が示唆された。しかし、中西ら (2004a) の現地調査結果と比較・検討したところ、一致しない箇所が存在した。

そこで、ここでは、西ら (2004ab) が使用した人工衛星 Terra に加え、人工衛星 Aqua の地表温度データと現地観測データ (増本ら, 2007) を用いて農地のより精度の高い判別、農地水利用状態を把握する試みを行った (蛭田ら, 2006; Rikimaru et al.; 2006)。一方、増本ら (2007) や辻本ら (2006, 2007) により、インドシナ半島の熱帯モンスーン気候の特徴は、降雨日であっても無降雨日の約9割の日射量があること、また、降雨時間帯が15～24時に集中し8～13時には少ないことなどが確認されている。

利用したデータは、現地気象データとして、風向風力、温度、湿度、気圧、降水量、地表温度、水温を観測しているカンダルストーン地点 (水田地帯内の短い草に覆われた土壌面) とチョンクニアス (トンレサップ湖の水面) における2003年6月～2005年3月のデータである。さらに、衛星・データセットとして、観測衛星 EOS/Terra, EOS/Aqua による MODIS Land Surface Temperature の8日間合成データ (2003年6月～2004年5月) ならびに EC-JRC (Joint Research Centre) が SPOT-VEGETATION を用いて雲なしモザイクを作成した森林分布分類図である。

まず、現地での地表面温度の連続観測データより各時刻における温度分布の把握を試みた。日周期による各時刻の温度分布図 (Fig.9) を作成した。Fig.9より、現地では13～14時が、一日の最高温度時間帯であることが確認された。

次に、昼夜温度差による農地の水利状態の把握を行うため、10～11時・22～23時に観測を行う Terra MODIS-LST データと、昼夜温度差が大きくなる13～14時・1～2時に観測を行う Aqua MODIS-LST のそれぞれを単独で用いて、観測データを解析した。実際に解析を実施してみると、前者では Fig.8 の土地利用分布図と一致しない箇所が発生した。一方、Aqua MODIS のデータでは、水が存在するかしないかの二分に分けられ、微

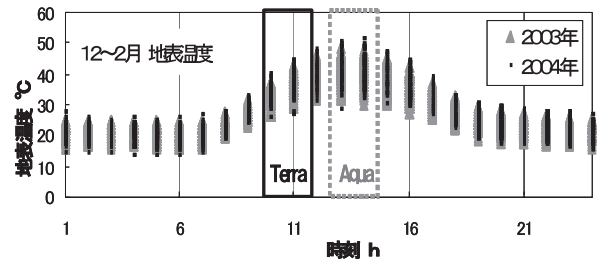
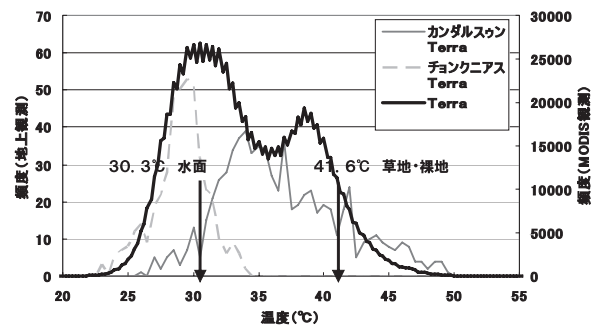
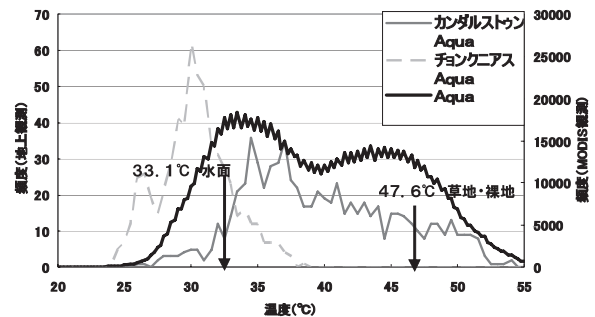


Fig.9 現地の日中温度と人工衛星の対応関係

Relation between observed and satellite data of temperatures



(a) Terra 観測時刻



(b) Aqua 観測時刻

Fig.10 現地観測と衛星による温度特性

Temperature characteristics of observed and satellite data

妙な水利用状態の推定は困難であった。

そこで、Aqua MODIS と Terra MODIS の時間帯の異なるセンサを用い、地表温度の時間変動からより細かな水利用状態を把握できるのではないかと考え、Fig.10(a)(b)に示すように観測温度データと衛星温度データを比較した。衛星温度データは、現地の水面や草地・裸地の温度と似たような傾向を示した。このように、衛星からの観測温度によって、水面や草地・裸地の分類の可能性が示された。

そこで、本検討では、MODIS Terra・Aqua から得られる昼間の観測時間帯(Terra:10~11時, Aqua:13~14時)の温度情報を利用し、地表温度の変化量・傾向に着目した。雲によるデータの欠損を防ぎ、陸域が90%以上補間できるように、年間最大値合成とした。算出された最大値温度を、現地観測データから算出した閾値(上位10%の平均値)を用いて農地の水利用状態の把握を行った。Table 2 に得られた閾値を示す。Terra・Aqua から得られる地表温度の関係を Fig.11 に示す。特徴として、Terra: 28~35℃, Aqua: 30~38℃の領域に一番多い傾向があり、斜め上方向に広がりを見せている。そして、それぞれを Table 2 の閾値を元に36クラスに分けて判別を行った。Fig.11 に、インドシナ半島における地表温度をクラス別に表示した。タイ北部では地表温度が高く、ラオス・カンボジアでは地表温度の低い地域が多く広がる傾向が見える。次に、クラス別地表温度分布を Fig.8 の土地被覆分類図に重ね合わせ、各土地被覆でのクラス別の割合を算出した。クラス分類することで営農形態分布の把握に役立つことが分かった。今後は、クラス分類を細かくすることで、より詳細に営農形態分布の特徴が把握でき、農地水利用状態の特定に役立てられると考える。

Table 2 閾値の設定

Determination of thresholds

人工衛星	EOS-TERRA	EOS-AQUA
観測時刻	10:00~11:00	13:00~14:00
水面	31.3 °C	34.7 °C
草地・裸地	44.1 °C	49.5 °C

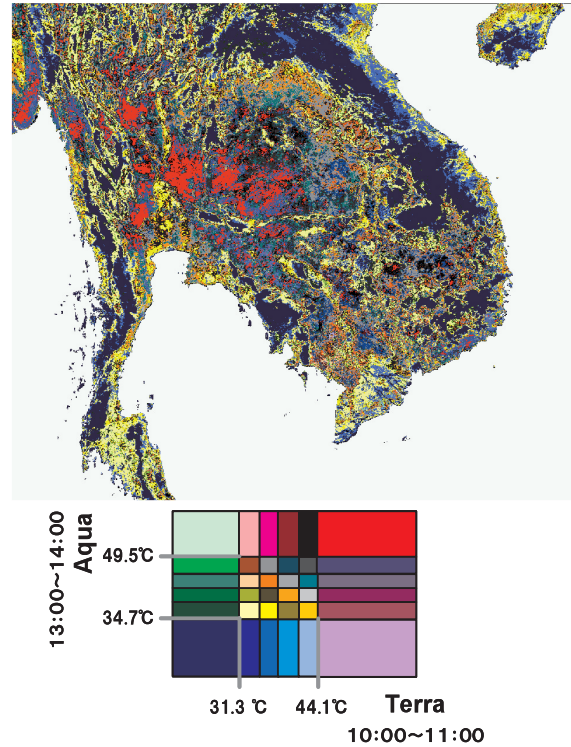


Fig.11 クラス別の地表温度分布

Surface temperature distribution by classified categories according to cropping pattern

4 高分解能センサー画像と統計値による検証

現地調査及び聞き取りによると、雨季作水稲は7月に移植し11月中に収穫する場合は殆どであった。しかしながら、かんがい施設がなく谷地に分布する天水田では降雨により影響されるため移植時期の変動が大きい。今回、土地被覆分類に有効で、特に水田と畑の区別には2000年10月26日と2001年11月30日観測のLandsat/ETM+ データが最も適していた(福本; 2003, 小川ら, 2003ab; 2006; Ogawa et al., 2004ab)。

最終的には水域、水田、畑、森林(果樹などを含む)、市街地の5項目に分類した。これにより、低平地の水田ばかりでなく、谷状に分布している天水田が他の分類項目と明瞭に分類できた。また、7×7のマトリックス演算により、水田の誤分類が消去できた。水田は連続して分布するため、7×7の中に存在する水田の分類項目が少ない場合は誤分類と判定し、そのマトリックスの中で最も優先する分類項目と置き換えた。

畑作物は、植生の変化パターンと現地調査結果から、サトウキビ、キャッサバ、その他(裸地、草地、森林)

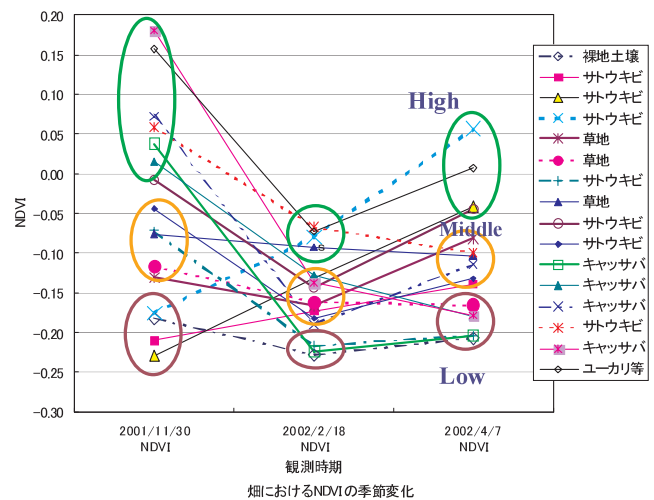


Fig.12 NDVI の変化から求めた作物等の分類

Classification of crops by NDVI

に分類した (Fig.12)。

乾季作の水稲分類は乾季の2時期データから抽出した。以上の分類結果を重ね合わせ、最終的な作付作物の分布図を作成した (小川ら, 2005; 2006; Ogawa et al., 2005; Ogawa & Rikimaru, 2006)。

例えば、解析範囲にはほぼ含まれるタイ国の2県 (コンケンには83%カバー、マハサラカンは99%カバー; それぞれの位置についての詳細は省略) について分類結果を集計したのが Table 3 である。雨季作、乾季作水稲の推定値は統計値にほぼ等しいか、若干多い値となった。小川ら (2003) の国内での推定結果では、単純集計した推定値は統計値よりも市町村単位で約12%多い値となっていることから、妥当な結果と思われる。ここで導入したマトリックス演算による誤差処理は有効といえる。畑作物 (サトウキビ、キャッサバ) に関してみると、作付面積の少ないマハサラカンのサトウキビで過推定になった以外は、統計値に比較的一致しており、ある程度の精度で分類できたと推察された。

次に、プノンペン周辺の過去のデータとして、1973年1月3日、1973年7月20日観測のLandsat/MSSデータを用い、土地被覆分類を行った。過去のデータは土地利用の教師データが存在しない、反射特性や現在の土地被覆状況を参考に分類した。2時期のデータを1つの画像に統合し、1973年時点での土地被覆分類画像を作成した (Fig.13)。さらに、土地利用変化状況を見るために、1973年と現在の土地利用を重ね合わせ、土地利用の変化部分を抽出した。

V 流域レベルの農業取水可能量推定モデルの開発

1 研究目的と方法の概要

地上水文データの少ない、特に灌漑排水データの不足する流域における関連データの復元を行うために、取水可能量や灌漑に関する水利用量を地形と気象モデルから提供される時空間情報の関数あるいはモデルとして表現する方法を開発する。取水可能量や灌漑に関する水利用量を再現するための取水モデルは、水田、畑地それぞれについて検討するが、水田については水利用特性から再分類する。提案するモデルはできるだけパラメータ数を減じるとともに、一般パラメータの物理パラメータへの変換を検討する。さらには、現地調査や資料収集によりパラメータを決定する。また、メコン河流域国において収集可能なデータが異なることから、それぞれの国で入

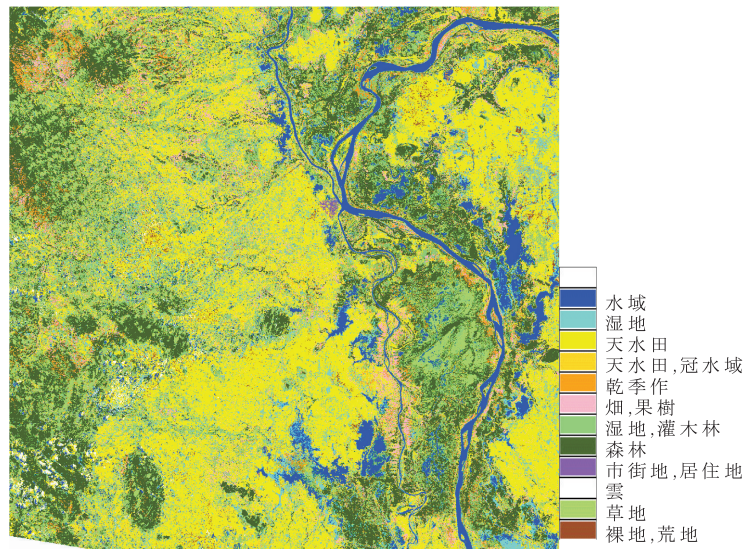


Fig.13 1973年時点での土地被覆分類結果
Land use classification in 1973 in Cambodia

Table 3 衛星データから集計した作物の集計値と統計値の比較
Comparison of cropping areas between the statistics and estimation from satellite

作物	コンケン			マハサラカン		
	推定値	統計値	推定値-統計値 推定値/統計値*100	推定値	統計値	推定値-統計値 推定値/統計値*100
雨季作水稲	398,314 *	340,952	57,363 116.8	304,911 *	295,321	9,590 103.2
乾季作水稲	16,681 **	14,382	2,300 116.0	16,658 **	14,010	2,649 118.9
サトウキビ	71,986 *	75,351	-3,365 95.5	34,425 *	9,743	24,682 353.3
キャッサバ	42,469 *	38,032	4,437 111.7	14,596 *	16,690	-2,094 87.5

* 面積割合で補正 (集計値をコンケンは0.827、マハサラカンは0.993で除した値)

** ほとんどのエリアをカバーしているため、ここでは特に補正していない値

手可能な資料に基づいたモデルとする。一つは発展途上国でも入手可能な農業統計データを用いて米生産量から補給水量を逆推定する補給水量モデルであり、もう一つは灌漑面積及び有効貯水量などの施設諸元から取水量や還元水量などを推定する灌漑モデルである。これらのモデルにより、0.1度メッシュで、ため池、ダム等の農業用貯水池の貯水量、揚水量、河川取水量を過去20年間にわたって推定する。

研究の手順としては、まず、現地調査を行い、関連情報 (GISデータ、農業統計データなど) を収集するとともに、カンボディアを中心に初期モデルを構築する。次に、現地調査を継続し、分布型である補給水量モデルの構築を行い、特定年に対してメコン河全域における0.1度メッシュのアウトプットを生成する。同時に、東北タイを中心に、貯水池運用を主体とする灌漑モデルの作成を開始する。最後に、それぞれのモデルの精緻化を行い、複数年分の0.1度メッシュのアウトプットを作成する。

2 補給水量モデルの開発と適用

補給水量モデルは灌漑施設に関する諸元が得られない地域で、広く入手できる米の単位収量から補給水量を推

定するモデルである。

まず、カンボディアにおいて補給水量モデルの原型を作成した (Somura et al., 2003ab; 2004abd)。GIS データから作成したメコン河下流域の灌漑図をもとにカンボディアのサンプル域としてカンダール州を選定し、現地調査を進めた。現地調査の結果から灌漑は主に小型ポンプによる補給灌漑によって行われていることがわかったため、各州のポンプ台数を利用して灌漑水量推定モデルの基礎を構築した。水文データの不足から水文モデルによる灌漑水量の推定は困難であったため、米生産量から灌漑水量を逆推定する方法を用いた。すなわち、最初に米生産量を推定しその生産量を収穫するために使用した灌漑水量を積算し、全体量を計算した。本モデルは、モデル構築の初期段階のため、対象は国、州単位とし、水不足による減収を中心にモデル化を進めた。なお、雨季の天水田と灌漑水田のみをモデルによって表現しているため、乾季作を行っている箇所が生産量や灌漑水量は雨季灌漑水田の1.5倍と仮定した。

灌漑水量は土壌水分推定モデル (SWE モデル) と米生産量推定モデル (TRP モデル) の2つのサブモデルから構成される補給水量推定モデル (IWE モデル) によって推定した (Somura et al., 2005b; 宗村ら, 2005a) (Fig.14)。灌漑水量推定の流れを以下に示す。まず、土壌の排水性を指標にして、SWE モデルから天水田と灌漑水田の土壌水分を推定する。その際、灌漑水田用土壌には小型ポンプの台数の関数で表現した灌漑水が不足時に入力される。

次に、TRP モデルを用いて水ストレスによる減収を算出し、土地利用データから対象地域の米生産量分布を推定する。推定された米生産量と実米生産量とを比較し、誤差が10%以下なら、その米生産量を収穫するために

使用した灌漑水量を積算する。このとき土壌水分に関わる SWE モデルのパラメータ値を1地域のみで決定すると米生産量が一致するパラメータ値は無数に存在する。そこで、稲作に密接に関係していると考えられる土壌の排水性に着目し、パラメータ値選択の幅を狭めるため、2地域同時に米生産量が合うようにパラメータ値を決定した。以上により、対象地域での米生産の分布およびそのときの灌漑水量とその分布を推定できるモデルの原型が完成した。

次に、カンボディアにおいて開発してきた米生産量データから水田への補給水量を推定するモデルをメコン河下流域 (東北タイ, ラオス, カンボディア) に拡張した (Somura et al., 2004c; 2005ac; 2006; 宗村ら, 2005b)。対象地域においては乾季作の割合が低いため、まず雨季作を中心に検討した。分布型モデル構築の初期段階のため、単純な構造のモデルを構築し (Fig.14)、月ごとのインプットデータ (降水量と蒸発散量) や国毎の米生産量データ (Fig.15) を用いた。また、水ストレスの計算には水収支式によって求められたグリッド毎の貯留深を用いた。モデルの同定期間は1991年から1992年の2年間、検証期間は1993年から1995年の3年間と設定した。県ごとの補給水供給能力をモデルに反映させるため、単位収量あたりに必要な水量と乾季の州別米生産量から乾季総使用水量を算出し、そこから乾季州別平均降水量を引いて乾季供給水量を推定した。この供給水量を数十年間で算出し、その最大値を州毎に選定して乾季水田への供給可能水量を求めた。なお、これらの値を雨季に適用するにあたりパラメータ値を乗じて補正している。

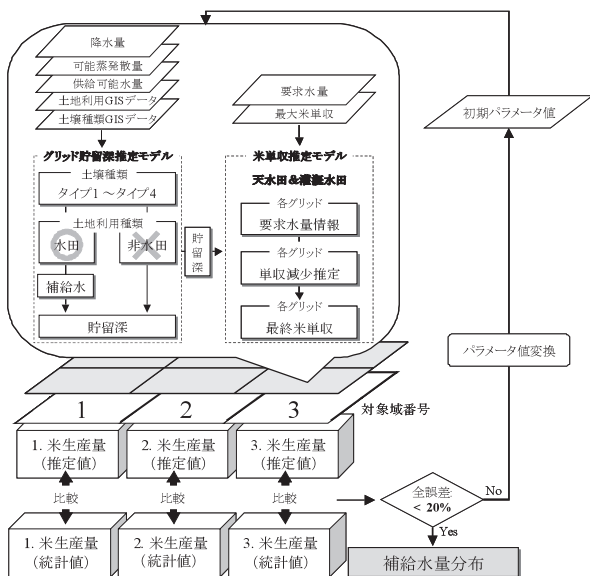


Fig.14 補給水量モデル (SWEP) モデルの概要
Flow chart of the SWEP model

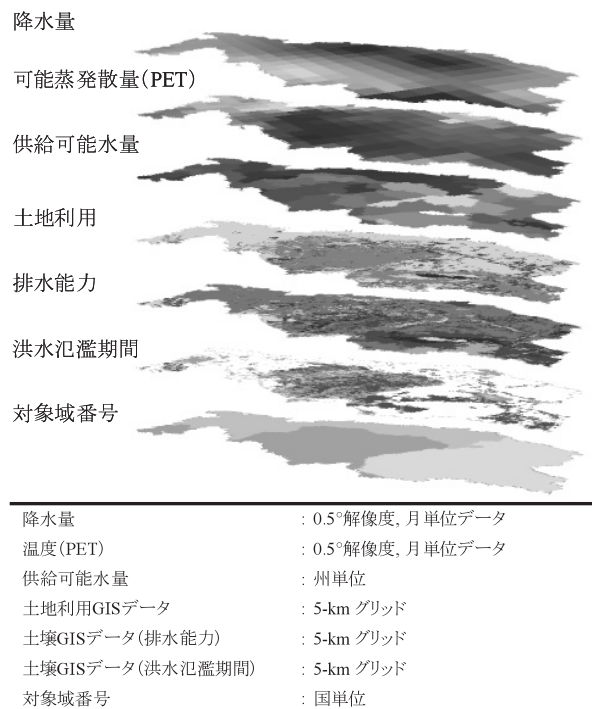
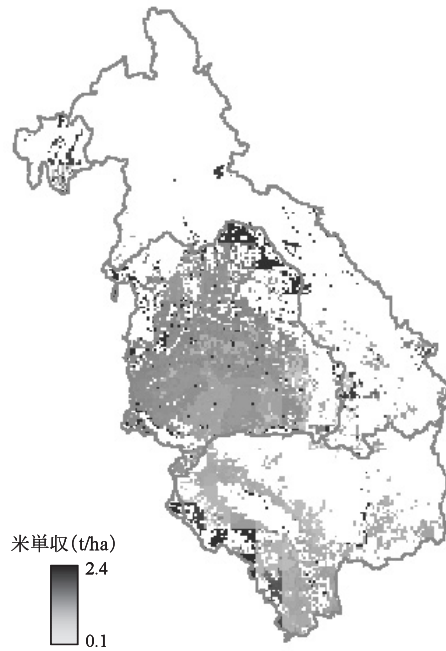


Fig.15 各種入力データ
Outline of input data

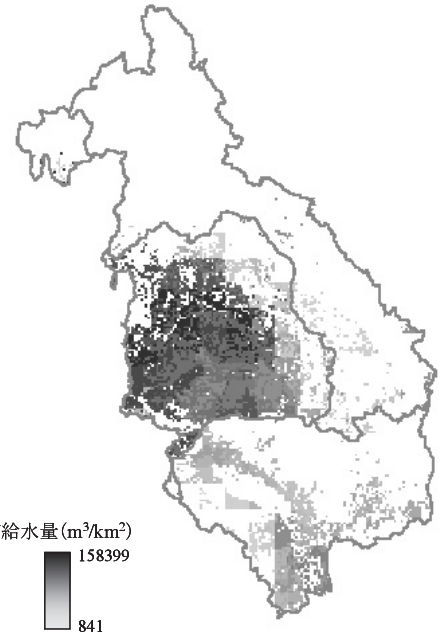
その結果、推定米生産量と実米生産量との誤差がすべて18%以下となり、おおむね良い結果となった。加えて米生産量の分布が把握できた(Fig.16)。この図によって3カ国の中でタイが最も米を生産していることやカンボディアのトンレサップ湖周辺およびメコン河沿いの水田で水稻栽培が盛んに行われていることが視覚的に把握できる。次に、雨季における水田への補給水量を推定した。米生産量を用いて推定した単位面積あたりの水田への補給水量は、タイが最も多く、ラオスが最も少ないと把握された。加えて補給水量の分布が視覚的に把握され



(例:1995年の分布図)

Fig.16 推定された米生産量分布
(ラオス、東北タイ、カンボディア)

Output of estimated rice yield



(例:1995年の分布図)

Fig.17 推定された補給水量分布
(ラオス、東北タイ、カンボディア)

Output of estimated water supply

(Fig.17), 特にタイの部分が他国に比べて大きな補給水量を示していることがわかる。これは現地調査に基づいて、非灌漑水田へも水が供給される構造になっているので、このような結果になったと考えられる。

以上の方法で連続的に推定した雨季の10年間の補給水量をFig.18に示す。

3 灌漑モデルの開発と考察

メコン流域で利用されている貯水池の多くが存在し、また貯水池運用が灌漑及び流域水循環に与える影響が大きい東北タイにおいて貯水量が100万m³以上の229貯水池それぞれについて、貯水池運用を考慮した灌漑モデルを作成した(堀川, 2005; Horikawa, 2006)。その際に必要となる有効貯水量、灌漑可能面積、流域面積、建設年、位置、水路容量は、それぞれの貯水池の基礎資料を収集または独自に推定した。作期や送水効率等に関しては、各貯水池共通の値を使用した。

さらに、貯水池掛かりの乾季灌漑面積は固定せず、乾季始めの貯水量に応じて水田灌漑面積、畑地灌漑面積が決定されるとした。灌漑モデルを使って10日単位で1981年から2000年の20年間について各貯水量と放流

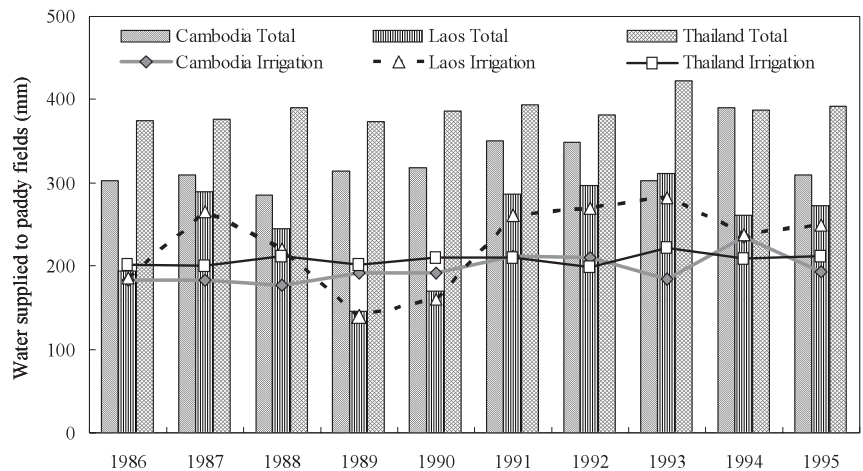


Fig.18 雨季における水田での補給水量と灌漑水量の変動

Change of water requirement and irrigated water in paddies during wet seasons

量を推定した。229貯水池の総貯水量の変動を大規模(貯水量1億m³以上)とそれ以外の中規模貯水池に分けてFig.19に示す。

次に、考えられる農業取水による流域への影響としては、貯水池による貯水量増加と農業取水による流量の減少及び灌漑地区からの河川還元による流量増加がある。229個の貯水池について、その貯水池掛かりの灌漑地区が河川流量に与える影響の総計をFig.20に示す。

ただし、このモデルでは取水係数及び消費係数というパラメータを使用する。取水係数を推定するにあたり、大規模灌漑地区であるNongWaiとDomNoi地区の取水

量を含む灌漑関係データを収集し、用水管理の特性について検討した。乾季の灌漑期について計算された圃場必要水量と実測取水水量を比較し、各年について取水係数を求めた。取水係数は当初のモデルでは東北タイの灌漑計画を参考として、取水係数は灌漑効率の逆数であることから中規模灌漑地区では1.5を用いたが大規模灌漑地区では約2.0とするのが適当と考えられた。

また、本モデルでは河川還元量を算出することができる。還元量は取水量から地区内消費量を差し引いて求める。地区内で消費される水量は、圃場での蒸発散及び深部浸透に加え、圃場近辺及び水路などにおける蒸発・蒸発散量が含まれている。圃場における消費水量は推定できるが地区内全体の消費水量は簡単には推定しがたい。このため、地区内消費水量は圃場消費水量に消費係数を乗じて求める。例として、Mun-Chi 流域で乾季にあたる2月について月水収支を検討し、消費水量の係数を約1.3と推定した。しかし、この値については計算値にばらつきが大きいので今後継続して検討する必要がある。

一方、メコン流域タイ部では乾季の灌漑面積は乾季初頭の貯水量により毎年変化する。本モデルでは各灌漑地区において貯水量を算出し、これにより乾季灌漑面積（水田及び畑地）を推定する。一方、非灌漑地区においても乾季水田作付けが存在するが、これらについて検討したところ、その多くは灌漑地区の貯水放流の地区外利用を行っている」と推定された。

このため、乾季水田については非灌漑地区も含めて作付け面積を推定するようにモデルを拡張した。その結果得られた1981年から2000年までのタイ東北部の乾季水田灌漑面積の計算値と実測値を Fig.21 に示す。

4 データ解析とモデル出力

上述した2つのモデルを検査・適用する前に、まず収集したデータの整理解析を行った。流域全域で共通して長期間にわたって入手できた資料は降水量データ、各種GISデータ、農業統計データ等であった。これら収集したデータを利用しやすい形式へ変換し、各国州県別に平均降水量と単位収量から灌漑水量の地域的分

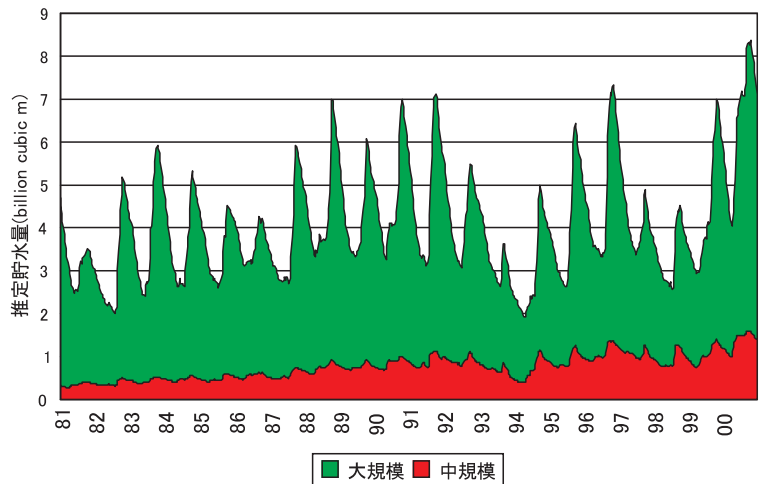


Fig.19 モデルを用いた総貯水量の変動
Variation of total dam storage estimated by the model

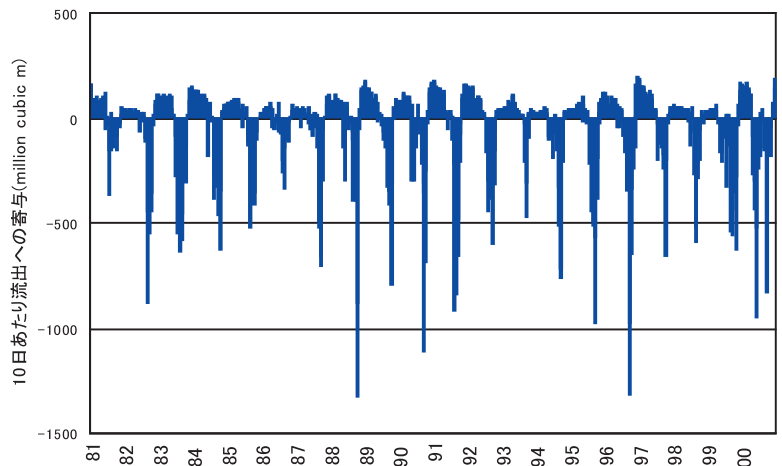


Fig.20 灌漑地区が河川流況に与える影響の度合い
Contribution of effects of water use in irrigated areas by dams on river flows

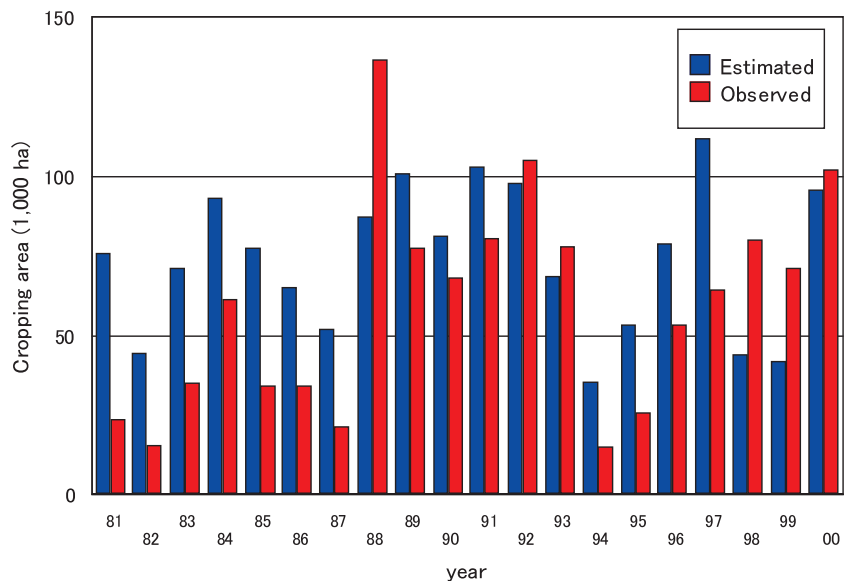


Fig.21 タイ東北部の乾季水田灌漑面積の計算値と実測値
Estimated and observed irrigation areas during the dry seasons in Northeast Thailand

布および変動傾向を推定した。

検討期間はタイが1986-2000年、ラオスが1976-2002年、カンボディアが1995-2001年である。降水量は州ならびに県別の平均値を用い、州や県にデータが存在しない年や欠測の多い年については、等雨量線図などを利用して作成した平均雨量を代入した。さらに、土地利用データを用いてメコン河下流域の全体図を作成した。

なお、GISデータは1992年のものを用い、例えばFig.18はラオス、タイについては1992年の推定灌漑水量を入力し、カンボディアについては州別の稲作関連データが存在しないため、1996年の灌漑水量を入力した。

最後に、両モデルの出力を結合して1981年から2000年までのタイならびにラオスの0.1度メッシュ毎の取水量分布等を作成した。

さらに、丹治らにより、水価の検討(バーチャルウォーター)(Tanji, 2003; tanji et al., 2003a)、農民参加型灌漑管理(Tanji et al., 2003b)、魚類収穫と経済性(Tanji, 2004ab)、洪水リスク(丹治ら, 2004b)、米の需給問題(丹治, 2004a; 2006abc)などについても検討が行われている。

VI 流域の開発レベルが農地氾濫と灌漑に及ぼす影響評価モデルの開発

1 研究目的と方法の概要

流域の中では様々な水田耕作ならびに灌漑排水形態が形成されている。その中で、各種水文データの不足(Masumoto, 2002; 増本ら, 2004)から具体的な実態が明らかにされていない灌漑形態、すなわち氾濫湛水と灌漑が表裏一体となった水循環過程に焦点をあてて、そのモデル化を行う。さらに、①(Ⅲ章)、②(Ⅳ章)、③(Ⅴ章)の歴史的洪水データ、土地利用変化、農業取水可能量等に関する課題からの情報を基礎に流域の開発レベルと水循環の関係を明らかにして、人為的農業活動や開発が流域水循環に及ぼす影響を評価するためのモデルを開発する。

ここでは、全流域の灌漑方式の分布の違いを明らかにするとともに、天水・灌漑と氾濫地域を中心とする地域の水循環における氾濫モデルと灌漑排水モデルの統合を目指す。同時に、衛星データを利用した氾濫湛水域や水稲稲作期間の推定手法を開発する。研究の遂行にあたっては、現地各機関(メコン河委員会(MRC)、ベトナム:南部水文気象センター、水資源計画管理研究所、タイ:王室灌漑局、エネルギー開発促進局、ラオス:農林水産省灌漑局・気象水文局、カンボディア:水資源気象省水文河川局・灌漑局等)等の水文・灌漑部局との関係を最大限利用して、現地調査、現地観測、データの収集を行う。

まず、現地調査を行い、関連情報(衛星データ、水文、水利用データ等)を収集するとともに、2000年洪水の結果(Masumoto, 2000; 増本, 2001)の再整理を行う。

次段階として、プノンペン市北部氾濫貯水域、トンレサップ湖および周辺域全域、周辺灌漑域を対象に氾濫湛水と灌漑形態のモデル化を行う。同時に、関連課題への氾濫・水利用データの提供を行う。さらに、氾濫・灌漑相互作用モデルの提示を行い、過去・将来の発生データを用いた影響度評価を実施する。

2 氾濫湛水と灌漑形態のモデル化

開発した水循環モデル(Masumoto, 2004; 2006; 増本, 2004; shimizuet et al., 2005ab; 2006b)は、0.1°メッシュの分布型流出モデルであり、メッシュに分割したメコン河流域(6,926メッシュ)の標高から流向を求め、それをもとに最上流から最下流メッシュまでの逐次計算を行った。各メッシュの土地利用は灌漑農地(Fig.22参照)、天水農地、森林、市街地(その他)、水域に分類した面積割合で表し、農地については、Table 4の分類毎(shimizu & Masumoto, 2004ab; 清水・増本; 2006)の水利用解析を組み込んでいる。メッシュ内では、作付時期・作付面積推定モデル、農地水利用モデル、流出モデルにより各諸量が算定される。水循環モデルを用いて算定した結果として、年間の可能蒸発散量と流出モデルの計算により算定された実蒸発散量の積算値の比較図をFig.23に示す。

次に、氾濫湛水に関わる水利用は、コルマタージュ(灌漑)と洪水(非灌漑)を利用したもので、カンボディアに集中しているが、水田と洪水氾濫との関係を定量的に解析した。特に、その中の洪水を用いた農業水利用については、FEMによる氾濫湛水と灌漑形態のモデル化(トンレサップ湖および周辺域全域、周辺灌漑域)を行い

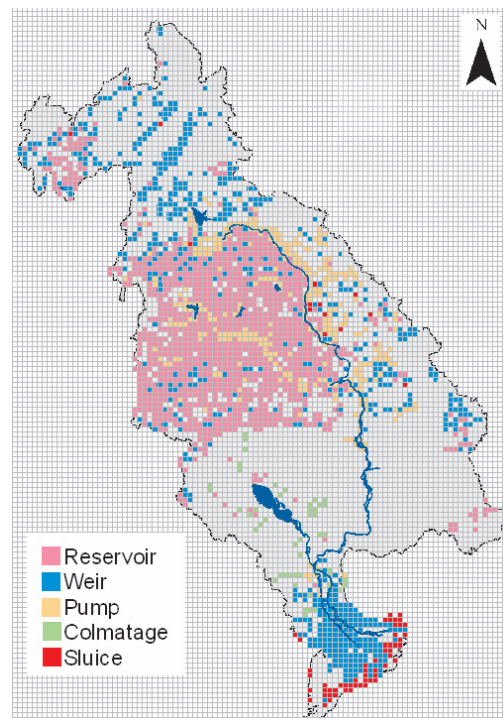


Fig.22 灌漑施設による分類(メコン河下流域)
Classification of water use type by irrigation facilities

Table 4 農地の水利用による分類
Category of agricultural lands by different water use

		分類	農地	
			水田	畑
水 利 用	灌 溉	河川(重力) 河川(ポンプ) 貯水池 コルマタージュ 干潮灌漑	灌漑施設に より分類	
		地下 井戸		
	非 灌 溉	地表水 降雨依存 雨水貯留 洪水	地形 標高 により 分類	

(Pham et al., 2004; 2006ab), 2000年(洪水年)に加えて2003年(渇水年)の解析を行った(Fig.24)。ここで、解析の途中で、本川(メコン河、バサック川、トンレサップ川)の河道標高について Geographic Atlas を元にした正確な河川断面の挿入と氾濫域における道路ならびに河川橋の組み込みを行った。さらに、1996～2003年の連続計算を行って、日単位メッシュデータの作成を行った。ただし、長期解析のためのトンレサップ湖と氾濫域の浸透量、蒸発散量の組み入れに関しては、浸透量はゼロと仮定し、蒸発散量と降雨量はそれぞれ上記水循環モデルによる推定値と実測値を利用した。また、水管理の効果については、送水効率などのパラメータとして取り込むことになる(Rowshon et al., 2006)。

さらに、洪水が農業生産に及ぼす影響を調べるために、

FEMの2000年と2003年の計算結果を使って、水田上氾濫量を算定し、評価を行った(1999～2001年の値を使った計算結果(Masumoto et al., 2004)と同様の結果となった)(Pham et al., 2005; 2006cd)。また、トンレサップ湖畔の小堰堤・ため池の貯水容量の算出(Fig.25)を行い、水田が洪水を貯める機能との比較検討を行った。その結果、水田は全氾濫量の約20%を貯留しており、同時に洪水規模の大小にかかわらずコルマタージュ域やトンレサップ湖岸域、さらに下流ベトナムでの水稻栽培に大きく役立っていることが明らかになった。一方で、トンレサップ湖畔の小堰堤・ため池の貯水容量は全氾濫量の0.21～0.29%の貯留効果しかなく、さらにトンレサップ湖周り全てに同様な堤防を仮定しても全氾濫量に対して1.2～1.67%程度の効果にしかならないことが分かった。

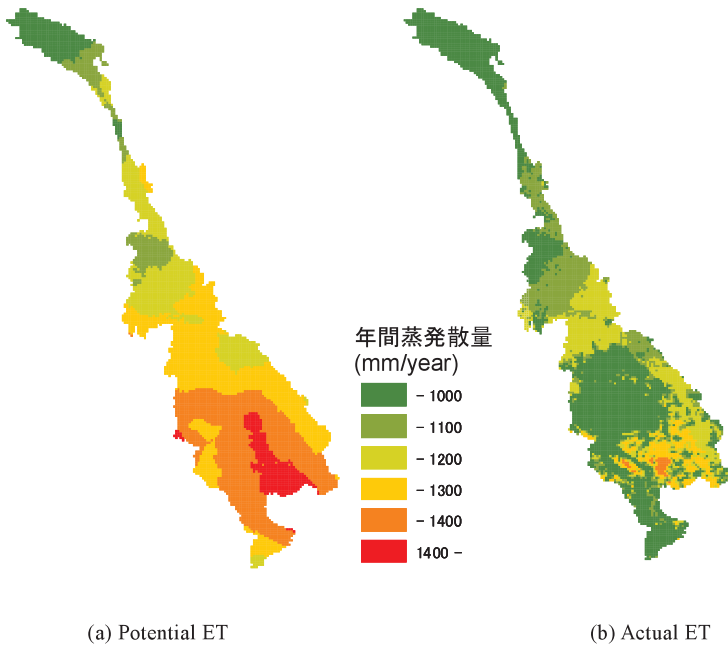


Fig.23 メコン河流域の年間の基準蒸発散量とモデルを通した実蒸発散量との比較(1999年, mm/y)
Comparison of potential and actual ET in 1999

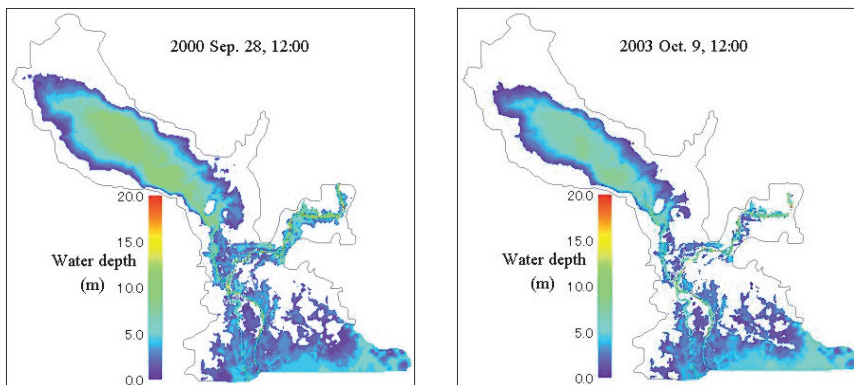


Fig.24 FEMモデルによる氾濫再現結果(カンボディア低平域)
(2000年(洪水年)と2003年(渇水年)の最大氾濫域の比較)
Estimated results of inundation process by a FEM model

3 現況の湛水域分布と営農パターンの把握

湛水域の把握にはマイクロ波放射後方散乱成分を感知する全天候観測可能なRADARSATデータを用いた。しかし、湛水域に植物が生息しているため、陸域と誤認識された。そこで、水域は陸域と比較し温度が低く、植生の影響も少ないことを利用して、湛水域推定の補正を行った(中西ら, 2003b; 力丸ら; 2004)。特に、

RADARSAT データと MODIS-LST データとの組み合わせ手法を検討し、前述した昼夜の温度差を考慮した湛水・湿潤域の抽出を試みた。その結果、RADARSAT データの湛水域情報を元に閾値を調べた結果は Fig.26 のようになり、縦軸は昼夜の差分データ、横軸は昼間のデータである。雨季と乾季では平均昼夜温度差に大きな差が見られたため、別々に算出を行った。以上の関係から雨季・乾季それぞれの閾値を算出した結果、雨季 6.5°C、乾季 8.8°C となった。また、雨季の湛水、湿潤域分布図は Fig.27 のように得られ、現地調査情報（3 地区）を元に土地被覆・土地利用図の検証を行い、実際の土地被覆との整合性が高いことならびに湛水域を精度良く抽出できることを確認した。

Ⅶ 結 言

農業水利用に焦点を絞り、過去の流域水循環関連情報を復元するための水利用変化予測モデルを構築し、過去の水資源の変動の実態に関するデータセットを作成した。また、これまで得られているデータを組み合わせ、アジアモンスーン地帯の自然、農業活動の変動を反映した水利用の素過程をモデル化することができた。その過程では、同時に実施した現地観測や現地調査の結果やデータを利用して、上記のモデルの検証や将来の変化予測を行った。得られた結果を要約すると以下ようになる。

- 1) 氾濫原地域の微地形分布図は、プノンペンを中心としてトンレサップ川沿いにコンボンチュナン付近まで、メコン河沿いはコンボンチャムからベトナム国境付近まで作成した。過去 20 年間の氾濫域に関しては、衛星画像より氾濫規模と微地形条件との関係があることを確認した。これらを踏まえ、洪水の挙動との微地形との関係に基づき、土地利用・水利用の特色をまとめた。
- 2) 衛星データ等を用い、農地を中心として水利用を考慮した土地利用分類図を作成した。現地調査により作物作付け状況や水利用の実態を把握するとともに、MODIS/TERRA データなどを用いた広域の土地利用現況図を作成した。とくに、年間の植被率の変動から土地被覆・土地利用を決定した。
- 3) 補給水量モデル及び灌漑モデルの開発を行い、流域全域において過去 20 年間について補給水量、取水量、消費水量、灌漑地区においては還元水量、畑及び水田灌漑面積、貯水量を推定した。
- 4) メコン河流域内の農業水利用の分類を行い、それを非灌漑（天水、雨水貯留、洪水）、灌漑（河川〔重力〕、ポンプ、貯水池、コルマタージュ、塩水遡上管理）に分類し、灌漑水利用のメッシュ分類図を作成とそれを組み込んだ農業水利用量を推定するモデルを作成した。さら

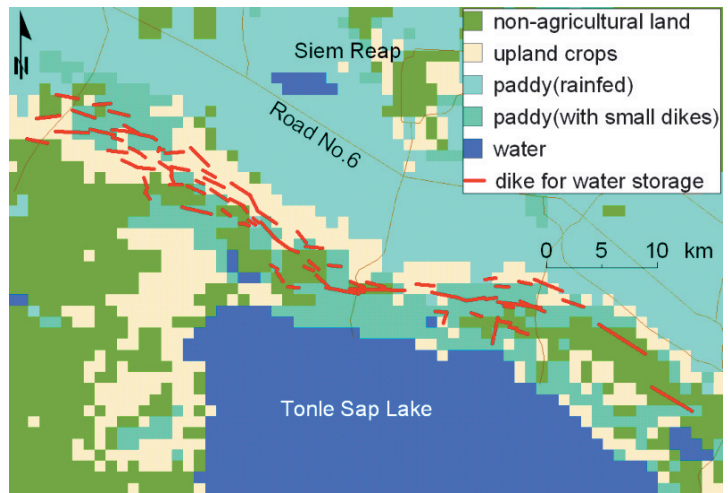


Fig.25 氾濫水を貯留する堰堤や道路の評価

Evaluation of dikes and roads for storing flooded water

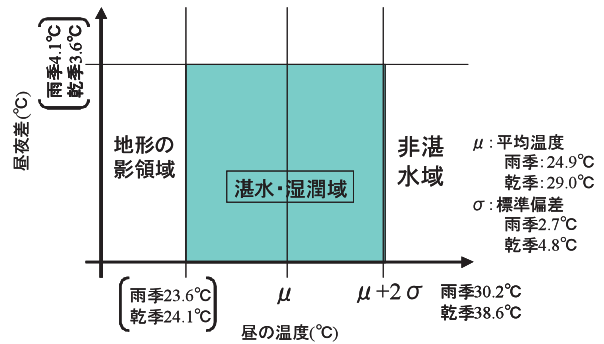


Fig.26 雑音除去による雨季の湛水湿潤域分布推定法

Estimation methods of inundated area by removing noise

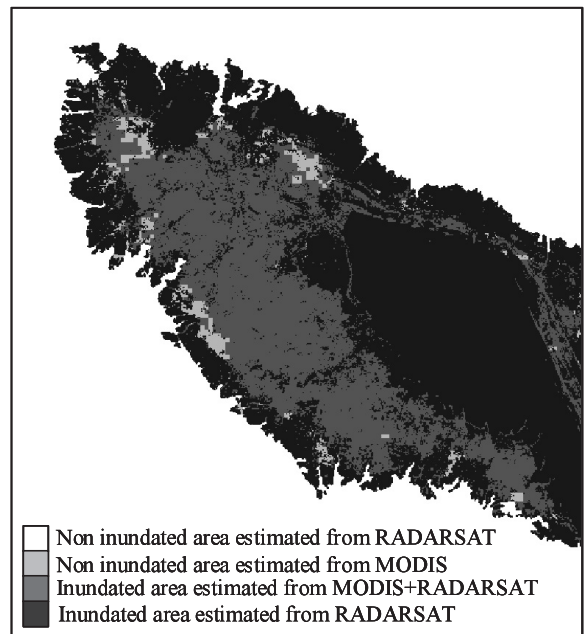


Fig.27 雨季の湛水・氾濫域分布図（トンレサップ湖周辺）

Inundated and flooded area in the rainy season

に、その中の洪水を用いた農業水利用については、FEMによる氾濫湛水と灌漑形態のモデルを開発し、2000年（洪水年）に加えて2003年（渇水年）の解析を行った。同時に、氾濫域における道路ならびに河川橋の組み込みを行った。1996～2003年の連続計算を行って、日単位水位メッシュデータの作成を行った。

5) 洪水が農業生産に及ぼす影響を調べるために、FEMの2000年と2003年の計算結果を使って、水田上の氾濫量の算定と評価を行った。同時に、トンレサップ湖畔の小堰堤・ため池の貯水容量の算出を行い、水田が洪水をためる機能との比較検討を行った。

6) 洪水対応時期のMODIS衛星データを併用して、昼夜の温度分布特性を解析し、湖面および湛水面の温度分布特性との類似性を評価するとともに、MODISデータの水温情報を用いた湛水域分布推定方法を提案した。

なお、以上で得られた結果は、著者らのそれぞれの担当分野で検討し、しかもオリジナリティーが高い最新の成果を集大成したものであるが、個々の成果の詳細に関しては、参考文献の中の詳細な論述を参考にされたい。

参考文献

- 1) Navuth, C. and Kubo, S. (2003): Traditional water usage in central part of Cambodia, The case of Sambo Village, Kampong Thom province, Proceedings of First International Conference on Hydrology and Water Resources in Asia Pacific Region, Kyoto, Mar.2003, Vol.1, 209-215
- 2) 蛭田貴昭・力丸 厚・高橋一義 (2006) : MODIS 温度観測情報等によるメコン河流域農地水利状態の把握, 第24回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会論文集, 370-373 (平成18年11月21日, 朱鷺メッセ)
- 3) 堀 博 (1996) : メコン河 - 開発と環境 -, 296-299, 古今書院
- 4) 堀川直紀 (2005) : タイにおける農業開発による水収支の変化—Mun Chi 流域の乾期消費水量—, 応用水文, 18, 1-6
- 5) Horikawa, N. (2006) : Estimation of irrigated area, return flow, and reservoir storage by an irrigation water demand model in Northeast Thailand, Proc. of International conference on Mekong research for the people of the Mekong, 110-114
- 6) 福本昌人・島武男・小川茂男 (2003) : IKONOS 衛星データを用いた水田利用タイプの判別精度, システム農学, 80-85
- 7) 古城 泰・久保純子 (2002) : カンボジア中部, ソンポーブレイクック遺跡 (7世紀) の調査 (1998・1999年度調査より), 早稲田大学大学院教育学研究科紀要, No.13, 15-31
- 8) JICA (2003) : The Study on Hydro-Meteorological Monitoring for Water Quantity Rules in Mekong River Basin, Interim Report Vol.1, II-1-4
- 9) 角山智美・力丸 厚・向井幸男・高橋一義 (2002) : TM 画像解析による森林樹冠密度分布と林齢情報の比較検討, 日本写真測量学会 平成14年度秋季学術講演会, 大阪
- 10) Kubo, S. (2001) : Geomorphological features around "Quatre Bras" (Phnom Penh and its environs) in the Lower Mekong River Plain and an extreme flood in 2000 --a preliminary study, Abstracts, 5th International Conference on Geomorphology, Tokyo, 地形, 22 (4), C-133
- 11) 久保純子 (2002) : メコン川下流平野, プノンペン周辺の地形と2000年洪水, 日本地理学会2002年春季学術大会, 東京, 日本地理学会発表要旨集, No.61, p.252
- 12) Kubo, S. (2002) : Geomorphological features of the Thu Bon River Plain, central Vietnam, and their relations on flood hazards in 1999, 早稲田大学教育学部学術研究 --- 地理学・歴史学・社会科学編 ---, 50号, 1-12
- 13) 久保純子 (2003) : メコン川下流平野 (カンボジア, プノンペン周辺) の地形と表層地質, 日本地理学会2003年春季学術大会, 東京, 日本地理学会発表要旨集, No. 63, p.107
- 14) Kubo, S. (2003a) : Geomorphological features and flood characters around Phnom Penh, lower Mekong river plain. Proceedings of the First International Conference on Hydrology and Water Resources in Asia Pacific Region, Kyoto, Vol.2, 692-696
- 15) Kubo, S. (2003b) : The lower Mekong River Plain in Cambodia: Landforms and deposits. Abstracts, XVI INQUA Congress, Reno, Nevada, USA, p.82
- 16) 久保純子 (2004) : メコン川下流 (カンボジア) の地形と洪水災害に関する研究, 平成13～15年度科学研究費補助金 (基盤研究 (B) (2)) 研究成果報告書, 83p.
- 17) Kubo, S. (2004a) : Geomorphological features, flood characters, land-use and water-use in the lower Mekong Plain in Cambodia. Proc. of the International Conference on Advances in Integrated Mekong River Management, Vientiane, Laos, 201-205
- 18) Kubo, S. (2004b) : Geomorphological features, flood characters and water-use in the lower Mekong Plain, Cambodia. Abstracts of the International Conference on Environmental Hazards and Geomorphology in Monsoon Asia: Progress in Process Study and GIS Mapping, Hat Yai, Thailand, p.53
- 19) 久保純子 (2005) : メコン川下流域の地形と水利用, 日本地理学連合秋季学術大会, 名古屋, 2005年9月, 地形, 27, p.106
- 20) Kubo, S. (2005) : Geomorphological Features, Flood Characters and Water-use in the Lower Mekong Plain in Cambodia, Proceedings of the International Conference "Environmental Hazards and Geomorphology in Monsoon Asia: Progress in Process Study and GIS Mapping", 35-43
- 21) 久保純子 (2006) : メコン川下流平野 (カンボジア) における微地形と洪水特性, 土地利用・水利用の特色, 早稲田大学教育学部 学術研究—地理学・歴史学・社会科学編—, No. 54, 1-9
- 22) Kubo, S. (2006a) : Geomorphological mapping of the Lower Mekong Plain (Cambodia), Abstracts, International Conference on the Mitigation of Natural Disasters in the Tsunami Affected

- Coastal Regions of Tropical Asia, Phuket, Thailand, p.17
- 23) Kubo, S. (2006b): Land, water and land use in the Lower Mekong Plain (Cambodia): Geomorphological integration. Proceedings, International Conference on "Mekong Research for the people of the Mekong", Chiang Rai, Thailand, 309-316
- 24) 久保純子 (2007): 「学生たちとのメコン訪問」, 竹内邦良・福島義宏編『メコンと黄河』学報社, 94-109
- 25) Masumoto, Takao (2000) Preliminary Analysis of the 2000-Flood in the Lower Mekong River Basin, 実践水文システム研究会 2000 年度報告書, 第4号, 103-122
- 26) 増本隆夫 (2001): メコン河流域における 2000 年大洪水, ARDEC, 第21号, 日本農業土木総合研究所, 34-35
- 27) Masumoto, Takao (2002): Strategic Master Scheme for a Hydro-Meteorological Network in the Mekong River Basin, Rural and Environmental Engineering, No.42, 26-35
- 28) Masumoto, Takao, Tomijiro Kubota, Shuh Matsuda (2002a): An Integrated Approach to Use Multi-functional Roles of Paddies in Basin-wide Flood and Water-use Management, Electric Transactions of the 18th International Congress on Irrigation and Drainage (ICID), A51R12.07, 1-16
- 29) Masumoto, Takao, Tomijiro Kubota, Shuh Matsuda (2002b): Changes of Watershed Management against Floods in International Rivers, Flood Defence '2002, Wu et al. (Eds.), Science Press, 416-424
- 30) Masumoto, Takao (2003a): Multi-functional Roles of Paddy Irrigation in Monsoon Asia, Proceedings of The 3rd World Water Forum (WWF3), "Agriculture, Food and Water: Historical Perspective on Water Communities in Asia Monsoon Regions", S1-8-1 - S1-8-12
- 31) Masumoto, Takao (2003b): Impact on Flood Variability on Sustainable Water Use in Monsoon Asia, The 10th U.S.-Japan Workshop on Global Climate Change "Climate and Water", January, 2003, CA in USA
- 32) Masumoto, Takao (2003c): Flood Prevention Function of Paddies in Monsoon Asia, Proceedings of Japan/OECD Expert Meeting on Land Conservation Indicators, 1-8
- 33) Masumoto, Takao (2003d): Indices to Evaluate Flood Prevention Function of Paddies, Proceedings of Japan/OECD Expert Meeting on Land Conservation Indicators, 9-14
- 34) Masumoto, Takao, Katsuyuki Shimizu, and Pham Thanh Hai (2003): Roles of Floods for Agricultural Production in and around Tonle Sap Lake and its Vicinities, Proceedings of International conference "Research on Water in Agricultural Production in Asia in the 21st Century", 1-11
- 35) 増本隆夫 (2004a): モンスーンアジア水田灌漑の多面的機能, 農業土木学会誌, 72 (7), 11-16
- 36) 増本隆夫 (2004b): メコン河における水循環変動研究が目指すもの, 第25回国際問題シンポジウム「水田農業を巡るアジアのパートナーシップ-国際コメ年に農業土木は何が出来るか-」, 農業土木学会, 39-49
- 37) 増本隆夫・ファムティンハイ (2004): メコン川流域における水文気象観測網の開発状況と将来展望, 農業土木学会誌, 72 (2), 17-21
- 38) Masumoto T. (2004): Constraints on Food Production and Perspective for Solution: Water Resources, Proceedings of the 10th Japan International Research Center for Agricultural Science International Symposium on Prospects for Food Security and Agricultural Sustainability in Developing Regions, 63-72
- 39) Masumoto, Takao, Katsuyuki Shimizu, and Pham Thanh Hai (2004a): Roles of Floods for Agricultural Production in and around Tonle Sap Lake and its Vicinities, "Water in Agriculture" ACIAR Proceedings, No.116, 136-146
- 40) Masumoto T, Pham TH and Shimizu K (2004b): Impact of paddy irrigation levels on floods and water use in the Mekong River Basin, International Conference on Advances in Integrated Mekong River Management, 158-165
- 41) Masumoto, T., Pham T. Hai and K. Shimizu (2005a): Future basin-wide flood management by using the roles of paddies in Monsoon Asia, Floods, from Defense to Management, Van Alphen, van Beek and Taal (eds), 881-887
- 42) Masumoto Takao, Pham Thanh Hai and Katsuyuki Shimizu (2005b): Harmonizing the agricultural and flood protection roles of paddy fields, ICID Conference, Beijing, China, Vol. 1B, 6-8
- 43) Masumoto, Takao, Pham Thanh Hai and Katsuyuki Shimizu (2005c): Typical Examples of Flood Prevention role in Low-lying Paddies and its Usage on Harmonious Basin-wide Water Management, 2005 International Conference on Paddy and Water Environment, Nov. 17-19, 2005, Taipei, TAIWAN, R.O.C., 61-70
- 44) Masumoto, Takao (2006): Assessment of changes in water cycles on food production and alternative scenarios, Proceedings of the International Conference on "Mekong Research for the People of the Mekong", Chiang Rai, 17-25
- 45) Masumoto, Takao, Pham Thanh Hai and Katsuyuki Shimizu (2006a): Impact of Paddy Irrigation Levels on Floods and Water Use in the Mekong River Basin, Hydrological Processes (Accepted)
- 46) Masumoto, T., T. Yoshida and T. Kubota (2006b): An index for evaluating flood-prevention function of paddies, Paddy Water Environ, 4 (4), 205-210
- 47) 増本隆夫・辻本久美子・宗村広昭 (2007): トンレサップ湖畔と周辺都市・水田域における総合水文気象観測とデータ解析, 農村工学研究所技報, 206, 219-236
- 48) Matsuno, Y., K. Nakamura, T. Masumoto, H. Matsui, T. Kato and Y. Sato (2006): Prospects for Multifunctionality of Paddy Rice Cultivation in Japan and other Countries in Monsoon Asia, Paddy Water Environ, 4 (4), 189-197
- 49) Mekong River Commission (2000): Water Utilization Program-Project Implementation Program, Annex A.
- 50) Mekong River Commission (2001): Strategic Master Scheme for Hydro-Meteorological Network in the Mekong River Basin,

1-140

- 51) MRC (2002): Chaktomuk Area-Environment, Hydraulics and Morphology (Phase 1) -, Final Report, 2-1—22-52
- 52) MRC and JICA (2002): The Study on Hydro-Meteorological Monitoring for Water Quantity Rules in Mekong River Basin, Working Paper II-II, 1-25
- 53) Mekong River Commission, WUP-FIN (2002): Water Utilization Program - Modelling of the flow regime and water quality of the Tonle Sap. Data collection report. Finnish Environment Institute <http://www.eia.fi/wup-fin/>, 2006/1/9
- 54) Mekong River Commission (2003a): Progress Report 2002 and Workplan 2003, Water Utilization Program Start-up Project, 7-8
- 55) Mekong River Commission (2003b): Consolidation of Hydro-Meteorological Data and Multi-functional Hydrologic Roles of Tonle Sap Lake and its Vicinities (Basinwide), Draft Final Report, 2003
- 56) MRC (2003c): Consolidation of Hydro-Meteorological Data and Multi-functional Hydrologic Role of Tonle Sap Lake and its Vicinities (Basinwide), Final Report
- 57) Mekong River Commission, Japan International Cooperation Agency (2004): The study on hydro-meteorological monitoring for water quantity rules in Mekong River basin. Final report 3. Summary, CTI Engineering International Co., Ltd, Nippon Koei Co., Ltd
- 58) 長澤剛太・力丸 厚・向井幸男・高橋一義 (2004a): 気象衛星データを利用した土地被覆別の昼夜温度差解析, 土木学会関東支部新潟会研究調査発表会, 303-304
- 59) 長澤剛太・力丸 厚・向井幸男・高橋一義 (2004b): NOAA/AVHRR データを利用した農地の温度勾配解析, 日本リモートセンシング学会, 第37回学術講演会, 35-36
- 60) Nagumo, N. and Kubo, S. (2006): Geomorphological Survey of Sambor Prei Kuk Archeological Site (7th Century), Central Cambodia, Abstracts, Joint International Symposium on "Environmental Changes and Earth Surface Processes in Semi-arid and Temperate Areas", June 11, Ulaanbaatar, Mongolia, p.60
- 61) 中西芳彦・力丸 厚・高橋一義・向井幸男 (2003a): インドシナ地区における農地作付条件を考慮した土地利用経年変化の抽出, 日本写真測量学会年秋季学術講演会発表論文集, 京都市 2003.10, 129-130
- 62) 中西芳彦・力丸 厚・増本隆夫・高橋一義・向井幸男 (2003b): RADASAT と MODIS-LST 画像を用いた広域湛水図作成における植生影響の除去, 第35回学術講演会論文集, (社)リモートセンシング学会, 2003年11月, 167-168
- 63) 中西芳彦・力丸 厚・高橋一義・向井幸男 (2004): メコン河下流域における雨季・乾季を考慮した現況農地分類と湛水分布の把握, 写真測量学会平成16年度年次学術講演会, 263-264
- 64) 新垣博之・力丸 厚・向井幸男・高橋一義 (2002): TRMM PR と NOAA GVI を用いた同規模河川流域における水資源特性の比較検討, 日本写真測量学会平成14年度秋季学術講演会, 大阪
- 65) 西 紘史・力丸 厚・向井幸男・高橋一義 (2004a): MODIS データを用いたメコン河流域における農地の昼夜温度差解析, 土木学会関東支部新潟会研究調査発表会, 305-306
- 66) 西 紘史・力丸 厚・高橋一義・向井幸男 (2004b): MODIS データの昼夜温度差解析を用いたインドシナ半島における農地の利水状況推定, 日本リモートセンシング学会, 第37回学術講演会, 5-6
- 67) 小川茂男・増本隆夫・丹治 肇 (2003a): インドシナ半島における洪水および水管理, システム農学会誌, 19 (3), 38-45
- 68) 小川茂男ら (2003b): 衛星データを用いた水田水入れ時期のモニタリング—尾張西部地区を事例として—, 日本リモートセンシング学会誌, 23 (5), 497-504
- 69) Ogawa, Shigeo, Atsushi Rikimaru, Takao Masumoto, Hajime Tanji, and Manithaphone Maharaxay (2004a): Land use and water management of agriculture in Mekong River Basin, International Symposium on Food Production and Environmental Conservation in the Face of Global Environmental Deterioration, SP-3
- 70) Ogawa, Shigeo, Atsushi Rikimaru, Manithaphone Maharaxay (2004b): Verification of Water Use and Cropping Pattern based on Satellite Images and Field Survey, International Conference on Advances in Integrated Mekong River Management, 89-94
- 71) 小川茂男・吉迫 宏・島 武男・力丸 厚 (2005): 多時期衛星データによる東北タイの農地利用状況の広域把握, システム農学会, 第21巻別号1, 34-35
- 72) Ogawa, S., C. Ogura, H. Yoshisako and T. Shima (2005): Making a Land Use Map and Estimation of Agricultural Biomass Distribution in Northeast Thailand, ALU1-2
- 73) 小川茂男, 力丸 厚, 中西芳彦 (2006a): リモートセンシングによるメコン川・チャオプラヤデルタの土地被覆解析, 地形, 第27巻第2号, 221-233
- 74) 小川茂男・小倉 力・吉迫 宏・島 武男 (2006b): 多時期衛星データによる東北タイの作付作物分類 (2), システム農学会第22巻別号2, 58-59
- 75) Ogawa S. and Rikimaru A. (2006a): LAND USE AND WATER MANAGEMENT OF AGRICULTURE USING SATELLITE IMAGES, Mekong Research for the People of the Mekong, 288-293
- 76) Ogawa S., Rikimaru A., Yoshisako H., Shima T. (2006b): Land use of agriculture area in Mekong River Basin and Chao Phraya Delta, The 27th Asian Conference on Remote Sensing, pp.L-4-1.
- 77) Pham TH, Masumoto T. and Shimizu K (2004): Development of a 2D-FEM Simulation Model for Flood Flows in Tonle Sap Lake and its Environs, International Conference on Advances in Integrated Mekong River Management, 339-346
- 78) Pham Thanh Hai, Masumoto Takao and Shimizu Katsuyuki (2005): Assessment of Flood Prevention Function of Paddies in Low-lying Areas by a 2D-FEM Model, International

- Conference on "Management of Paddy and Water Environment for Sustainable Rice Production", PAWEES 2005 International Conference, Kyoto, Japan, 57-64
- 79) Pham, T. Hai, T. Masumoto and K. Shimizu (2006a): Modeling of Floodplain Inundation Process in Low-lying Areas, *Advances in Geosciences*, Vol.4, World Scientific Publishing (in press)
- 80) Pham, Thanh Hai, Takao Masumoto and Katsuyuki Shimizu (2006b): Development of a Two-dimensional Finite-Element Model for Inundation Processes in the Tonle Sap and its Environs, *Hydrological Processes* (Accepted)
- 81) Pham Thanh Hai, Masumoto, T., and Shimizu, K. (2006c): Evaluation of Flood Regulation Role of Paddies in the Lower Mekong River Basin Using A 2D Flood Simulation Model. *Journal of Hydraulic Engineering, JSCE*, Vol.50, 73-78
- 82) Pham Thanh Hai, Takao Masumoto and Rowshon Kamal (2006d): A 2D Flood Simulation and its Application for Evaluating flood Prevention Roles of Paddies in Cambodian Floodplains, *Proceedings of the International Conference on "Mekong Research for the People of the Mekong"*, Chiang Rai, 214-222
- 83) Rikimaru, Atsushi, Shigeo Ogawa, and Takao Masumoto (2004): Development of Annual Inundation and Cropping Pattern Mapping using Time Series MODIS and RADARSAT Images in Mekong River Basin, *International Conference on Advances in Integrated Mekong River Management*, 53-58
- 84) 力丸 厚・西 紘史・小川茂男・高橋一義(2005) : MODIS データの時系列解析によるメコン河流域の営農パタンの類型化, *日本写真測量学会秋季学術講演会発表論文集*, 2005, 65-66
- 85) Rikimaru, A., H. Nishi, S. Ogawa, T. Masumoto, K. Takahashi (2005): Estimation of the Farmland Water State from Temperature Range Analysis of MODIS LST data in Mekong River Basin, *ALU2-3*.
- 86) Rikimaru, Atsushi, Shigeo Ogata, Takao Masumoto and K. Takahashi (2006): Estimation of a Farmland Irrigation State Using Thermal Gradient Analysis from MODIS LST and Ground Observation Data in Lower Mekong River Basin, *Proceedings of the International Conference on "Mekong Research for the People of the Mekong"*, Chiang Rai, CD-R, 115-118
- 87) Rowshon M.K., Amin. M.S.M. and Masumoto, T. (2006): New Indicators for Characterizing Rice Irrigation Delivery Performance, *Proceedings of the International Conference on "Mekong Research for the People of the Mekong"*, Chiang Rai, 170-176
- 88) 清水克之・増本隆夫・丹治 肇・小川茂男 (2004) : 食料水需給モデルの開発とメコン流域への適用に向けた課題, *農業土木学会誌*, 72 (2), 13-16
- 89) Shimizu K. and Masumoto T. (2004a) : Categorization and mapping of water use for rain-fed and irrigated agriculture in the Mekong River Basin, *International Conference on Advances in Integrated Mekong River Management*, 206-212
- 90) Shimizu K. and Masumoto T. (2004b) : Categorization and modeling of water use for paddies in the Mekong River Basin, *International Workshop on Global-Scale Change in Water Cycles and Food Production, The International Network on Water-Ecosystem in Paddy Fields*, Tokyo, 21-28
- 91) Shimizu Katsuyuki, Masumoto Takao and Pham Thanh Hai (2005a): Development of a distributed water balance model with agricultural water use mechanisms in Monsoon Asia, *PAWEES 2005 International Conference, Kyoto, Japan*, 168-174
- 92) Shimizu Katsuyuki, Masumoto Takao, and Pham Thanh Hai (2005b): Classification and modeling of conjunctive agricultural water-use in Monsoon Asia, *ICID Conference, Beijing, China: Vol. 1A*, 73-75
- 93) 清水克之・増本隆夫 (2006) : メコン川流域における農地水利用の分類とマップ化, *地形*, 第27巻第2号, 235-244
- 94) Shimizu, Katsuyuki, Takao Masumoto and Thanh Hai Pham (2006a): Factors impacting yields in rain-fed paddies of the lower Mekong River Basin, *Paddy Water Environ*, 4 (3), 145-151
- 95) Shimizu, Katsuyuki, Takao Masumoto and Tomoyuki Taniguchi (2006b): Development of a distributed hydrologic model for assessing effects of agricultural water use on water circulation in paddy-dominant basins, *Proceedings of the International Conference on "Mekong Research for the People of the Mekong"*, Chiang Rai, 103-109
- 96) Shimoda, I. and Kubo, S. (2004): Research and use of existing data on Sambor Prei Kuk Monument, Cambodia, *日本地形学連合春季大会, 東京, 地形*, 25, 291-292
- 97) Somura, H., Tanji, H., Yoshida, K., Kiri, H. and Masumoto, T. (2003a): Evaluation of Dike Construction in Cambodia, *Proc. of ICID Asian Regional Workshop (Taipei)*, Vol.1, 401-410
- 98) Somura, H., Tanji, H., Yoshida, K. and Kiri H. (2003b): Flood Risk Evaluation at Phnom Penh after Development and Banking of the Mekong River, *DPRI-IIASA 3rd International Conference*
- 99) Somura, H., Tanji, H., Yoshida, K., Higuchi, K. and Toda, O. (2004a): Irrigated water estimation model to paddy fields using pump sets in Cambodia, *Title of Environmental Hydraulics and Sustainable Water Management (Proc. of the 4th International Symposium on Environmental Hydraulics and the 14th Congress of Asia and Pacific Division, International Association of Hydraulic Engineering and Research)*, J. H. W. Lee and K. M. Lam (Eds.), A. A. Balkema Publishers, Vol. 2, 1981-1987 (ISBN 04-1536-546-5)
- 100) Somura, H., Yoshida, K., Higuchi, K., Toda, O. and Tanji, H. (2004b): Development of Supplementary Water Estimation Model for Paddy Fields in the Lower Mekong Basin, *Proc. of International Conference on "Advances in Integrated Mekong River Management" (Lao PDR)*, 220-227
- 101) Somura, H., Tanji, H., Yoshida, K. and Toda, O. (2004c): Estimation of Irrigated Water to Paddy Fields during Dry Season in Each Province, *LAOS, Proc. of 2nd APHW Conference (Singapore)*, Vol. 1, 553-561

- 102) Somura, H., Tanji, H., Yoshida, K. and Toda, O. (2004d): Model Development for Estimating Irrigated Water in Kandal Province, Cambodia, Proc. of ICID 2nd Asian Regional Conference (Australia), Session 4, Stream 1, 1-10 (CD)
- 103) 宗村広昭・吉田貢士・樋口克宏・戸田 修・丹治 肇 (2005a): メコン川下流域における水田への雨期補給水量推定モデルの構築, 水工学論文集, 49, 235-240
- 104) 宗村広昭・吉田貢士・樋口克宏・戸田 修・丹治 肇 (2005b): 東北タイにおける乾季の非灌漑水田への供給可能水量の推定に関する考察, システム農学, 21 (3), 167-176
- 105) Somura, H., Tanji H., Yoshida K., Toda O., Higuchi K. (2005a): Estimation of supplementary water to paddy fields in the lower Mekong river basin during dry season, Paddy and Water Environment, 3, 177-186
- 106) Somura, H., H.Tanji, K.Yoshida, O.Toda, T.Masumoto (2005b): Estimation of irrigated water to paddy fields under conditions of poor data availability, Cambodia, 水文・水資源学会誌 (J. Japan Soc. Hydrol. & Water Resour.), 18 (1), 22-34
- 107) Somura, H., Yoshida K., Higuchi K. Toda O., Tanji H (2005c): Model development for supplementary water estimation in the Lower Mekong Basin, Proc. Of 19th congress on irrigation and drainage (Beijing), 1-11 (CD)
- 108) Somura, Hiroaki, Koshi Yoshida and Hajime Tanji (2006): Irrigation Water Consumption during the Rainy Season in the Lower Mekong River Basin, The Second International Symposium on Sustainable Development in the Mekong River Basin, Phnom Penh, 93-99
- 109) 高橋一義・力丸 厚・向井幸男 (2002): 農地輪郭情報支援による ASTER 画像からの水稲作付面積高精度推定の検証, 日本写真測量学会 平成 14 年度秋季学術講演会, 大阪
- 110) 高橋一義・力丸 厚・向井幸男 (2003): 二時期 RADARSAT 画像による水稲作付圃場の把握, 第 35 回学術講演会論文集, (社) リモートセンシング学会, 2003 年 11 月, 285-286
- 111) Tanji, Hajime (2003): Good Virtual Water or Bad Virtual Water?, Proceedings of The 3rd Water Forum (WWF3) "agriculture, Food and Water", S2-5-1 ~ 13
- 112) Tanji, Hajime, Hirohide Kiri, Naoki Horikawa (2003a): "General Theory of Virtual Water", is it Possible?, Proceedings of the 1st International Conference on Hydrology and Water Resources in Asian Pacific Region, 1027-1023
- 113) Tanji, Hajime and Takao Masumoto (2003b): Comparison of Farmer Participation for Irrigation Management in Post-Wars in Cambodia and Japan, Proceedings of International Workshop on Participatory Management of Irrigation Systems, Water Utilization Techniques & Hydrology, A Session of the 3rd World Water Forum, Theme: Agriculture, Food & Water, 42-49
- 114) 丹治 肇・多田 稔・宗村広昭・吉田貢士 (2004a): 東南アジアの米の将来需要予測, 農業土木学会誌, 72 (9), 795-797
- 115) 丹治 肇・吉田貢士・蘭 嘉宣・宗村広昭 (2004b): 洪水リスクにおける脆弱性評価の検討, 農業土木学会誌, 72 (5), 381-384
- 116) Tanji, H., Yoshida, K., Higuchi, K., Toda, O. and Somura, H. (2004a): Estimation of Fish Catch of Cambodia in Relation to Population and Flooding Area, Proc. of International Conference on "Advances in Integrated Mekong River Management" (Lao PDR), 169-176
- 117) Tanji, H., Somura, H. and Yoshida, K. (2004b): Evaluation of Fishery effects on Water Resources of the Mekong River Basin in the View of Virtual Water, Proc. of 2nd APHW Conference (Singapore)
- 118) Tanji, Hajime and Shintaro Kobayashi (2006a): Model of Cambodia's Agricultural Production", The Second International Symposium on Sustainable Development in the Mekong River Basin, Phnom Penh, 109-119
- 119) Tanji, Hajime and Shintaro Kobayashi (2006b): Capacities and Scenarios of Irrigation Development in the Lower Mekong River Basin", International Conference of Mekong Research for the People of the Mekong, Phnom Penh, 49-55
- 120) Tanji, Hajime, Shintaro Kobayashi and Wenfeng Huang (2006c): Estimation and Evaluation of Cambodian Irrigated Rice Production in 2020, International Conference of Mekong Research for the People of the Mekong, 519-524
- 121) 寺岡延尉・力丸 厚・向井幸男・高橋一義 (2002): 葉面積被覆率の画像計測による水稲生育段階の推定, 日本写真測量学会 平成 14 年度秋季学術講演会, 大阪
- 122) 辻本久美子 (2006): 熱帯湿潤地域における巨大湖沼流域の水文気象環境 — カンボジアのトンレサップ湖を事例として —, 京都大学大学院地球環境学舎「修士論文」, 2006 年 1 月 13 日, 1-70
- 123) Tsujimoto, Kumiko, Takao Masumoto and Toru Mitsuno (2007): Seasonal Changes in Radiation and Evaporation Implied from the Diurnal Distribution of Rainfall in the Lower Mekong, Hydrological Processes (Accepted)

Development of Prediction Models of the Change of Agricultural Water Use in the Asia Monsoon Region

MASUMOTO Takao, TANJI Hajime, OGAWA Shigeo, HORIKAWA Naoki, RIKIMARU Atsushi, KUBO Sumiko, SOMURA Hiroaki, PHAM Thanh Hai and KAMAL Rowshon

Summary

Integrated models of meteorology, hydrology and water resources are developed, which is based on hydrological process and water user patterns that are peculiar to Asia Monsoon Areas. In addition, simulation of the prediction of water resources change is carried out under scenarios of the future. Target areas are monsoon and semi-arid zones, especially the Mekong River, which is facing controversial water resources problems. The check-points of the model is maintained and proofed by “the generation and simulation of past natural variation and human modification.” In the starting 3 years, restoration and generation of dispersed and scattered part of the original data are performed. What is more, observation watersheds are installed on areas with typical hydro-meteorology, land-use and water use and monitoring is resumed. Based on the above information, water circulation and water use processes are modeled, which are peculiar to the Asia Monsoon. In the following 2 years, those models and technologies are integrated. In addition, causes, results and effects of the past floods and water uses are evaluated and the countermeasures on those changes are proposed.

In this paper, especially, various kinds of paddy cultivation and irrigation and drainage patterns are practiced in the Mekong River Basin. Among those, an irrigation pattern, that is, water circulation process with inundation and irrigation combined, which is not defined and formulated concretely due to the lack of various hydrologic data, is focused and modeled. In addition, based on the information of the sub-topics such as historical flood data, the change of land-use, irrigation water use, the relation between the level of irrigation practices and water circulation is examined and a model to evaluate the effect of artificial agricultural activities and its development on basin wide water circulation is developed. The difference and distribution of various irrigation patterns in the basin are defined and an integrated modeling with inundation, irrigation and drainage models combined is carried out. At the same time, an estimation method for inundated areas and rice-cropping patterns and periods, is developed using satellite data. When performing studies, field visits, field observation and various data collection are carried out with the help of many local and/or international organizations such as Mekong River Commission, SRHMC, SIWRP in Vietnam, RID, DEDP, JIRCAS in Thailand, DI, DMH of MAFF in the Lao PDR, and DHRW, DI of MWRM in Cambodia.

Keywords: Mekong River basin, water circulation, agricultural water use, micro-morphology, flood, land use, paddy, satellite data, agricultural intake, irrigation facilities, flood simulation model, irrigation