

水をめぐる21世紀の危機

——アジア人口を焦点として——

総括 21世紀のジレンマ 黒田俊夫

第1章 アジアの水、人口と環境

ジェームス E. ニッカム

第2章 農業開発から見た水資源と食料開発

隅田裕明

モンスーン・アジアデルタ地帯における
水資源開発と稲作発展の可能性

福井清一

農業開発もまた水資源を逼迫させる

川野重任

第3章 工業化と工業用水

降矢憲一

第4章 水と健康

清水英佑

1998年3月

水をめぐる21世紀の危機

——アジア人口を焦点として——

1998年3月

財団
法人 アジア人口・開発協会
(APDA)

はじめに

世界人口は毎年1年間に8000万人以上増加を続けている。2年後の2000年には世界人口は60億を超え、2025年には80億を突破し、2050年には100億にも達しようとしている。今日我々人間という生物の存在についてのすべての問題は地球の扶養能力、恵みを対象として考えなければならない。人類が無事その豊かな生活を持続するためには、国益という障壁を越えて人類対地球という地球規模的視点に立たなければならない。

水はこのような地球規模的現象の課題として21世紀の人類の存続に挑戦するに至った。天の恵みとして無料で人間に与えられた水も今日では人間の生存を脅かすダイヤモンド的物質となってきた。医学的には一変食物も食べなくても水さえあれば40日以上も生命を維持することができるという。しかし、水も食物もなければ、人間の生命は存続しえない。

水は生活用水、農業用水、工業用水として利用される。これらの水利用は特に1950年代、つまり第2次大戦後において急激な増加が生じている。それはいうまでもなく、人口の激増と生活水準の上昇によるものである。いいかえれば水を絶対に必要とする人間自身の異常な増加と生活を豊かにした科学技術の飛躍的發展による生活の質の向上である。

世界では今日80カ国で水不足が生じており、また人口では世界人口の約40%が水不足に悩んでいる。この傾向は21世紀にはさらに一層深刻化して、生命扶養システム(life-Support System)の基幹部門として重要な課題となるであろう。

世界で2カ国以上にわたって流れている河川が200以上あるといわれている。そこでは水の争奪が国際間で重要な課題となっている。印度のガンジスガ川は下流で農業大国バングラデシュに流入しており、長年紛争の種となっていた。最近に至りようやく両国間で水利用についての取極めが行われた。国内的にも同一河川に沿っていくたの都市、農村が共存しており、水利用についての利害が矛盾することも少なくない。

地球全体からみると、水利用の3大部門があり、その間の水の需給調節という重大

な課題がある。本署ではこのような水の地球的規模的課題を特にアジアに焦点をおいて各専門家が分析を行ったものである。世界人口の60%を占めるアジアはまた水需要の50%を占める農業部門が産業の中核となっており、同時に近代化による水需要も急速に増大している。21世紀におけるアジアの展望を「水」の視点から考察したものとして、アジアの研究、理解に多少でも貢献することが出来れば幸いである。

終わりに、本書作成事業にあたり、多大なご支援をいただいた日本財団(曾野綾子会長)並びに国連人口基金(ナフィス・サディック事務局長)に深く感謝申し上げたい。

平成10年3月

(財) アジア人口・開発協会
理事長 前田 福三郎

目 次

総 括 21世紀のジレンマ	7
1 両刃の剣	9
2 需給のアンバランス	10
3 20年間に16億、1年間に8000万の増加	10
4 3つの緊急対策	11
5 人口コントロールは基本対策	12
引用文献	13
第1章 アジアの水、人口と環境	15
はじめに	17
1 アジアの特性	17
2 人口と環境	18
3 人口と水	19
4 水と環境	21
5 都市、水、環境	23
6 工業、水、環境	25
7 農業と水	26
8 水危機は迫っているのか	28
終わりに	29
第2章 農業開発から見た水資源と食料開発	58
1 はじめに	39
2 アジアの自然環境	40
3 アジアの水田灌漑	42
4 アジアの工業化と灌漑農業	44
5 アジアの乾燥地の灌漑	45
6 アジアの灌漑農業	52
参考文献	53

モンスーン・アジアデルタ地帯における水資源開発と 稲作発展の可能性	74
1 はじめに	61
2 東南アジア3大デルタにおける米政策と米生産の現況	62
3 東南アジア3大デルタにおける水田灌漑開発と今後の課題	65
4 おわりに	69
農業開発もまた水資源を逼迫させる	80
1 まず農薬の過剰投与による結果の一例	77
2 同じく亜熱帯の島、沖縄県宮古島	78
3 これは過剰な化学肥料投与から来る地下水汚染の例、 鹿児島県南薩地区、広大な茶の生産地帯の経験した例である	78
第3章 工業化と工業用水	101
1 東アジア太平洋地域の工業化	83
2 各国の水事情	84
むすび	92
第4章 水と健康	115
1 水と衛生・母子保健	103
2 工業による水質汚染	107
3 まとめ	113
参考文献	114

総括 21世紀のジレンマ

—人口・水・食料の連鎖（アジアの場合）—

日本大学人口研究所
名誉所長 黒田 俊夫

1 両刃の剣

科学・技術の進歩が人類の幸福にもたらした貢献は極めて大きい。宇宙開発や生命創造の技術などその進歩はとどまるところを知らない。しかし、進歩は一方通行ではない。逆行する反対の作用の発生も避けがたい。進歩の過程そのものが進歩を阻害し、人類の生存自体の危機をもたらす作用をももっている。科学・技術はいわば両刃の剣である。

1960年代から人口爆発と呼ばれた人類という生物の歴史上かつてなかった爆発的増加が始まった。しかし、医学をふくむ科学技術のめざましい進歩によって、一方では食糧生産の飛躍的増大を達成し、他方では死亡率の改善と共に出生力コントロールの技術の進歩によって増加抑制に成果を上げることによって、解決への曙光が見え始めたように思われた。

人間は生物である。水と食料なしでは生存は不可能である。にもかかわらず、水はいつでもどこでもほとんど無料で利用でき、食料も価格下落に農家が心配するほど生産を増大することができた時代は、終りを告げようとしている。高度な生活の頂点にある人間が、水と食物という生命の原点に直面しようとしている。高度の生活水準をもたらした経済成長は、有害の工場用水を排出し、激増する都市人口は生活の廃棄物で飲料用水を汚染され、地下用水も過剰消費のために枯渇の危機に瀕している。それだけではない。もっと重要なことは食料生産、特に農業用の必要な水は、工業都市人口の増大による水需要の圧力下に縮減を余儀なくされている。農地そのものも近代化の過程の中で縮小傾向が著しい。

2 需給のアンバランス

地球上の資源は有限である。水の再生は可能であり、技術進歩によって水利用の効率を高めることも可能であるけれども、水供給量が無限でないことは明らかである。他方において水を利用する人類の数は人口爆発と呼ばれる如く異常な増加傾向を示している。しかも、実数の増加ばかりでなく、生活水準の向上は水の1人当たり消費量を増加させ、また経済成長の世界的な持続は産業の水利用を増大させる。

世界の水資源の利用は1950年代を境にして急増している。急増はまず農業分野で起き、次いで1970年代から工業分野で急増が始まり、現在は生活分野、特に都市の生活用水に移っている。1950～1990年間における世界の生活用水消費は約50%増加した。農業生産への水需要が淡水資源利用の中で特に際立っているのは、耕地生産力の向上に灌漑が大きな割合を果たしていることによる。以上のような水資源利用の増加の特徴的な変化は、特に1960年代から始まった異常な人口増加率¹⁾に対応する農業生産の画期的な展開、1970年代以降における世界的な経済成長、1980年代以降における都市人口の激増²⁾をよく反映している。

1990年頃における各分野別の年間水使用量を示すと表1の如くである。

国連の発表によると、すでに世界の80ヶ国で水不足が発生し、世界人口の約40%は水不足に悩んでいる。³⁾この傾向は21世紀において一層深刻化することが予想される。

3 20年間に16億、1年間に8000万の増加

水資源問題の基本的要因である世界人口の趨勢について触れておこう。国連の最新の世界人口推計の改訂版（1996）によると、世界人口は1995年の57億が20年後の2015

年には73億となり、20年間に16億増加する。年間平均8000万の増加である。その間に世界人口の生産活動も増大し、生活水準は上昇することはほぼ確実と考えられる。水需要は激増することとなる。

このような世界人口の激増の中でアジア人口は約60%を占めている。耕地面積は世界全体の27.4%にすぎない。しかも、ここで重要なことはアジア大陸の内部には強い乾燥気候域が広く分布しており、平均年間降水量は742mmと推定されている。これはオーストラリア、アフリカに次ぐ少ない降水量である。近代化の急速な発展の結果、農地面積は急減している。中国は人口12億の巨大人口国である。1949年の解放以来、この人口増加のため1人あたりの穀類耕作地面積は40年間で0.17ヘクタールから0.08ヘクタールに半分に急減し、⁹⁾また今日では食料輸出国から輸入国に転換している。

アジアの人口は34億4000万であるが、2030年には50億、2050年には54億に達すると推計されている。アジアの経済発展はめざましく、そのダイナミズムは世界経済の牽引者として高く評価されている。しかし、その背後には水不足による食料生産の減少、そして輸入という不安要因がある。アメリカのある専門家は、中国の食料不足について次のように警告した。2030年には中国の食料生産は2億6300万トンに対し消費量は4億7900万トンになり、不足量は2億1600万トンになるという。この中国の穀類輸入必要量は、その頃の世界の輸出可能量をはるかに上回るという。¹⁰⁾しかし、このような長期予測にはいくたの不確定要因があることに留意する必要があるだろう。同時に長期的な傾向を示唆する警告としての意義のあることをいうまでもない。

4 3つの緊急対策

人間の生存に直接または間接に影響をもたらす水資源が有限である以上、そしてまた今はすでに世界的に枯渇が危惧される現在においては早急に対策が国内的に国際的に確立されなければならない。特に、重要な点は水使用が目的や地域によって厳しい競争、競合関係にあるということである。水資源の配分の優先順位の決定が求められる。いいかえれば配分計画である。この配分とは産業別特に農業と非農業特に工業と

の間の割当をどうするかという問題と地域別に、たとえば農村と都市との間あるいは同じ流域の農村間の需要に対する割当の問題がある。

第2は国際間における水利用の配分計画である。現在、世界には2ヶ国以上にまたがっている河川が少なくとも214あるといわれるが水の利用に対する紛争は国際的に複雑、深刻である。同じ川の上流、中流、下流に異なった国が位置しているばあい、その利用率について効果的、合理的な合意が行われているばあいは極めて少ない。

水資源の不足が一層厳しくなりつつある今日、このような国際間の紛争を未然に防ぐための効果的、合理的な協定の締結が急がねばならない。

第3の緊急対策は水の効率的利用と再利用の促進である。科学、技術の進歩と企業への関心、そして個人の生活におけるきめの細かい水使用の配慮は水資源対策の基本であるともいえよう。

5 人口コントロールは基本対策

有史以来の人口の激増は地球の扶養力と対決する規模のものとなっている。その増加の規模と人間活動は生命の根源ともいえる水資源に脅威をもたらしている。とすれば、もっとも基本的な対策は世界人口自体のコントロールにある。

しかし、他方において世界人口、そしてまたアジアの人口の増加と規模は20年、30年の近い将来についてはほとんど決定されていると考えられる。、人口コントロールに対する基本対策と併行しながら、同時に水資源に対する緊急対策の策定と実行が目前の厳しい緊急課題であることを認識する必要がある。水資源の獲得と利用効率の向上は食料問題と不可分の課題として21世紀に登場してくることは避けられない。

引用文献

- 1) 世界人口の年平均増加率は1950-55、1.78%、1955-960、1.85%、1960-65、1.99%、1965-70、2.04%、1970-75、1.75という2%前後の異常な増加率に達し、それ以降漸減傾向を示している (United Nations : World Population Prospects : The 1996 Revision Annex I : Demographic indicators, 1996.)
- 2) 世界人口に占める都市人口の割合は、1975年までは30%台であったが、1980年以降40%水準に達し、1995年には45.3%となった。特に途上国の都市人口は1980年には約10億であったのが1995年には17億へ、また先進国ではこの期間に7.7億から8.8億へ増加している (United Nations : World Urbanization Prospects : The 1996 Revision Annex tables, 1997.)
- 3) 内嶋善兵衛：「地球環境と水資源」、第13回人口と開発に関するアジア国会議員代表者会議報告書（神戸・1997年3月17-18日）、（財）アジア人口・開発協会、P.51.
- 4) Lester R. Brown and Hal Kane : Full House, The Worldwatch Environmental Alert Series, W. W. Norton & Company, 1994, P.104.
- 5) Lester R. Brown and Hal Kane : Full House, The Worldwatch Environmental Alert Series, W. W. Norton & Company, 1994, P.168.

表1 1990年頃における各分野別の年間水使用量 (km³/年)

分 野	使用量km ³ /年 (%)	蒸発損失%
農業分野	2800 (41.8)	66
工業分野	1000 (41.9)	12
民生分野	300 (4.5)	27
蒸 発	260 (3.9)	100
河川涵養	2320 (34.6)	0
総 計	6700 (100.0)	33

出典) Sandra et al., 1996.

第1章 アジアの水、人口と環境

東京大学
客員教授 ジェームス E. ニックム

はじめに

本年7月14日、アジアの反対側のテルアビブ郊外で木造の仮設橋が崩壊した。このため、マカベイ競技大会で行進中の3人のオーストラリア選手がヤーコン川に落ちて死亡した。この死因は墜落や溺死ではなく、川の中の正体不明の化学物質によるものであった¹。ハイテクを導入した水の効率的利用で知られ、経済発展が目覚ましいイスラエルは、イスラエルの国境内で供給される水が一般的に採用されているしきい値1000立方メートル/人(表1)を下回っているとして最近、「水ストレス」が高いと認められているアジアの10の国の一つに数えられていることは偶然ではない。不足分を補うために1967年以前にイスラエルの国外から水を充当することが原因となって、近隣諸国との間に多くの解決困難な紛争が生じている。経済的には発展しているが、水は毒になり、近隣諸国との険悪な関係にあるイスラエルはその他のアジアの国々の将来の水政策のモデルとなるのだろうか²。

1 アジアの特性

本章で扱うトピックは4つ、すなわち人口、水、環境とアジアにおける特殊性である。これらのトピックはお互いに関連している。まずリストの最後の項目から始めよう。アジアはとても広く、多様なため、地域を一般化することは難しいが、水については3つの特性があげられる。

まず最初に、アジアで使用される水のほとんど、すなわち取水される水の85%、さらに消費される水はそれ以上の割合が灌漑用である(表2)³。全体的な水利用の水準が極めて低く、農業用の割合が大きいのはアフリカだけである。これは当然のことながら、世界の灌漑の過半数がアジアに集中していることも意味している。

第2は、世界で人口が5百万人を超えるメガロポリス(巨大都市)の半分はアジアに

あるが、アジアで3人のうち2人はまだ地方で生活していることである。

アメリカやヨーロッパでは地方から都市への人口の移動はすでに終わりつつあるが、アジアではこの傾向はますます進み、アジアの都市は今後さらに今までにない規模にまで膨れ上がり、インフラの要件、特に水供給、水処理、衛生の分野に莫大な負担がかかることが予想される⁴。

第3には、国際環境監視システム(GEMS)で入手可能なデータによると、アジアの河川の水質はすでに世界の他の地域よりも劣悪になっていることである(表2)。この大部分は「従来」の有機汚染物である。浮遊固形物は世界の水準の4倍で急速に増加しており、生物学的酸素要求量(BOD)は40%高く、糞便性大腸菌数は3倍になっている(中間値はWHOガイドラインの50倍)。(皮肉なことに人糞や動物糞を含んだ排出物や化学肥料に影響される硝酸塩レベルは世界の基準を下回っている。)都市地域はこのような汚染負荷が集中しており、その上に工業排水による重金属などの「近代的」汚染物が加わっている。これらの複合した要因に人口と経済の増加が起こっているため、アジアでは今後の水利用と関連する環境問題を懸念する十分な理由がある。

2 人口と環境

人口と環境破壊が関係していることは自明のことと思われる。トーマス・マルサスからローマ・クラブ、Georgescu-Roegenなどのエントリピー論者、ポール・エーリックとレスター・ブラウンにいたる予言者(「激変説論者」と呼ばれる)たちはみな、世界の人口を安定、あるいは減少させない場合は、災害が起こることになると警告している。ジュリアン・サイモン、ヘルマン・カーンらの「コーヌコピアン」や多くの経済学者たちは人口の規模および増加と環境の状態の間に直接の関係があるという証拠は少なくとも今までにはほとんどないことを指摘していた⁵。

その代わりに、不完全な財産権、誤った補助金の支出と貧困を環境劣化の決定的な変数として指摘している⁶。

一部の環境問題、特に水に関連する問題の多くは、経済発展にともなって減少傾向

にあるという証拠はたくさんある。その中のかなり明確な理由としては、経済が豊かになるほど、水供給、下水と排水の制御に容易に投資ができるということがあげられる⁷。これは貧しい国が衛生に対する努力から免除される、あるいは力を抜くべきであるということの意味しているわけではなく、また、経済発展によりあらゆる環境問題が解決するということを含意するものでもない。都市廃棄物と二酸化炭素の排出は経済の発展にともなって加速する傾向が見られる。しかし、現在のところ、人口の規模自体と環境劣化の間には説得力のある関連性は見られない。この点を説明するにあたり、人口規模の水資源に対する影響を表すため一般に使われている指標の一つを紹介する。

3 人口と水

スウェーデンの著名な水文学者、マリン・ファルケンマークの研究に基づき、様々な「水ストレス指数」は、国内の再生可能な淡水1,000立方メートル/人/年(表1参照)が「これを下回るとたいていの国で開発を妨げ人間の健康に有害となりうる基準の慢性的な水不足を経験しうる」⁸レベルを示す指標として最も一般的に使用されてきた。ベンチマーキングや比較に欠かせない経験的な推算と同様に、水ストレス指数も指針を作成するガイドとして誤解を招く可能性がある。輸入する水は対象外である。水利用の構造、特に灌漑農業のウェイトも考慮に入れない。

最も重要なことは、少なくとも今まで、少なくともアジアにおいてはそれを支持する経験的な証拠がそれほど見あたらないことである。

表1が示すように、アジアで現在1,000立方メートル/人/年ベンチマークを下回る国は、一部の例外(イエメンとヨルダン)を除けば、経済発展を遂げ、長寿国であり、シンガポールの他は中東にある。西アジアでも、その他に2050年までに3つの国(アフガニスタン、イラン、オマーン)のみ1,000立方メートル/人を下回る見込みである。アジア太平洋地域では、韓国だけがこのレベルを下回ることが予測される。水不足が韓国の経済にマイナスの影響を与えるであろうことは十分に考えられない。

事実、ファルケンマークの基準が正しければ、アフガニスタンの東側のアジアはまったく心配することはないだろう。モンゴル、カザフスタン、ウズベキスタンでさえも全体的には比較的水が豊富である。この地域の一部の国は規模が大きいため、国単位以下のレベルでも見る必要がある。そうすると確かに深刻な水不足に悩まされている重要な局地的地域が数多く発見される。たとえば、慢性的な水不足により工業および農業生産の被害の予測は、中国では山西省、山東省、河北省の大部分や、南東海岸地域に沿った盆地の経済発展の目覚ましい一部の地域などで高く、さらに増加する傾向にある。しかし、それらの地域において経済成長は継続しており、山西省以外は中国でもっとも繁栄している地域である。

水ストレスを考えるもう一つの興味深い方法は、ファルケンマーク基準ほどの簡潔で正確さはないが、オーストラリアの水の交換可能な財産権の確立を検討するために、1981年にアラン・ランダールによって最初に発表された成熟する水経済の概念がある⁹。

表4が示すように、水経済は「成熟段階」にはいると、「拡大段階」とは異なった条件と規則に従って活動していく。拡大段階では、たとえ資本と配水費はかなり高額となったとしても、他方からの要求されていない水源が利用できるため、経済学用語の意味は「機会費用」はゼロである。政府自体も「拡大段階」であり、まだその程度の費用は、その政府が頻繁に支出する高額の補助金で十分にカバーできる。そのコストの大部分は原初設備に組み込まれ、国内の建設予算に吸収されることが多い。そのために修復、復旧、取り替えの時が来るまでこの暗黙の補助金は見逃されやすい。利用する各セクター（農業、工業、家庭）ごとに別々の水源から独自の水供給系を開発する傾向にある。その水源は先使用権しているものであるが、水は究極的には公的なものであるという理由からたいていの水利権システムは水利権を他者、特に他のセクターに販売することは許されていないのが普通である。

成熟段階は全般的な水需要の増加、補助金の増加に対する政府予算の引き締め、老朽化および不十分な保全によるプロジェクトの劣化、環境、漁業、リクリエーションなどの新しい水利用の認可、あるいは帯水層からの過剰な水の汲み上げや、汚染に起因する既存の水源の劣化など、数多くある要因のいずれかによりもたらされる。水の

機会費用は上昇し始め、時として急激に上昇する。ファルケンマークの基準と比較して、成熟する水利経済という考えが魅力的なのは、水が豊富にあっても危機がどのようにして発生しうるかを説明するのに役立つ点にある。従ってこの考えはますますアジアに適していることになる。

さらにこれは方法をも示している。徐々に技術的、環境的、政治的に複雑な流域間で水を輸送することで新しい水源を開発するプロジェクトを建設するか、あるいは不可使用の水を処理することにより、水経済は成熟段階から拡大の一つの段階に移行することができる。

新たなプロジェクトは経費を増加し、政府および海外の貸主は補助金の拠出を次第にしぶる傾向にあるため、その代わりに節約するという考え方が出てきた。これらの中で顕著なものとしては、経済的手段への使用と低価値の用途から高価値の用途に水を変換することがある。

高価値の用途の一つには人間の健康がある。人口と水の関係はしばしば安全な飲み水と衛生施設への接点であると言い換えることができる。可能な限りすべての人間に個人および家事の用途に比較的清潔な水を供給する必要があることは明らかである。その正確な経路を追跡することはきわめて困難であるが、アジアの病気は、特に貧困層の間では、水と衛生に関連している(第4章を参照)。しかしこれは水質および貧しい人でも平等に「その場で」利用できるかという問題で、利用可能な水の総量の問題ではない。

4 水と環境

アジア開発銀行の1996年の調査では、67人のアジア環境政策作成官のうち16人が、水汚染と淡水の枯渇をこの地域で最も深刻な環境問題としている¹⁰。「枯渇」とは、水の危機と説明する人々が使用する一般的な用語である。水において、枯渇とは相対的に短い期間における状態をいい、経済と密接な関係があることに注意するとわかりやすいであろう。たいていの場合は、水文循環(降雨、蒸発、浸透、流出など)により資

源は常に補充される。枯渇した帯水層と貯水槽はそのまま放っておいても再び補充される。時にはかなり早く補充されることもある。河北省にある広いが浅い白洋淀湖は、1980年代の何年か干ばつの続いた時には干上がっていたが、雨の多い一年間でその湖は完全に元の状態に戻った。

ロンドンがかつて帯水層の過剰使用について懸念を抱いたが、現在もっぱら地下施設の冠水のことを心配している。たとえ塩水が侵入したとしても十分な淡水の流れが回復すると海に押し戻すことができる。このように水はりっぱな資源である。たいていの場合、人間に二度のチャンスを与えてくれる。つねに問題はどれだけの量の水があるかではなく、誰がどこでどのような方法で水を使用するかであり、誰が最終的に費用を支払うかである。

マーク・ローゼグラントは、川の流域における本当の水の損失は、水が4つの「水がめ」のうちの一つに流れこむことと記述している。その「水がめ」とは、(1)大気で、蒸発、特に水田により蒸発するために(この一部は降雨の形で戻るが、いつも同じ流域に戻るとは限らない)、(2)塩の水がめで、大洋など、(3)汚染された水がめで、塩または毒が水を使用不能にする、(4)経済的な水がめで、特に深い地下水などの回収に収益性がないなどである¹¹。実際には、これらのほとんどすべてが経済的な水がめであり、これらの水がめに向かう水の流れは金の流れ、あるいは水の使用方法を変更することにその端を発している。

だからといって、環境政策作成官たちの心配は的外れであるとは言えない。人間の健康、生態系は危険にさらされている、水文循環と汚染の複雑さが水に対する財産権の定義を困難にし、セクターを超えたプランニングが大いに望まれるのである。これらの問題に対処するためには効率的で、時には革新的な方法を見つける必要がある。私たちはセクターごとに分かれ、多額の補助金で支えられた私たちの水経済における「拡大段階」からの大資本プロジェクトの遺産と向かい合っていることに気づくことになる。また、その遺産が、発展を維持させながら軌道に乗せるために経済的な調整も含む複雑な調整をさらに複雑なものにしている。

5 都市、水、環境

都市はしばしば環境の劣化について非難されている。確かに都市が生態系に投げかける影はかなり広がっている。都市では人間の活動が比較的小さい空間に集中するため、膨大な量の廃物を生成し、局地的に生態系をまったく変化させる傾向にあるためである。1982年に、デリーに流れ込むヤムナ川の水は糞便性大腸菌値は100ミリリットル中に7,500観測されたが、その水が都市を流れ出る時には100ミリリットル中に2、400万観測されるまでになっていた¹²。歴史的に都市は生活をするのにとっても不健康な場所であり、特に、その多くが新たな移民や不法居住者などの社会的に無視された貧しい人々にとって、このことは依然として変わらない場合が多い。

激変説論者たちにとっては、都市は人口超過の悪夢のようなものである。特に経済発展にともなう移民についてはなおさらである。たとえば、レスター・ブラウン氏が描いた2030年の中国のビジョンは「工業化」(工場、住宅、道路、収益性の高い収穫物の形で)が穀物収穫地域のほぼ半分に進み、現在何千万人の人々の食物のために使っている水資源の大部分を専用することになるというものである¹³。ブラウン氏の描いたシナリオは極端に暗いものであるが、中心的な生活の事実を証明している。都市かあるいは農業に利用できる場合、人間と同じように土地と水もたいていの場合には都市の方が高い経済的価値を生成するということである。これについては何も間違っていない。豊かな国は都市化の傾向にあり、農業に占める水利用の割合は低くなっている。

ブラウン氏の食糧危機が来るという説に話を戻すと、現在のところ、北京やマドラスのような水不足の都市とその周辺の灌漑地の間に水の供給に緊張関係はあるが、それがつねに農業生産にマイナスの影響を与えているわけではないことを付け加えておく。都市の水においてもっとも切迫した問題は、次の世紀に先送りにしたり、近郊の地に新たな供給を求めればよいという問題ではなく、現在の都市環境自体の中の、既存の供給にかかわる問題なのである。

たとえば、1980年代の間に全都市住民に安全な水を供給することを目的とした国連のInternational Decade for Drinking Water Supply and Sanitation（国際飲料水供給と衛生に関する十年）があった。1980年に水の供給サービス（水道）を得られない人が1億4,800万人以上いたアジア太平洋地域の都市で、このキャンペーンにより1億8,500万人の人々に水供給サービスを拡大するのに成功した。しかし1990年には都市の増加のため、水供給サービスを得られない人の数は1億7,500万人に上っている。

この問題は必ずしも水が無いという問題ではない。家庭の用水は、特に貧しい人々に対して消費する水の量は、全体用水からみると決して高くはない。「サービスを受けられない」人々は、それでもある種の水を使っている。限られた所得の人々が清潔な水のためにお金を支払うかということもできます。マニラの貧しい人々は所得の20%までをも飲料水を買うためにベンダに支払っている。一般的にアジアの貧しい地域の水のベンダによる「市場価格」は水道をひねれば水を飲める恵まれた人々の公定料金の何十倍にもあたる¹⁴。

ソウルは東アジアで最大の水ストレス国の首都であるが、まだ漢江に貯水ダムを建設する可能性があるために灌漑農業との問題はない。ソウルの水供給で最も深刻な問題はPaldang貯水池の流域にある住宅、工場、酪農場から流れ出る排水による水質の悪化である。都市にはこれらの問題に対処するため、水の浄化、新たな取水設備の建設、または地域中の水道からさらに多くの水を買うことなどの数多くのオプションがあるが、このどれもが供給のコストを高めることになる¹⁵。これはソウルだけの問題ではない。多くの都市は現在の水供給を高めるため、あるいはそれを確保するためにさえさらに一層の資金を投じなければならない。10の水不足都市を調査したところ、ラメシュ・バティア氏とマリリン・ファルケンマーク氏はアジアの7つの都市において「次」のプロジェクトのコストは「現在」のプロジェクトのコストの2倍を上回る事が予想されると指摘している¹⁶。

6 工業、水、環境

レスター・ブラウン氏の工業化への非難には少し真実性がある。工業は水の闘争劇で量と質の両方において、必ずしも主犯ではないとしても犯人の一人である。火力発電所などの工場は都市に位置する傾向があり、相当の水供給能力と水処理能力にかなり重い苛を負わせている(第3章)。アジアのほとんどで、工業による水の取水は都市地域の家庭用の取水を上回っている。工場は独自のポンプ井戸に依存する 경우가多く、過剰な地下水の取水と地盤沈下の問題が悪化している。しかしバンコク、北京と大阪のようにまったく異なった都市の経験から、特に地上水源の供給が与えられている場合は、大きな産業ユーザを規制することは可能であることが示されている。また、たいいていの工業水は飲料水よりも低品質の水準であるため、ほとんどの生産プロセスでは水を数回リサイクルすることが容易である。そのため工業用水の需要は生産活動を削減せずに、おそらくもっとも簡単にカットできる。1970年代に厳しい排出基準を課して以来、日本とアメリカ両方の生産量が継続して増えているため、ある程度までであるが、実際に工業用消費水需要の合計は下がり、抑えられている。新たな資本投資により、より大きな省水機能を設置することが可能になったことで、少なくともいくつかの点において、経済成長が水環境の改善につながるができるという議論をさらにサポートするものとなっている。

1980年代には中国においても都市の大企業が水消費率や排水放出を削減した。

中国に限らず、現在の最大の懸念は中小企業である。というのも水の全使用量はその大企業ほど少くなるかもしれないが、排水を監視することが困難で(したがって「ノンポイントソース」と見なされている)、さらに厳しい財務、装置、経営の制限のもとで運営しなければならないからである。残念なことには、有害な産業の多く、たとえば製紙、電気メッキ、織物浸染、革加工などは中小企業による運営に頼っていることである。

中国の特徴は「郷鎮企業」という中小企業(TVE)である。この中には大規模な産業も

含まれ、経済成長の大きな活力となっているが、しばしば重金属などの有害物質を環境に無制限に排出することがあるために心配されており、多大の注目を集めている¹⁷。特別に懸念されている地域は、南京と上海の間の人口の密集した地域の飲料水の水源となっている太湖と、1994年7月14日に嵐により川の主流に汚染物が流され、広域にわたり魚が死に、飲料水と工場用水の供給が一時不能になった壊れやすい淮河流域である。振り返って見ると、これが1960年代のアメリカのクリーブランド近郊のクヤホガ川の火災や1950年代のロンドンの殺人スモッグのような大きな出来事の一つになりかねないこともあり、清潔にするためにより一層の政治的および経済的な対策を強いるものではあろうか。このことは時だけが教えてくれる。

7 農業と水

この章に続いて3人の傑出した専門家の貢献による農業開発と水資源については次の章で扱うので、農業についてはその中心的重要性もあるが、ここでは特に扱わない。

セクター間の送水のこととなると、そのアジアの水の大部分を使用している農地にすべての目が向けられる。この地域の都市水供給機関の多くは、すでに近く of 農地から水の一部を輸送しているか、あるいは緊急時にはそれを行う計画をしている。北京と瀋陽は貯水池からの水の経路を改め、マドラスは地方に独自のいくつもの井戸の場所を開発しており、邯鄲と滄州などの北部中国平野の一部の都市は、帯水層から水を取水することによって間接的に水を得てきたようである。農業用の水利用はバンコク、デリー、ダッカ、ジャカルタ、カラチのように離れた都市に水を供給する競争相手として考えられている¹⁸。

そのような競争はつねに零和の結果になるとは限らない。都市経済の成長は近隣の農家に果物、野菜、魚などの高価値の農業商品を提供する市場を拡大し、と同時に雇用機会を創出し、貯水灌漑技術を一層拡張する資金も生み出す。穀物の生産が少ないとしたら、水が不足しているためではなく、支払いが停滞しているためであろう。

郊外だけのスケールに着目するのではなくよりマクロの立場から見ると、国際食糧政策研究所(IFPRI)のマーク・ローズグラント氏、ルース・メインツェン・ディック氏のように将来の世界の穀物と食糧供給を比較的楽観的に考えている人々でさえも、この20年の間に環太平洋地域における灌漑面積の純増加がスローダウンしていることに懸念を表明している。彼らはこのスローダウンの原因を1980年代に新たなプロジェクトに対する公的支出が大幅に減ったことにより、新しい土地を灌漑するための実資本費用が増加したこととしている¹⁹。

このことには驚き過ぎることはないほどに多くの理由がある。まず第一に、灌漑面積の測定値は実際、灌漑の品質についてはあまり触れていない。

既存の灌漑(未灌漑)地の水供給条件などの改善は灌漑地を増やすことよりも、総計でみた収穫高に対してはるかに大きな影響を与える。確かに、全体的な灌漑面積の数字はそれほど変化していにもかかわらず1970年代後半から中国において穀物高は著しい増加を続けている²⁰。

さらに、概してIFPRI分析が言及した資本費用の増加(20-25年の間にインドネシアで100%以上、フィリピンで50%、タイで40%)は、同じ時間枠で一人当たりの所得の増加と比較するとまったくささやかなものである。この問題は資金的にまかなえるかということではなく、他に多くの要因がある。

それらの一つとしては、予算が次第に赤字、不足に膨れ上がり、プロジェクトの受益者たちがそのコストを支払うべきであるという資金提供者たちの声の高まりに押され、政府が公的補助金を継続することに難色を示していることがあげられる。各地のプロジェクトで農業への水の一般的な価格を低く、たとえば運営と保守費用以下に抑えらるるとしても、より完全な費用回収に基づいた新たなプロジェクトでは、農民たちに今まで支払ってきたものとは桁違いの料金を要求することになる。このために政治的に実行不可能となる。

もう一つの問題は縮小傾向にある公共工事投資の予算の中で、保全が不十分な古いプロジェクトの継ぎ当てに充当しなければならない部分が増えていることである。中国で毎年灌漑地でなくなっていく土地は、都市-工業化の進出によるよりもプロジェクトの廃退によるものの方が多い。

究極の、おそらく最も根本的な制限要因は世界市場における実穀物価格の継続的かつ長期的な下落傾向である²¹。急速で継続的な灌漑地の拡大に基づいて、穀物生産高を上昇のために低価格をさらに低くするであろうか、それで、国にも農民にもほとんどメリットをもたらしていない。

石油とともに、世界戦略的備蓄は最近縮小している。しかし、これには少しも警戒する必要はない。

8 水危機は迫っているのか

右については水危機は差し迫っているか、おそらく食糧危機に取り混ぜるかどうかという質問につながる。1970年代のエネルギー危機以来、世界の水の状態を分析した本のほとんどが、とりわけ学術的な本が「危機」(あるいは単に「欠乏」)という用語を使っている。本書の脚注部はにすでに過剰なほど本の題名をリストしているため、これ以上書籍名は記載しない。概して、これらの文献のほとんどは危機は避けられることを訴えている。

確かに私たちは1970年代のエネルギー危機のような世界レベルの水危機を望んではいない。水は世界的商品ではなく、国際的カルテルも存在しない。中には特にまたレスター・ブラウン氏のように、この2、30年のうちには穀物生産に影響を与える地域的な水紛争が頻発し、国際的な食物価格の騰貴と政治不安の起こる可能性を指摘している人もいる。

ブラウン氏は最悪のケースのシナリオによる価格上昇の予測はしていないが、辻井博教授が本論の中でその予測として、1993年から2020年の間に50%としている²²。言い換えれば、おおむね1980年の水準に戻るということである。この数字を別の面から考えてみると、年間約1.5%の上昇で、世界の一人当たりの所得上昇率を十分に下回っている。このため、「最悪のケース」においてでさえも、灌漑設備の改善しやすいにともない、穀物はますます購入しやすくなる模様である。

私自身の見解では、今後アジアの水利用で直面するであろう最大の危機は地域単位

のものであり、この問題は都市化にともないその住民の大部分に適正な品質の水を提供するインフラの整備に集約される。解決がとても困難であると思われるその他の問題は、人間の需要を満たしながら水の生態的な利用を保全することである。アジアの成熟した水経済は、数多くの面で、灌漑と水道水の価格を比較的有利に利用できる人々が使用できる価格以下に保つための明示的または暗示的な補助金の撤廃から始まる改革を必要としている。長期的解決は、価格と財産権を適正に保つことほど単純ではないが、よい出発点にはなり得る。水文循環の複雑さ、高まるユーザの相互接続性は人間の制度の創造力をますます挑戦としている。

終わりに

橋が壊れたヤーコン川の問題は今後全アジアの水未来の前兆であろうか。おそらくこのようなことは将来イスラエルでも起こり得ないだろう。しかしこれは警告であり、残念ながら今日の多くの水の状態を物語っている。水セクターの秩序の回復のためには多くの調整が必要である。この点には激変説論者もコーヌピアンも同意している。異なる点はどのようにして調整すべきであろうか。出発点としては水を経済財貨として真剣にとらえることである。

注

1. Rebecca Trounson、「Bridge Tragedy Reveals Pollution」、*ジャパン・タイムズ*、1997年8月14日。27キロに及ぶヤーコン川はイスラエル沿岸で最長の川であり、1988年以来広範囲な清掃を行う対象となってきた。Shoshanna Gabbay、「The Environment in Israel.」*Jerusalem: Ministry of the Environment*, 1994年。
2. Sandra Postelによる「欠乏への新たな政策」。「*Dividing the Waters: Food Security*」。

Ecosystem Health, and the New Politics of Scarcity」Washington DC: Worldwatch Institute Paper 132、1996年9月。

3. 水源から直接的、または貯水池などのプロジェクトを介して水を取り入れる「取水」、生産または消費サイトの「需要」、あるいは「消費利用」で普通使われる水使用量は、取水量であり、排水となって放出される量ではない部分。言い換えれば、蒸発、浸透、生産物に組み込みというように比較的間接的な方法で水循環に戻る量を意味する。ポステル(「水の分割」14)は世界中の農業が需要の65%を占めるが、消費量の82%である(これに対して工業用は22%と4%で、リサイクル率が高いことを反映している)。
4. James E. Nickum と K, William Easter, eds.、「Metropolitan Water Use Conflicts in Asia and the Pacific」Boulder CO: Westview、1994年。
5. Lamont C. Hempel、「Environmental Governance: The Global Challenge」Washington D.C.: Island Press、1996年に第三の 카테고리「オプティマイザー」を表した。激変説論者の言葉を巧みに使って徐々に外交的で政治的な改革を行う米国副大統領ゴアなどがあげられる。
6. Harvard Institute for International Development(HIID) のTheodore Panayotouによって草稿された「Emerging Asia: Changes and Challenges」Manila: The Asian Development Bank、1997年5月、の環境の章にこれらの議論の最近の例が記載されている。
7. この成長する汚染が解消されるという可能性論点が最初に公に発表されたのはWorld Bankの「World Development Report 1992」で、後にアップサイド・ダウンUとして、また、Gene M. GrossmanとAlan B. Kruegerによる「environmental Kuznets curve」で「Economic Growth and the Environment」Quarterly Journal of Economics 1995年：353-377と「Emerging Asia」1997年214に掲載された。
8. 「World Resources 1996-97」、New York：Oxford University Press、1996年：302。
9. Alan Randall、「Property Entitlements and Pricing Policies for a Maturing Water Economy」Australian Journal of Agricultural Economics 25(3):195-220。
10. 「Emerging Asia」209、「最重要課題」の次に大気汚染と劣化(それぞれ9)と固形廃

棄物(8)がランクされている。

11. Mark W. Rosegrant, 「Water Resources in the Twenty-First Century: Challenges and Implications for Action」Food, Agriculture, and the Environment Discussion Paper 20, International Food Policy Research Institute, Washington D.C., 1997年3月、14。
12. Euisoon Shin, Maynard Hufschmidt, Yok-shiu Lee, James E. Nickumおよび梅津千恵子とRegina Gregory, 「Valuating the Economic Impact of Urban Environmental Problems: Asian Cities」UNDP/UNCHS (Habitat)/World Bank Working Paper No.13, Washington D.C., 1997年6月:44-45。先進国の飲料水の糞便性大腸菌基準値が100ミリリットルあたり0またはほぼ0になる傾向にあることを参照している。
13. Lester R. Brown, 「Who Will Feed China? Wakeup Call for a Small Planet」, New York: Norton, 1995年。
14. 「Managing Water Resources to Meet Megacity Needs」Manila; Asian Development Bank, 1994年:342。
15. NickumとEaster, 第1章と7章(後者はEuisoon Shin)。
16. 「Water Resources Policies and the Urban Poor: Innovative Approach and Policy Imperatives」Water and Sanitation Currents, UNDP-World Bank Water and Sanitation Program, 1993年。アジア都市は(次のスキームのコストがかかる順番に)、瀋陽、営口、バンガロー、スラバヤ、ダッカ、ハイデラバード、アンマン。
17. たとえば国立環境保護局と中国環境科学社会科を参照。郷鎮企業環境污染防治対策(TVE環境汚染保護政策)。Beijing: 中国環境科学出版社, 1991年。
18. 「Managing Water Resources to Meet Megacity Needs」391
19. Mark W. RosegrantとRuth S. Meinzen-Dick, 「Water Resources in the Asia-Pacific Region: Managing Scarcity」Asian-Pacific Economic Literature, 10, 1996年11月:35。
20. James E. Nickum, 「Dam Lies and Other Statistics: Taking the Measure of Irrigation in China, 1931-91」, East-West Center Occasional Papers Environment Series No.18, 1995年1月。
21. 中国では、この期間に農民に対する価格は上がったが、でも1979年以前は世界市場のレベルからははるかに低かった。

22. 辻井博、[Food Supply and Demand in the Year 2020 and the Necessary Reform in Japan's Agricultural, Forestry and Fishery System]Population and Food Strategy for 21st Century - Asia and World -. [Population and Development]Series No.21、1997年3月：147。

表1 「水ストレス」アジア諸国、1990-2050

(単位：立方メートル/人、米国ドル)

国名	1990年度	2050年度 (推計)	寿命 1990-95	1992GNP/人 (PPP)
クウェート	75	59	74.9	8,561
カタール	103	68	N/A	N/A
バーレーン	184	104	N/A	N/A
シンガポール	222	159	74.8	16,736
サウジアラビア	284	67	69.7	9,390
アラブ首長国連邦	293	120	73.8	15,784
ヨルダン	308	68	67.9	4,039
イエメン	460	90	50.2	2,769
イスラエル	461	192	76.5	12,783
韓国		964	71.1	9,565

注： 2050年度の数字は低い国連人口増加試算を採用している。高い人口増加試算を採用した場合、ストレスはさらに上がる。

出典： World Resources 1996-97、1996年:302-303、Robert Engelmanと Pamela LeRoy、水ストレスについての「Sustaining Water: An Update」(Population Action International, Washington D.C.、1995年)の中で、一人当たりのGDPについては166-167ページ、誕生における寿命については193ページに基づく

表2 地域および用途別にみた世界の淡水資源

	一人当たりの	国内回収可能		年取水量		セクター別1987年		
	GDP	水資源		資源の%	一人当たり	取水量(%) (イスラエル1989年)		
	1992年	合計	1995年			家庭用	工業用	農業用
	購買力平価	(立方キロ	一人当たり					
	(国際ドル)	メートル/年)			(立方メートル)			
世界		41022	7176	8	645	8	23	69
アフリカ		3996	5488	4	199	7	5	88
ヨーロッパ		6235	8576	7	626	14	55	31
北米/中米		6444	15369	9	1451	9	42	49
南米		9526	29788	1	332	18	23	59
オセアニア		1614	56543	1	586	64	2	34
アジア		13208	3819	12	542	6	9	85
バングラデシュ	1908	2357	19571	1	220	3	1	96
中国	1838	2800	2292	16	461	6	7	87
インド	1633	2083	2228	18	612	3	4	93
インドネシア	2601	2530	12804	1	96	13	11	76
イスラエル	12783	2	382	86	408	16	5	79
日本	19920	547	4373	17	735	17	33	50
ヨルダン	4039	2	314	32	173	29	6	65
韓国	3067	67	2801	21	687	11	16	73
北朝鮮	9565	66	1469	42	632	19	35	46
パキスタン	1793	468	3331	33	2053	1	1	98
フィリピン	2172	323	4779	9	686	18	21	61
シンガポール	16736	1	211	32	84	45	51	4
タイ	5018	179	3045	18	602	4	6	90
ベトナム	665	376	5044	8	414	13	9	93

注： 「年取水量」の年は国によって異なる。特にインド、ヨルダン、パキスタン、シンガポール(1975)と中国(1980)は古い。その他は1987年以降である。

出典： World Resources 1997-97

表3 アジアの水問題の深刻さ

汚染	東アジア	東南アジア	南アジア	中国	インド
水汚染					
懸濁固体		XX	XX	XXX	XX
糞便性大腸菌		XXX	XX	XX	XXX
BOD		XXX	XX		XXX
硝酸塩	XX	X	XXX	XX	XXX
鉛	XX	XXX	X	X	X

アクセスの困難さ					
安全な水		XXX	XXX	X	XXX
衛生		XX	XXX	XXX	XXX

注： BOD=生物酸素要求量；xxx=とても深刻、xx=深刻、x=中程度であるが上昇している
 出典： Emerging Asia、1997年：203

表4 水経済の拡大と成熟段階

	拡大段階	成熟段階
水供給	弾性がある	弾性がない
水使用量の増大に対する補助金の社会的コスト	低い	高い
水設備の状態	新しい	多くの設備は古い
用途間の競争	少ない	多い
外部性	排水	帯水層の枯渇、水汚染

出典： NickumとEasterを改採用、1994年：7

第2章 農業開発から見た水資源と食料 開発

ーアジアの乾燥地帯の灌漑農業と塩害ー

日本大学 生物資源科学部
専任講師 隅田 裕明

1 はじめに

人類が誕生して200万年が経過するが、その大部分の期間を人類は狩猟採取者として過ごしてきた。そして、1万年程前、人間活動を維持するための食糧生産の方法として地球上の環境（気候・土壌）を利用しはじめた。その地域に適した方法により太陽エネルギーを固定し、炭水化物を生産する。これを直接摂取、あるいはこれら炭水化物を利用し、家畜類を飼育することにより、食糧を獲得する方法を学んだ。この結果、人類は狩人から耕作者、飼育者へと大きく転換すると共に莫大な人口を扶養できるようになり、豊かな文明を築き上げた。その豊かさを支えたものは地球の薄皮のようなわずか数10cmの肥沃な表土であつたに違いない。農耕人口を扶養するだけの農業生産から余剰食糧が生じ、その食糧により他産業が発展することが文明発展の基本条件であつた。換言すれば、土壌肥沃度こそが現在の人間活動と文明を支える基盤であることは間違いない。しかし、現在の高度な生産技術と消費活動は豊かな表土を砂漠化と呼ばれる荒廢地に変えつつある。さらに、人間活動により消費された廃棄物が環境悪化を招いている。

農業を唯一の基幹産業とする古代文明は半乾燥地域の肥沃な土地の周辺に発祥し、ほとんどの文明は2000年以内に終焉を迎えている。しかし、チグリス・ユーフラテス川のメソポタミア文明、ナイル川のエジプト文明など河川流域の肥沃な沖積地帯に存在したこの二つの文明は他の古代文明に比べ2000年以上も続いた。さらにエジプト文明はメソポタミア文明よりさらに長く栄えている。では、肥沃な土地と同様な気象条件のもとに成立した古代文明の繁栄期間が、なぜ文明により異なっているのだろうか。文明は余剰食糧の上になり立ち、文化、技術、経済により支えられている。文明の衰退は余剰食糧を生産する農業の衰退にしか他ならない。大河川の沖積地に栄えたメソポタミア、エジプト文明等は平坦な地形と毎年襲う洪水により、肥沃な土壌が上流より運ばれ堆積すると共に、農業用水は大河川からの灌漑に

より賄われたことが、他文明より長期に渡り継続した要因である。また、洪水による土砂の供給は農業生産に上述のような正の効果と、一方では、かんがい水路の埋没、地表面の上昇等の負の効果を及ぼし、塩類化、侵食をはじめとする様々な土壤劣化を引き起こした。

このように古代文明の衰退は全て土壤劣化がその主要因であり、農業の永続性を無視した土壤管理の不手際が文明の維持、発展を妨げることを証明している。人間による誤った土壤管理は砂漠化を引き起こし、砂漠化による土壤劣化は土壤侵食と塩類集積である。本稿ではアジア地域の水資源と食糧生産の現状および灌漑水としての水資源の利用が土壤劣化におよぼす影響と塩類集積についてその発生メカニズム、現状とその将来の展望を試みる。

2 アジアの自然環境

1) アジアの気候

農業生産を左右する因子の一つが気候である。気候区分には場所ごとの気候状態を示す指標として植物を考慮したケッペンの気候区分、気候環境が成立するメカニズムを重視したアリソフ気候区分などがある。図1にアリソフの気候区分を示した。赤道付近には一年を通じて雨が多く、降水の季節変動が少ない「赤道気団帯」が存在し、その高緯度帯には貿易風の影響を受け雨季と乾季を持つ「赤道モンスーン帯」が存在する。さらに高緯度では一年中ほとんど雨の降らない「熱帯気団帯」、次いで夏期は乾燥するが、冬期には寒帯気団の影響を受ける「亜熱帯」が存在する。東南アジア地域ではインドネシアのジャワ島北部を中心に「赤道気団帯」に属し、大部分の地域は「赤道モンスーン帯」に区分される。さらにインドから中国南部の広い範囲が「亜熱帯」となる。特筆すべきは東南アジアには砂漠気候に相当する「熱帯気団帯」が存在しないことが特徴であり、南アジアのインド西部が一部属しているだけである。

さらに久馬らは土壤水分レジュームを重視したソーンズウエイトの気候区分

に統計的气象データを加味し、アジアの基幹作物である水稲生育を考慮した気候区分を提案している²⁾。図2に示したこの気候区分には9区分 (I~IX) に分類され、I,II,III,IV,VIおよびVIIIの区分では天水田でさえも年1回の水稲作が可能であるが、V,VII,XIでは灌漑施設を伴わなければ水稲栽培は不可能であることを示している。

2) アジアの地形、地質と土壌

作物栽培にとって重要な因子である土壌資源の分布は気候と地形的な要因による母材との関連により理解される。気候面からは年中多湿な熱帯多雨林気候と長く強い乾期を持つ熱帯モンスーン気候、さらに高度1000 m以上の地域に出現する湿潤熱帯気候である。母材からは火山由来の火山岩と火山灰、石灰岩、蒸発岩、デルタ堆積物、沿岸湿地堆積物、段丘堆積物等である。

フィリピンからインドネシアにかけて分布する火山由来の土壌は1000mを越えるような風化の緩やかな地域には日本のそれと同様な火山灰土壌が分布するが、低地になるほど強い風化を受け、赤褐色を示すラトソルに移行する。石灰岩を母材とする地域では土壌水分条件を反映し、モンモリロナイト粘土と石灰濃度との関連から、石灰の溶脱が卓越した地域では赤色のテラロッサとなり、溶脱が抑えられた地域では黒色のレンジナとなる。この結果、黒色と赤色を呈する土壌がモザイク状に分布する。大河川河口部には広大なデルタが存在し、上流内陸部より新鮮な土壌母材が供給される。デルタの中央部は沈降し、周辺部は山地の隆起により段丘地形が発達し、高位段丘には風化のより進行した厚いラテライトが形成され、中位段丘にはより薄いラテライトが生成される。さらに低位段丘には鉄、マンガンの結核を持つ土壌が存在する。デルタの先端部には汽水性堆積物が存在し、特殊な酸性硫酸塩土壌が存在する。コラート平原にはジュラ期から白亜期にかけて生成された蒸発岩が存在し、その最上部にはマハサラカム層と呼ばれる厚い岩塩層が碎石岩で被われている。地形的特徴によりその碎石岩より由来する塩により乾期には地表に塩が析出する。水深の浅いスダ海に面した沿岸部にはデルタではなく低湿地に取り囲まれており、

熱帯多雨林気候下で生産された熱帯雨林を材料とする泥炭土壌が分布する。玄武岩塩基性岩を母材とする地域では暗赤色のラトソル、フェラルソルが分布する。

このような様々な土壌が農業資源として利用されているが、個々の土壌の持つ特徴を用いた土壌分類に基づき、500万分の1の縮尺で示されたFAO/Unesco世界土壌図（1985）より、東南アジア、南アジアでは問題はあるが耕地として利用され、今後さらに利用が高まる予想される土壌の可耕地面積に対する分布割合は52%を占める。特に Acrisol（酸性で風化の進んだ粘土の集積層を持つ土壌）が最も高く38%を示し、また、問題土壌の多くが粘土集積層を持つことから物理的阻害要因別面積割合も24.5%であり排水不良土が12.9%の高い割合を示している³⁾。

3 アジアの水田灌漑

アジアを象徴する土地利用形態は水田であり、水稻が食糧基盤となっている。水田稲作が畑作に比べ生産性と持続性の面から優れていることは衆目の一致した見解である。この背景にはほとんどの水田が沖積平野に存在することから堆積作用が常時働き肥沃度を維持向上させる。一方、畑作では土壌侵食と養分の溶脱が進行し、農耕によりさらに加速する。畑作では土壌侵食を抑えても、土壌肥沃度を維持向上させるためには施肥以外方法はない。水田稲作では土地は平均化され、畦畔で囲われるため侵食は防止され、さらに灌漑水により土壌は還元状態となるため、一部養分を可給態に変えるとともに灌漑水からの養分供給も期待できる。この結果、原則的には水田稲作は休閑の必要はないが、最も重要な制限因子は灌漑水の確保である。

アジアの水田稲作はモンスーンの降雨に依存するため、雨期とともに作付けし、乾期に収穫する年1回の作付け体系であった。このような天水依存の水田稲作は作付け時期の変動と旱魃の影響を受けやすく、農民は小規模な灌漑設備の構築に多大な努力を払ってきた。

第二次世界大戦後に始まったアジアでの近代灌漑設備の整備により灌漑面積は急速に拡大し、現在では水田面積の約50%に達したと推定されている。水田稲作の安定性と生産性の向上には十分な灌漑水の確保が絶対条件である。特に1966年以降、IRRIにより創出された高収量米の普及による「緑の革命」はアジアの水稲収量の急激な飛躍を実現させ、灌漑水の重要性はさらに大きくなった。従来の在来種は感光性を持つため栽培にはモンスーンによりもたらされる雨期の降雨を利用した時期だけに限られていた。しかし、高収量米は非感光性と短期種であるため、栽培時期を限定されないが、多収をもたらし集約栽培には灌漑水は必須条件である。この結果、灌漑設備の整備は高収量米の普及だけでなく、在来種の作付け時期と収量の安定化と二毛作を可能とする農業体系をもたらしした。上述のように東南アジアの気候条件下では近代灌漑設備の整備は農業生産の安定化をもたらしたと考えられるが、これら灌漑整備は幹線水路に限られ、末端では依然として伝統的な灌漑様式が行われている場所も多く、水管理を如何に行うかが重要な課題である。現状でのアジアの灌漑水田は水利構造から4種類に分類される。a)中間山地に多く見られる量水や分水施設を全く持たない最も単純な構造のもので“Simple irrigation system”といわれるもの、b)頭首工にのみ制水や分水施設を持つ“Semi-technical irrigation system”、c)水路レベルまで量水、分水および取水のための必要な設備を全て備えている“Technical irrigation system”さらに、d)圃場レベルまで量水、分水、制水を完全に行うことのできる“Advanced technical irrigation system”に区分される⁴⁾。東南アジアではa)、b)の灌漑システムが一般的であり、タイ、マレーシアの一部にc)のシステムが見られるものの、全てを完全にコントロールするd)のシステムは日本に見られるだけである。特にd)のシステムは多額な設備投資と維持管理経費を必要とすることから今後の東南アジアにおける灌漑システムはb)、c)が主流になると考えられる。また、安定した灌漑水の確保には河川から得られる水資源が最も重要であるが、現在の東南アジアの経済発展にともない灌漑水として用いられる水資源の状況も大きく変容した。東南アジアにおける近代化は単位面積当たりの収益を重視する「経済の物差し」による経済発展をもたらしした結果、「経済の物差し」と尺度の異なる農業生産に大きな影響を与えつつある。ここでは熱帯雨林気候に区分されるインドネシア共

和国でも特に高い灌漑水田面積を持つ西ジャワ州、バンドン県での急速な工業化、都市化が灌漑農業におよぼす事例を紹介する。

4 アジアの工業化と灌漑農業

インドネシア共和国は大小17,500あまりの島々から形成され、その全国土面積は約200万km²にも及ぶ。総人口は1997年2月に2億人を突破し、世界第4位の人口を擁する島嶼国家である。この国の特徴は人口、食料生産、都市化および工業化の全てがジャワ島に集中し、この国の雇用、経済活動に著しい不均衡を生じていることである。人口分布からも全人口の3分の2に相当する約1億人が、全国土面積のわずか7%にすぎないジャワ島に集中する超過密都市とカリマンタン、スラベシ、スマトラおよびイリアンジャヤ島の外島と呼ばれる超過疎地域が存在することからも示される。食料生産ではインドネシアの総水田面積は全国土面積の9%に相当する約820万haが存在し、その約32%がジャワ島に分布する。さらにジャワ島水田の約70%は灌漑設備を持つ水田であることからジャワ島の水稲生産力の高さがうかがわれる⁵⁾。

1949年独立以後、スカルノ大統領により国家建設が始まり、「開発の父」といわれるスハルト政権のもと25カ年の長期計画（Replita I～V）により経済開発を重点課題とした国家建設が進められている。特に農業部門に関しては、独立以来、最重要国家課題であった米の自給を1984年に達成した。米以外の農業生産物は多岐に渡り、米の自給達成後これらの生産量は大幅な伸びを示している。一方、工業部門においても産業育成政策の導入により国内工業向けの原材料の生産、輸出用製品、半製品の生産など着実に進展している。このような経済発展を背景とし、インドネシア社会の変化も急速に進み、都市部のみならず、この国の食料生産を支えてきたジャワ島農村部での生活パターン、農業様式および農業技術に大きな変容をもたらした⁶⁾。

この地域の土壌は水さえ確保されれば高い生産力を示す。この優良な農耕地がバ

ンドン市の人口増加と拡大により転用され、また工業用地として売却されている。この結果、農家が所有する農地面積の減少と不動産としての価値を見越した土地の買い占めが増加する傾向にある。この傾向は西ジャワ州での農業実態を反映する結果である。

バンドン平野を流れるチタリウム川は工業用水として利用されるばかりでなく、145の工場群より排出される工場排水による汚染が進み、1990年には西ジャワで有数の汚染河川となった。チタリウム川上流に位置するチワレンケ用水周辺に存在する31の工場は工場用水としてこの用水より0.8t/秒を利用する。一方、この用水に水を供給するワングサグラダムの供給能力は乾期には2t/秒、雨期には4t/秒であるが、約600haの灌漑面積に必要とされる灌漑水量は2t/秒であることから、乾期には灌漑水量が不足する。この結果、以前はチワレンケ用水により水稻の2期作と乾期の間作が可能であった灌漑地域でも乾期の用水不足により間作が不可能となり、さらには水稻も1作のみかろうじて可能である地域が増加している。特に用水路末端でこの傾向が著しい。さらにチタリウム川支流より直接灌漑水を採用する地域では、工場排水により汚染された河川水を直接導入するため、作物の生育障害だけでなく農耕地汚染の可能性も懸念される。

5 アジアの乾燥地の灌漑

地表からの年間蒸散量が年降水量を上回る地域を一般に乾燥地と呼ぶ。この地域での土壌生成は水による化学的風化をほとんど受けず、日温度較差による物理的な風化を強く受ける。その結果、水に可溶性塩類を多量に含んだ土壌が生成する。このような乾燥地土壌の分布を図3に示した。アジア地域にはインド北部からパキスタン、中国黄淮海平原に分布する。乾燥地土壌では土壌水は下層から上層に向けて移動する傾向が強い。さらに強い物理的風化を下層まで受け、表層は砂質であるものの下層には粘土の集積した不透水層が存在し、水可溶性塩類が土層内に満遍なく分布している。

近代灌漑農業はアジアの乾燥地にも大量の灌漑水を導入し、乾燥地での農業生産を拡大した。しかし、大量の灌漑水の導入による乾燥地土壌の問題は塩類化である。灌水時には土壌中の水の動きは上層から下層であり、灌漑水に溶け込んだ大量の塩類は一次地下水となり蓄積され、灌漑の停止に伴い毛管現象により塩類は表層に集積する。塩類の集積は不透水層の位置が浅いほど短期間に起こる。さらに乾燥地土壌の塩類化を促進させる要因は灌漑水の水質である。灌漑水として利用される河川水、地下水は土壌条件を反映し、当然塩類濃度は高い。その結果、灌漑水により持ち込まれる塩類が負荷されることとなる。塩類土壌の改良は作物栽培の観点からすれば、土壌中の塩類を全て溶脱させる必要はなく、作物根圏の塩類濃度を低下させればよい。すなわち灌漑水でどの程度除塩されるかを示す除塩率を向上させることである。

塩類化が農業生産に重要な影響を与えてきているパキスタンの事例を紹介する。

1) パキスタンの土壌劣化と農業生産

1947年の独立以降、約半世紀の間に人口は3倍以上に増加した。この人口を扶養するため、農業生産の増加により土壌環境には多くの問題が顕在化してきた。

最も大きな問題は、この国の大部分が半乾燥～乾燥地域に存在ことから、水が農業生産の最大の制限因子として位置づけられることである。これを克服するために世界でも類を見ないほどの灌漑設備の発達、作土層への塩類の濃縮と土壌表面への塩の集積、さらに灌漑水路からの漏水による湛水とともに1950年代後半より塩類土壌、ナトリウム土壌として農業生産への影響がインダス平野を中心に顕在化した。

また、この国の地形的な要因から、インダス平野周辺の丘陵・山岳地帯では水、風による土壌侵食が深刻な問題である。土壌侵食は農業生産に重要な表土の損失を引き起こすと伴に、砂漠化の要因にもなる。

2) 土壌劣化の形態

一般に、多く作物の通常の生育を妨げる地下水位をもつ地域を湛水地域と定

義される。湛水と定義される地下水位はその作物により異なるが、マンゴのような果樹を除き、地下水位が1.5mで減収が認められ、さらに1~0.75mで25%程度の減収をもたらす。

湛水により引き起こされる土壌、作物への影響は、植物根圏の還元化と酸素の減少、土壌風化により放出された塩基類による土壌の塩類化、さらに作物の倒伏および病害虫の増加が挙げられる。

湛水地域の改良には地下水位を低下させることが最良の策であり、現在までに行われてきたSCARPによる排水も一部地域では有効であるものの、排水路の確保と土壌物理性および地域特性に適応した明きょ、あるいはもぐら暗きょ、弾丸暗きょ等の設備が必要不可欠であろう。これは地下水位の低下だけでなく、塩害の軽減にも極めて重要である。

一方、湛水の原因である灌漑水路からの漏水の防止も極めて重要であり、これには水路のライニングが有効である。

土壌塩害はこの国で最も重大な問題のひとつであり、試算によれば、耕作可能地の約120万ha以上の土地は何だかの塩類障害を受け、作物生産の制限因子となっている。また、年間4700万\$の経済的な損失をパキスタン経済に及ぼしていると推定されている⁷⁾。塩害が水稻栽培以外の作物収量に及ぼす影響は、部分的な塩害地域では20%、強度の塩害地域では60%の減収が認められる。

この種の問題土壌は乾燥～半乾燥地域の排水不良な状態下で発達する。特にこの国の土壌母材は未熟な海成堆積物を主体とする沖積土壌であるために Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 等が主要構成イオンである。乾燥気候による強い風化作用は土壌溶液中の可溶性塩類濃度の増加を招く。また、各種可溶性塩類を含む地下水を灌漑用水として用いることも可溶性塩類濃度を増加させる原因となる。これら可溶性塩類の濃縮、集積が植物生育を制限する要因となる。

この種の問題土壌は塩類土壌、ナトリウム土壌およびそれらの複合した塩類-ナトリウム土壌の3種類のタイプが存在する⁸⁾。塩類土壌は土壌の水飽和抽出液の電気伝導度electric conductivity (EC)が 4mS/cm (25℃) 以上の土壌をいう。こ

のEC値は一般の土壌の10～100倍に相当する。ナトリウム土壌は交換性陽イオンの15%以上をナトリウムイオンが占める土壌でESP（交換性ナトリウムの割合）で評価される。また、乾燥地農業では灌漑水の水質により塩類集積は加速される。灌漑水の判定には電気伝導度（EC）とナトリウム吸着比sodium adsorption ratio (SAR)を組み合わせた方法が用いられる。SARは各イオンの単位をmg当量/Lで表し、 $Na/\sqrt{(Ca+Mg)/2}$ により算出される。

塩類土壌 (Saline soil)は塩類の大部分が塩化物、硫酸塩および硝酸塩であり、主要な陽イオンはカルシウム、マグネシウムおよびナトリウムであるが、ナトリウムイオンの存在割合は可溶性全陽イオンの50%を越えることはない。分類では $EC > 4dS/m$, $ESP < 15$ となっている。これらの土壌のpHは8.5以下であり、乾燥期には土壌表面に白色の皮膜または土壌中に塩類の集積が認められる。この土壌では塩化ナトリウム、硝酸ナトリウム、硫酸ナトリウム等の中性塩類濃度が増加し、植物根により利用される土壌溶液の浸透圧が植物根のそれ以上に高まり、植物による水分吸収を阻害する。さらに塩類の集積により土壌の萎凋係数が上昇し、土壌水分量が減少する。また、植物の養分吸収は毛根により行われ、共存する他の位のイオンの濃度と性質に支配される。このため植物の水分吸収に影響を与えないほどに弱い塩類土壌の場合でも土壌から必要とする養分の吸収に影響を及ぼす。

ナトリウム土壌 (Sodic soil)の特徴はpHは8.5～10を示す塩類土壌より強いアルカリ土壌であり、土壌溶液中にカルシウム、マグネシウムをほんの僅かしか含まず、ほとんどがナトリウムイオンであるため、分類基準は $EC < 4dS/m$, $ESP > 15\%$ である。土壌粘土はナトリウムイオンにより飽和されるため、分散性が高く、土壌腐植はアルカリ性の土壌溶液により溶解されている。さらに過剰のナトリウムは有機物までも高度に分散すると伴に、土壌粒子表面に分布し、土壌表面は黒色を示している。

ナトリウム土壌では先に述べた塩類土壌のような植物生育阻害を引き起こすとともに、高度に分散した粘土が土壌表面に集積し、土壌の耕耘を困難にし、水の浸透性を低下させる。さらに分散した粘土が下層に移動集積するために非

常に緻密な層位を形成し、上部には粗い土性の薄い表土が残される。この様に土壤の物理性が完全に破壊されるために、透水性が低下し、土壤からの排水を妨げる。さらに土壤硬度は上昇し、植物根の貫入を阻止するとともに、通気性も損なわれ、局所的な還元状態による有害な還元性化合物の生成をもたらす。

塩類-ナトリウム土壤 (Saline-sodic soil)は塩類土壤と同様に高濃度可溶性塩類 ($EC > 4dS/m$)が特徴であるが、交換性ナトリウム割合 ($ESP > 15\%$)が高い点で塩類土壤とは異なり、塩類およびナトリウム土壤の両者の性質を合わせ持った問題土壤である。この土壤ではナトリウム以外の可溶性塩類が多量に存在する限り、ナトリウム土壤のような高分散性に由来する困難な問題は生じない。もし、可溶性塩類が下方に洗脱されると、 pH は8.5以上を示しナトリウム土壤と同様な問題が生じる。また、可溶性塩類上方に移動するとコロイドに吸着されたナトリウムはカルシウムと交換され、土壤 pH は8.5以下に低下し塩類土壤と同様な問題が顕在化する。

3) 塩害土壤の分布と改良

パキスタンにおける塩害土壤の分布は各種研究機関により調査が実施されているため、調査時期、方法および分類基準が異なるためその面積はかなりの食い違いがある。ここではThe soil survey Pakistan reportに基づき推定した結果を表1に示した。

調査された634万haの中で約105万haは何だかの塩害を受けた土壤が存在し、さらにこの中で55万haは塩類-ナトリウム土壤である。また、25万haの塩害土壤は塩類濃度の高い地下水の灌漑により引き起こされたものである。

塩害はインダス平野に顕著に認められ、この地域の地形学的な特徴ばかりでなく、数千年にわたる灌漑農業が引き起こした人的災害でもある。

塩害土壤の改良には塩類の洗脱による根圏域からの塩類の除去が最大の課題である。すべての改良方法に共通する事は、その原因となった地下水位を低下させるとともに、排水路を確保することである。地下水位が低下しない限り、如何なる改良方法を用いても、塩害の再発は避けられない。

さらに塩害土壌には3種類の異なった性質を持つ問題土壌が存在するため、各土壌の性質に適した改良方法を実施しなければならない。除塩は除塩に必要な水量を正確に算出しなければならない。塩類土壌では水で洗脱を行う物理的な改良がそのすべてであるが、ナトリウム性土壌および塩類-ナトリウム土壌では化学的な改良法と組み合わせて実施されなければならない。

塩類土壌の改良には根圏域からの塩類の除去は灌漑水による洗脱による方法が最も有効な方法であるが、大量の水を必要とする。この場合、灌漑水の下方浸透が速やかに行われなければならない。しかし、インダス平野の大部分を占めるEntisolおよびAridisolにはArgillic層と呼ばれる粘土の集積層を持つ土壌も存在することから、粘土層の破碎、暗きよ、明きよの設置が必要である。もし排水設備がない場合には大量の水の添加は地下水位を上昇させ、表層土壌への塩類の集積を招く。

ナトリウム性および塩類-ナトリウム土壌の改良は排水設備および大量の灌漑水の使用は前述の塩類土壌と同様であるが、硫酸、塩酸、石膏、イオウ等の化学薬品の併用により改良効果は飛躍的に向上する。この化学処理の基本は土壌コロイドに吸着した交換性ナトリウムのカルシウムによる交換と交換されたナトリウムおよび炭酸塩をすべて硫酸ナトリウムとして洗脱する事である(図4参照)。また、硫酸、塩酸の添加は炭酸塩を解離させるとともに土壌中に存在するCaCO₃よりカルシウムを遊離させ、ナトリウムと交換させる方法である。イオウ添加の場合も土壌中で酸化されると硫酸を生成するため、硫酸の施用と同様な効果が得られる。この結果、土壌のpHは低下しコロイドは凝固する。さらに土壌物理性は大きな孔隙が発達し透水性が増加することにより改善される。

また、中程度以下の塩害地の改良には時間を要するが、植物を用いた除塩も有効であると考えられる。特にメイズ、ミレット、ソルガムのような深根性作物は除塩だけでなく土壌物理性の改善にも効果が期待できる。さらに塩害土壌のような無機質過多の土壌では生物的な関与は少ないと考えられがちであるが、藍藻類の生育は旺盛であり、特に*Anabaena ssp.*は塩害土壌に普遍的に認められる。また、*Anabaena ssp.*の特徴は高い窒素固定能力有することであり、耐塩植

物への窒素供給源としても有用である。

有機物の施用も塩害土壌の改良に有効性が認められる。農産廃棄物の土壌施用は有機物の分解に伴い生成する有機酸による炭酸塩の分解とカルシウムイオンの解離によるナトリウムイオンとの交換反応、土壌への有機物および肥料成分の供給が期待できる。さらに植物残さによる表土のマルチングは土壌侵食を防止するだけでなく土壌への有機物の供給、土壌水分の蒸散防止等の副次効果も期待できる有効な方法である。

従来の塩害土壌の改良にあたっては大量の灌漑水を用いた洗脱が主流である。しかし、国際開発センターの実施した塩害、土壌侵食等の農地劣化の報告書によれば、インダス平野での灌漑水量は平均化された場合、年間約800mmと推定されている。これと自然降雨をあわせても1000mm以下の水量しか確保できず、塩類の洗脱に十分とは言いがたい。さらに局所的にはこれを下回る地域も多いと考えられ、良質の灌漑水の確保が最大の課題となる。これを解決するには地下水として大量に存在する水資源を如何に利用するかが課題となろう。地下水は均一な水質ではなく、土壌中の粘土層の分布によりその性質は大きく異なる。そこで、地下水の水質を灌漑地域ごとに細かく調査し、条件を満たす地下水については積極的に利用する方法も考えられる。この利用に関しては塩類濃度の低い地下水と塩類を含まない灌漑水を交互に用いて洗脱効果の向上ねらう方法である。

1950～60年代に顕在化した塩害に対し、SCARP(Salinity Control and Reclamation Project)による地下水位のコントロール、LBOD(Left Bank Outfall Drain)による排水路整備事業、On-Farm Water Management Projectによる末端水路の漏水、排水改良事業など各種改良事業実施され、ある程度の改良は成功している。

表2に各州における表層土壌の塩害の分布割合を示した。1950年代から1970年代にかけて各州ともEC 4 dS/m以上の塩害地の分布割合は確実に減少している。しかし依然としてインダス平原全体では100万ha以上の塩害を受けた地域が存在する。さらにこの中には改良方法が複雑なナトリウム土壌が55万ha以上存在し

ている。この結果は、灌漑水を用いた洗脱により塩類土壌の改良は行われたものの、塩類の溶脱後にナトリウムの集積を起こしたナトリウム性土壌が二次的に生成したことが予想されことから、今後このナトリウム性土壌の拡大に留意する必要が認められた。

パキスタンの農業生産性はインダス平野の土壌条件によるところが大きい。この問題の克服には先に述べたような様々な改良手法が確立されている。また、ファイザラバードを中心とする各大学研究機関の技術水準もかなり高いレベルにある。しかし、問題の完全解決には至っていない。この原因は画一的な改良手法が取られたため、問題発生地域の土壌条件、地質条件、環境条件さらに社会構造、経済条件に即した改良手法が取られていないことである。さらに改良後の維持管理には、土壌中の塩収支を考慮して用水量と排水量を決定しなければならない。土壌中の塩類濃度を設定値以下に抑える適切な用水量leaching requirement (LR)の算出が今後の重要な課題である。

湛水、塩害土壌に限れば、地下水水質を十分に評価した地下水資源の灌漑再利用、植物資源を利用した除塩、地下水位低下対策など地域性に即した手法が必要である。塩害については改良に必要と考えられる灌漑水量の絶対的な不足が制限要因となるであろう。また、塩害地域では塩害の種類とその分布状況は年々変化する。塩害の詳細な調査が実施されない限り、的確な改良手法は策定できないであろう。

6 アジアの灌漑農業

人類は地球上の陸地面積のわずか11%の優良農耕地と生産性の低い土地を利用して60億に達する人口を扶養している（図5）。東南アジアでは無機質過多、南アジアでは乾燥地等の問題土壌が今後の食糧生産を向上させるための必要な土壌資源となるはずである。東南アジアでモンスーンによりもたらされる貴重な水資源の管理と土壌侵食防止が重要であり、乾燥地を抱える南アジアでは水資源の確保と利用方法、さらに既に広大な面積に達した塩害土壌の改善が重要な鍵となる。

参考文献

- 1) (財) 国際開発センター：地球環境のための農業資源管理計画基礎調査報告書 35-91 (1994)
- 2) K. Kawaguchi and K. Kyuma (1977) : Paddy Soil in Tropical asia, Their material Nature and fertility, 10-25, The University press of Hawaii, Honolulu
- 3) 田中明 (1997) : 熱帯農業概論、121-136、築地書館、東京
- 4) E. Kohono (1995) : Irrigation paddy fields in Java, Indonesia, T. Tabuchi and S. Hasegawa Ed., In Paddy field in the world, 81-96, JSIDRE Tokyo
- 5) 農用地整備公団 (1994) : 海外水田農業環境保全効果調査中間報告書、121-128
- 6) 池田寛二 (1997) : 「緑の革命」以後のインドネシアにおける農業開発と環境変動－西ジャワ州を事例として－、廣瀬昌平編「アジアの食料と環境を考える」 43-73、龍溪書舎、東京
- 7) SSP (1963) : Soil survey report of the soil survey of Pakisten, Lahore 63-83
- 8) R. K. Gupta and I. P. Abrol (1990) : Salt-affected soils, In Advances in soilscience vol. 11, 224-288, Springer-Verlag, New York

表1 塩類土壌とアルカリ土壌の分布面積

塩害の形態	面積 (million ha)
強度塩類・アルカリ土壌	1.21
弱度塩類・アルカリ土壌	13.84
石膏施用、強度塩類土壌	2.47
管井戸利用によるアルカリ土壌	2.50
合計	10.49
表層塩類・アルカリ土壌	3.96

Source : SSP (1963-1988)

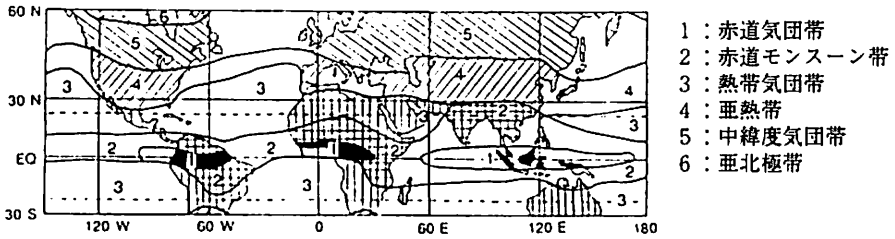
表2 インダス平野における表層塩害土壌の年度別変化

州	調査年度	調査面積 (million ha)	EC<4	EC4-8	EC8-15	EC>15	EC>4
			非塩害	弱度塩害	中度塩害	強度塩害	弱~強塩害土壌
%							
Punjabu	1953-65	9.97	73.1	15.9	4.8	6.1	26.9
	1977-79	9.96	85.5	7.1	4.3	3.0	14.5
Shind	1953-65	5.48	26.3	28.5	17.5	27.7	73.7
	1977-79	5.42	51.7	19.2	10.7	18.5	48.3
Balochistan	1953-65	0.35	69.6	14.5	7.2	8.7	30.4
	1977-79	0.35	74.3	17.1	4.6	4.0	25.7
NEFP	1971-75	0.56	82.9	10.8	3.8	2.5	17.1
	1977-79	0.55	86.8	9.0	2.4	1.8	13.2
Pakistan	1953-65	16.37	57.6	20.0	9.1	13.3	42.4
	1977-79	16.28	74.1	11.4	6.4	8.1	25.9

表層塩類土壌の分類には表土のEC（電気伝導度）に従った

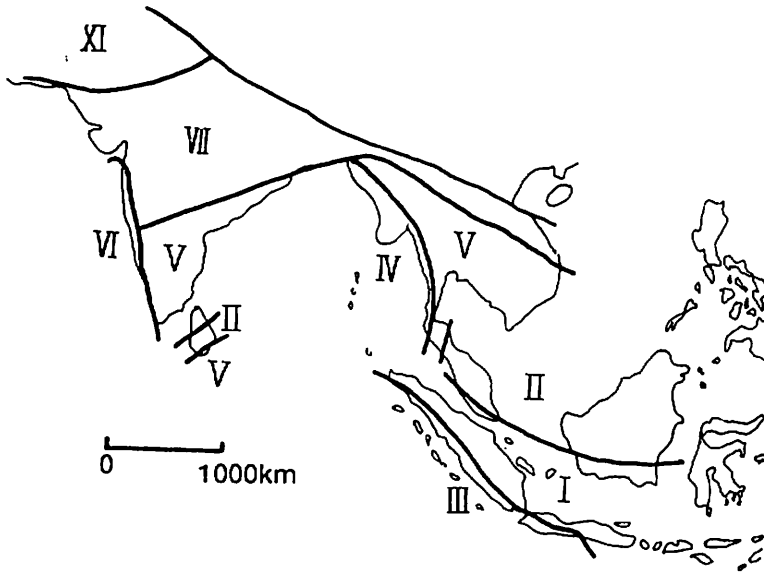
Source: WAPDA, Soil Salinity Survey Vol II, 1981

図1 アリソフの気候区分



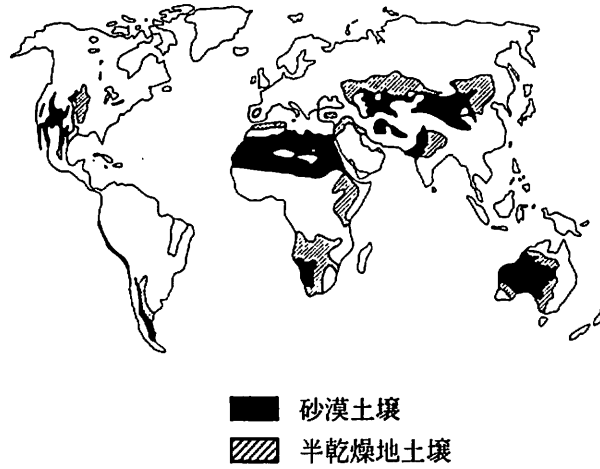
出所：福井英一郎他編：日本・世界の気候図、東京堂出版（1985）を一部改変

図2 数値分類によるアジアの気候区分



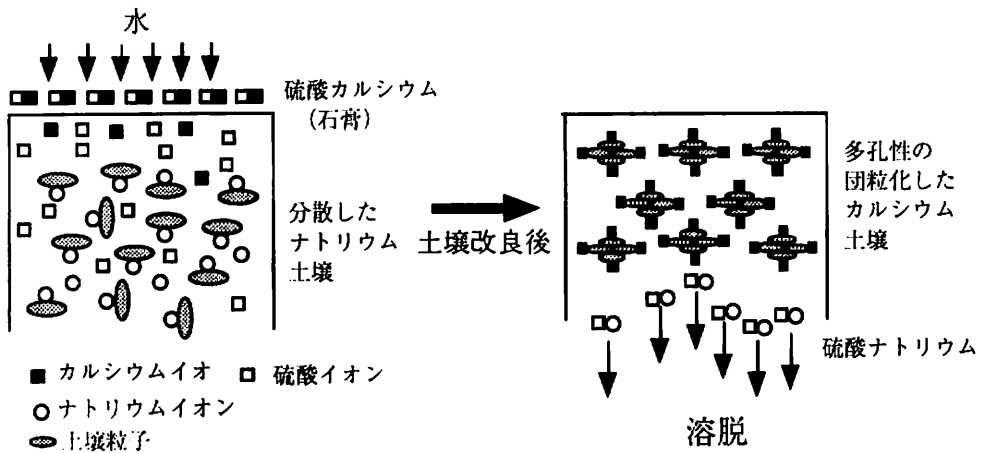
出所：K. Kawaguchi and K. Kyuma, Paddy soil in tropical Asia, the university press of Hawaii (1977)

図3 世界の乾燥地土壌の分布



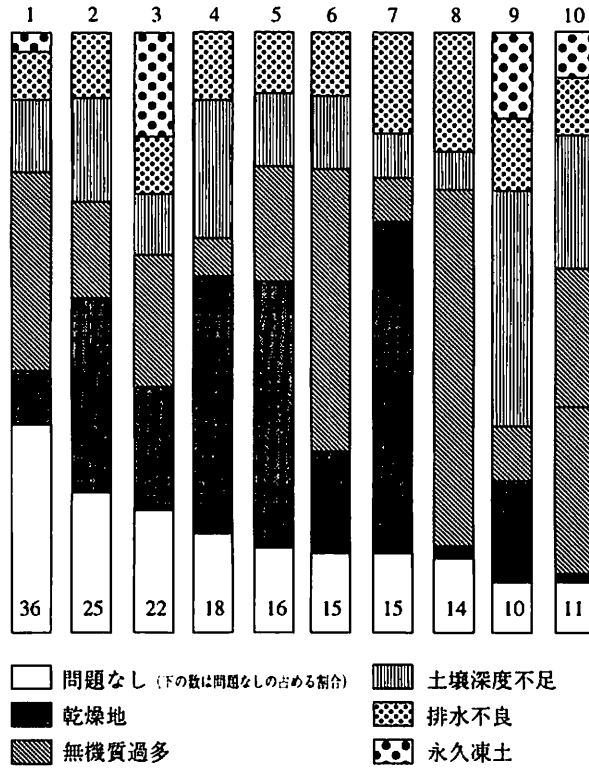
出所：M. Mainquet: Desertification, Springer-Veriag (1991)を改変

図4 交換性ナトリウムの硫酸カルシウム（石膏）施用による除去方法の概略



Source: Chemical Amendments for Improving Sodium Soils, Agr. Inf. Bull., 195 USDA, 1959

図5 世界の土壌資源



1. 欧州、2. 中米、3. 北米、4. 南アジア、5. アフリカ、6. 南米、7. オーストラリア州、8. 東南アジア、9. 北・中央アジア、10. 全世界

出所：R. Allen, How to save the world, Kogan Page (1980)

モンスーン・アジアデルタ地帯における 水資源開発と稲作発展の可能性

大阪学院大学経済学部
教授 福井 清一

1 はじめに

世界は、今後急速に増え続ける人口を、限られた資源で養う必要がある。食糧需給については、米ワールド・ウォッチ研究所のレスター・ブラウン所長のように食糧需給の逼迫を予想する悲観論から、国際食糧政策研究所（IFPRI）のように、単位収量増加により供給余力は充分という楽観論まで様々である。ただ、青山学院大学の速水教授が指摘されるように、80年代に入ってから穀物価格は趨勢的に下がり、食糧問題に対する関心も低下し、食糧生産に関する研究開発投資が停滞する一方で、高収量品種の導入による生産増加も頭打ちになりつつあることから、世界的な食糧危機の可能性が高まっていることも事実である。^{注1)}

我が国も含まれるモンスーン・アジアでは、食糧と言えば、米であるが、米についても将来の需給についての見方は分かれている。米国アーカンソー大学グループの予測結果は楽観論を支持しているし、国際稲作研究所（IRRI）社会科学部門の主任である、M. Hossain博士の個人的見解は、米輸出国の供給制約を懸念し、むしろ悲観的である。^{注2)} このように、米需給の将来については、不確定要素が多く、的確にそれを予測することが困難な状況にある中で、順調な経済発展を遂げてきたアジアの2大米輸出国、タイ・ベトナムの米輸出拡大に黄信号が、灯り始めている。その一方で、潜在供給能力はこの両国を上回ると言われながら、これまで停滞を続けてきたミャンマーの米生産拡大に期待が高まっている。

本稿では、アジアにおける米の輸出基地と位置づけられる、東南アジア3大デルタにおける米生産の現況を紹介し、稲作用水資源開発の可能性と稲作発展の方向について検討したい。

2 東南アジア3大デルタにおける米政策と米生産の現況

タイ国は、石油ショックの影響を受けながらも、比較的順調な経済発展を遂げてきた。そして、とりわけ80年代後半以降、輸出主導の急速な経済成長を達成してきたのだが、最近年になり、労賃コストの急騰によりこれまで低賃金・低価格を武器に輸出を牽引してきた労働集約的産業に停滞の兆しが見え始め、産業構造の転換を余儀なくされている。このような構造転換の必要性は、工業部門に対して相対的に労働集約的な農業部門においてより強いものであった。

80年代後半以降における米生産の推移を表1によってみると、タイ国全体では過去10年間で作付面積が12%減少しているにもかかわらず、反収の増加により生産量は4.2%増加している。チャオプラヤ・デルタを中心とする中部タイについては、作付面積が20%近く減少している一方で反収の増加も著しいため、生産量は0.3%逆に増加している。これは、工業化・都市化により農地価格や労賃水準の上昇がより顕著な中部タイにおいて、稲作以外の用途に水田が転用される一方で、より良好な灌漑条件を背景に要素価格の変化に対応した機械化技術や生物・化学的技術進歩により土地生産性の向上が推進されたためである、と考えられる。

このような大きな変化が起きた80年代後半以降、稲作農業の構造変化を支援すべく米政策の面でもまた、ドラスチックな変化がみられた。1986年にはそれまでの、米の輸出税・ライスプレミアムが廃止され農業搾取型の政策から、稲作農民に対する農業協同組合銀行（BAAC）を通じた低利担保融資の増加など、農業保護型政策への転換が実施されたのである。

このように経済発展に対応して柔軟に構造変化を遂げてきたタイ稲作農業であるが、今後も同様の生産性向上を維持できるかという点必ずしも楽観できない。これは、賃金水準の上昇や農地転用価格の高騰に対して稲作部門のより一層の構造改革が必要であるにもかかわらず、灌漑面積比率が低くかつ灌漑面積の拡大が期待でき

ないことや、非農業用水需要の増大が見込まれることなどから、改革がスムーズに進捗せず、仮に今後国内の米需要が減少し、なおかつ国際価格が強含みに推移したとしても、輸出余力は低下する、と考えられるからである。^{注3)}

ベトナムの場合は、1988年に農業制度の改革（ドイモイ）に本格的に着手して以降、経済情勢も好転し、比較的高い経済成長率を維持してきている。農業部門も、その発展はめざましく、とくに米生産量は一貫して増大してきている（表2）。そして、1988年まで米の純輸入国であったベトナムが、89年以降は100万トンを超える米の大輸出に転じている。

この間、稲の作付面積は、1985年の570.4万ヘクタールから95年の676.6万ヘクタールへ19%増加し、収量水準も2.8トン／ヘクタールから3.7トン／ヘクタールへ32%上昇した結果、生産量は1587.5万トンから2490.4万トンへと57%も大幅に増加している。一方、この間に水田面積はむしろ減少しているので、灌漑面積の拡大による多毛作化と収量の増加によって生産増大を達成しえた、といえよう。

これを、主要稲作地帯の、紅河デルタとメコン・デルタそれぞれについてみると、紅河デルタでは10年間で作付面積がむしろ減少しているにもかかわらず、収量水準が51%上昇したことにより、生産量は50%増加している。これは、90年代に入り従来の冬作から収量の高い春作へとウエイトが移り、高収量品種の導入と肥料の増加が進んだこと、冬作、春作とも収量が著しく向上したこと、などによるものと考えられる。^{注4)} 他方、メコン・デルタでは収量水準の上昇は30%程度と紅河デルタより低かったが、作付面積が40%以上拡大したため、生産量は2倍近くにも増大した。このように順調な発展を遂げてきたデルタの稲作であるが、今後の見通しは必ずしも明るくない。

紅河デルタについては、灌漑未開発農地がほとんど残されていないこと、収量が既にかなり高い水準に達しているため90年代前半と同様の生産性向上は望めないこと、などから、従来のような生産増加は期待できないという見方が一般的である。また、メコン・デルタの場合は反収の増加率が、70年代、80年代、90年代と徐々に低下してきており、このことは、高収量品種の導入を軸とした新技術の普及が一巡し、技術進歩が停滞してきていることを示唆している。これに加えて、後述するよ

うに、農地の新規開拓の余地が極めて限られてきているだけに、生産拡大に対する強い制約が存在する、と言わざるを得ない。^{注5)}

これに対して、ミャンマーの場合、稲作セクターは70年代から80年代前半にかけての高収量品種の導入・普及期に一時的に顕著な発展を遂げた後、80年代中頃から1991/92年度にいたるまで停滞してきた(表3)。その主たる要因は、灌漑面積が増加せず新技術の普及が一巡したこと、外貨不足から輸入化学肥料の供給量を増加させられなかったこと、軍事政権による米の低価強制供出制度・二重価格制度および暗黙の計画栽培制度などが農民の生産増大意欲を阻害したこと、によるものと考えられる。しかしながら、92/93年度には、前年度における政府による新開地の開発、灌漑施設の建設、農民によるポンプ灌漑への投資により乾期作付け面積が増加し、政府による肥料供給量が増加されたこともあり、94/95年度までの3年間は米の大幅増産と輸出の増加とを達成した。95/96年度以降は、天候不良、肥料価格の値上げ、ポンプ稼働のために必要なdiesel oilの供給不足、などの要因により、再び減少に転じている。

ミャンマーの場合、ベトナム同様、1989年にそれまでの「ビルマ式社会主義」を放棄し、市場経済化を押し進めようとしているのであるが、そのテンポは、ベトナムに比べて遅いと云わざるを得ない。92/93年度から94/95年度までの米の大増産は、自由化により農民の生産意欲が刺激されたことによるというよりは、政府による灌漑インフラ改善や農業投入財の供給増といった増産指導に負うところが大きい。^{注6)} とはいえ、ミャンマーの潜在的米生産能力に対する評価は高く、a) 肥料価格が1990-2000年の間に50%引き下げられ、その後、生産物・要素価格比が維持される、b) 米価は今後、年1%の率で上昇する、c) 肥料投入量は年4%で増加、d) 灌漑面積は年率2%で拡大する、等々の比較的楽観的な仮定のもとで予測すると、2020年におけるミャンマーの輸出余力は560万トンに達するという推計もある。^{注7)} この数字は、多少楽観的に過ぎるとも考えられるが、稲作については100万ヘクタール前後の未開墾地面積が存在する、といわれていることを考慮すると、政策さえ適切であれば強ち不可能とは言えない数字である。

このように、中・長期的に見て、従来 of 2 大 米 輸 出 国 の 供 給 余 力 の 維 持 ・ 拡 大 に

ついて否定的な見方が支配的な状況にある中で、ミャンマーにおける稲作発展への期待度は高くなっている、というのが現状である。

3 東南アジア 3 大デルタにおける水田灌漑開発と今後の課題

タイのチャオプラヤ・デルタにおける稲作発展を目的とした大中規模灌漑システムの開発は古く、19世紀末にはすでにラングシット地区で灌漑を含めた多目的水路の建設が行われていた。戦後、1950年代のチャイナート・プロジェクトを皮切りに、1960年代前半までに、いはゆる大チャオプラヤ・プロジェクトが施工され、60年代後半以降は、メ・クロン河の扇状地の灌漑を企図したメ・クロン・プロジェクト、デルタ上流部におけるプミボン、シリキット・ダム建設などが実施された。この間、大中規模灌漑開発のフロンティアが徐々に枯渇し、面積当たりの灌漑投資費用は急騰していった。その結果、中部タイにおける大中規模の灌漑プロジェクトは減少した。1956-85年の間における中部タイの新規大中規模灌漑面積は、150万ヘクタールと国全体の52%を占め、その6割が、60年代前半までに建設されたものである。80年代後半には、政府の灌漑開発予算も減少し、それ以降灌漑面積も停滞している（表4）。

このように、デルタ地域では、稲作のための新規の水資源開発が滞る中、80年代後半からの高度経済成長の結果、1990年代に入るところから、家庭用・産業用・工業用・商業用等の様々な用途の水需要が急増し、各地で既存の水資源をめぐる紛争が深刻になりつつある。^{注8)}

デルタの中心地帯でもあるバンコク首都圏地域は、工業化や都市化が最も急速に進展した地域でもあり、水問題はこの地域で最も先鋭に現れた。デルタ地帯における灌漑稲作農業の場合、以前からバンコクの非農業部門との水利用の競合が生じていたわけであるが、バンコク首都圏における非農業用水への需要の急増により、デルタ流域内の競合が激化することになった。また、中部におけるチャオ・プラヤ・デルタから

の給水量は、デルタ上流部のプミボン、シリキットダムからの水供給に依存しているが、北部における種々の水需要の増加により中部への水供給が減少してきた。このデルタ上流部との水利用の競合は、デルタ内部の競合を一層激化させた。

チャオ・プラヤ河からの水供給は、特に乾期において、もはやバンコク首都圏地域の水需要の増大を賄うことができず、地域の水不足の解消のため、メ・クロン河、タ・チン河流域とチャオ・プラヤ河流域の運河をリンクさせることにより、不足分を補おうという計画が政府により1985年に立案された。しかし、この計画は多くの農民を含むメ・クロン、タ・チン両河川流域住民の反対に直面し、政府はあらためて、BMR地域およびその周辺地域の水不足対策を再考することを余儀なくされた。政府の対策の中でも、中部地域の農業部門への配慮が最も重視され、農民に5万の浅井戸掘削を奨励するために5億バーツの補助金が計上された。

以上のように、チャオ・プラヤ・デルタにおける稲作用水資源開発の余地は極めて少なく、限られた水資源をめぐる非農業部門との競争が激化する中で、デルタにおける水田稲作の発展には、厳しい制約条件が課せられているといえよう。

ベトナムの場合は、非農業部門との水利用の競合という問題は、タイほど深刻でない。しかし、デルタ地帯における灌漑インフラの増加には、以下で述べるように多くの制約がある。ここでは、ベトナム最大の水田稲作地帯であり輸出用米の生産地帯であるメコン・デルタの灌漑を中心に説明を加えたい。^{注9)}

紅河デルタについては、1994年時点で水田の灌漑率90%、排水整備率68%とすでに灌漑・排水施設がかなりの部分をカバーしており灌漑未開発な農地がほとんど残されていない、というのが一般的な見方である。灌漑インフラについての課題は、老朽化した施設のリハビリと維持・管理である。

メコン・デルタの水田開発は、フランス統治下での米の商業的輸出のために大規模な運河の掘削が行われたことに、端を発する。しかし、当時は天水に依存した伝統的稲作が行われており、作期も年一作であった。灌漑が行われるようになったのは、1970-71年頃にアメリカ製のボート用エンジンを改良した揚水ポンプが普及してからで、高収量品種を軸とした新技術の普及と相俟って、稲の二期作が急速に普及したという。また、ベトナム戦争終結後の政府による水路網の整備も灌漑条件を改

善した。ドイモイの実施以降も灌漑施設の整備が進められ、主として乾期作付面積の増加により、灌漑面積（作付）は1985年の125万ヘクタールから1994年の198万ヘクタールへと、10年間で73万ヘクタールもの増加をみている（表5参照）。

メコン・デルタでは、デルタ全体の用排水を一元的に管理するような水管理システムはいまだ存在しない。また、大部分が海拔2.5m以下であるので、雨期にはデルタの25%が河川洪水水位より下になり、乾期には海拔の低い地域で水位がマイナス標高となるなど、水位の変動が大きい。このため戦争終結後の水利事業では、雨期の洪水の排水と乾期の干満を利用した沿岸部淡水の上流部への送水とを、いかにするかにかに主眼が置かれてきたという。また近年における短かん品種の導入により、雨期の排水問題の解決がより一層重要な課題となっている。

このように、メコン・デルタでは灌漑排水のための水路網・揚水施設はすでにかかなりの程度建設されているものの、一元的水管理システムがいまだ形成されておらず、雨期の洪水対策、乾期の干ばつに対する有効な対策は講じられていないし、既存の水路網も維持・改修作業が必要である。このためには、多額の資金が必要であるが、政府の灌漑関係予算には限りがあり、海外からの援助に多くを依存せざるを得ず、簡単には実現しそうにない。残されている未開地も、硫酸塩土地帯の20万ヘクタールであり、開発は容易ではない。

タイ、ベトナムにおいては稲作用灌漑インフラの増加に対する制約が大きいのに対して、ミャンマーでは、利用可能な水資源の5%しか利用されておらず、100万ヘクタールもの稲作用未開墾地が残されているなど、未利用の水、土地資源が多く残されている、といわれている。^{注10)}

しかしながら、従来、灌漑水の利用による農業発展という方向は、ミャンマー農業の発展戦略の中で、重要な地位を占めていなかった。その結果、ミャンマーにおける灌漑面積および灌漑面積率は元来非常に低い水準にあった。灌漑面積は1960年代に増加したものの、その後1991/92年度にいたるまで、灌漑面積も灌漑面積率もほぼ横ばいであった。しかし、91/92年度から95/96年度までの間に政府は十分な水供給を確保するために、1) ダム、堰、溜め池の建設、2) 既存のダム、溜め池の改修、3) 洪水や満潮時に河川、クリーク、小川などを堰き止め、水を貯水するための水門の

建設、4) 地下水利用、5) 農民に揚水ポンプの使用を奨励するための低利融資の拡大、燃料の低価供給、などのための灌漑対策予算を増加させた。その結果、水利組織や行政による水管理の必要が比較的少ない、揚水ポンプを利用した乾期稲作の作付面積が拡大し、灌漑面積率も95/96年度には19.2%（稲だけに限ってみると、約30%）にまで上昇した（表6）。しかし、96/97年度には、ポンプの燃料であるディーゼル・オイルの供給不足によりポンプ灌漑の面積が減少し、灌漑面積率は16.4%に低下する見込みである。

ミャンマーにおける稲作の中心は、エヤワジ、ペゲー、ヤンゴン管区の下ビルマデルタ地帯であり、これらの地域だけで米の作付面積の約6割を占める。これらデルタ地帯においては、メコン・デルタ同様一元的な水管理システムは存在せず、しかもメコン・デルタのような縦横に張り巡らされた水路網もいまだ整備されていない。稲作の形態は、主として天水に依存した雨期作であるが、河口に比較的近く、潮汐の影響で雨期と乾期の水位差が小さいためポンプ灌漑により適していることから、先述したように、近年では河川や水路からの個人による揚水ポンプを利用した乾期作も一時増加したが、96/97年度は、減少に転じた見込みである。これは、政府による米の管理政策により、米の国内価格が国際価格に比べてかなり低く設定されているため、ディーゼル・オイルなど投入要素の政府による低価供給が不十分である場合には、米より灌漑水を必要としない豆類などの方が収益性が高いためであると考えられる。また、雨期の洪水や余剰水を排水したり、乾期に満潮時の河川表流水（淡水）を貯水し、灌漑用水として利用するための水門の建設なども、政府によって実施されているが、稲作への影響はいまだ定かでない。

このように、ミャンマーにおける下ビルマデルタ地帯におけるコミュニティーによるものも含めた公的灌漑・排水システムの整備は、ごく一部の例外的事例を除いていまだ手つかず、というのが現況である。

4 おわりに

以上の考察から、アジアの米輸出国におけるデルタの稲作用水資源開発には制約が多く、稲作の中・長期的発展の見通しが必ずしも明るくないことが、明らかとなった。

タイの場合は、経済発展の過程で避けて通れない、非農業セクターとの水利用の競合という要因が制約条件の一つとなっている。ベトナムの場合は、硫酸塩土壌地帯以外に未利用開墾可能地が極めて限られていることや、デルタにおけるさらなる水資源開発に対する財政的コストの問題などが、制約となっている。また、ミャンマーでは、多くの未利用水資源が存在するにも拘わらず、開発は全く不十分で、国内の需給状況を重視した現在の米政策の下で、政府が今後飛躍的に稲作のために灌漑面積を増加させるとは考えにくい。

ただし、タイやベトナムにおける水資源開発と稲作発展の可能性に比べて、ミャンマーの場合は、財政コストという面からみれば、制約条件がより軽微であると考えられる。その意味で、近い将来、タイやベトナムが米の輸出を減少させざるを得ない状況になった時、ミャンマーにおける稲作発展への期待は大きなものになるだろうし、水資源開発の重要性も飛躍的に高まることであろう。

[後注]

注1) 速水裕次郎「シナリオを読む 2020年からの警鐘 私の診断」日本経済新聞、1997年2月20日朝刊。

注2) Wailes, E.J., Cramer, G.L., and Chavez, E.C., "International Rice Baseline

Projections,1996-2010", a paper presented at the World Rice Conference, Honolulu,Hawaii,during 20-22, February,1996. Hossain博士の見解については、Kasetsart University,Somporn Isvilanonda氏との個人的コミュニケーションによっている。

- 注3) Isvilanonda,S.,and Poapongsakorn,N.,"Rice Supply and Demand in Thailand : the Future Outlook", 1995, Thailand Development Research Institute,Bangkok, Thailand.
- 注4) 土屋晴男「ヴェトナム」社団法人国際農業交流基金『平成8年度主要国需給分析検討アジア地域穀物需給動向等動向等調査分析年次報告書』1997年3月、pp115-139。
- 注5) Pingali,P.L.,Xuan,Vo-tong,Khiem,N.T.,and Gerpacio,R.V.,"Prospects for Sustaining Vietnam's Re-acquired Rice Exporters Status", a paper presented at the Final Workshop on Projections and Policy Implications of Medium-and Long-term Rice Supply and Demand Project, Beijing,China,23-26 April, 1995.
- 注6) 高橋昭雄「市場経済化とミャンマーの米穀増産政策」石原亨一他編『発展途上国の経済発展と社会変容』緑蔭書房、近刊。
- 注7) Hossain,M.and Oo M.,"Myanmar Rice Economy : Policies,Performance and Prospects",a paper presented at the Final Workshop on Projections and Policy Implications of Medium-and Long-term Rice Supply and Demand Project, Beijing,China,23-26 April,1995.
- 注8) Pongsudhirak,T.,"Water Allocation Conflicts in the Central Region", Thailand Development Research Institute, Water Conflicts, 1994, Bangkok, Thailand, pp239-259.
- 注9) ベトナムの水利システムについては、八木宏典「水利制度と水利システム」長憲次、岩元泉編『市場経済導入後のベトナム稲作農業の生産・流通問題』、文部省科学研究費補助金研究（学術調査）成果、1996年、pp61-91.を参考にした。
- 注10) Tin Htut Oo, Myanmar Agriculture under the Economic Transition : Present Situation and Emergency Trends, VRF Series No.265,IDE, March 1996, Tokyo、p14, および Institute of Economics, Yu Pa氏との個人的コミュニケーションから得た情報。

表1 タイにおける米生産の推移

年	全国			中部		
	作付面積 (千ha)	籾生産量 (千t)	籾収量 (t/ha)	作付面積 (千ha)	籾生産量 (千t)	籾収量 (t/ha)
1985	10148	20264	2.00	2512	6425	2.56
86	9852	18868	1.92	2408	6185	2.57
87	9356	18428	1.97	2382	6134	2.57
88	10348	21263	2.05	2572	7113	2.77
89	10310	20601	2.00	2470	5795	2.35
90	9905	17193	1.74	2075	3959	1.91
91	9547	20400	2.14	2065	6107	2.96
92	9160	19917	2.06	1996	5786	2.90
93	8482	18447	1.95	2007	5770	2.87
94	8975	21111	2.35	2069	6447	3.12

(出所) Ministry of Agriculture and Cooperatives, Agricultural Statistics of Thailand, various issues, Bangkok, Thailand.

表2 ベトナムにおける米生産と貿易の推移

年	1976	1985	1991	1995
紅河デルタ				
作付面積 (千ha)	1060	1052	1014	1042
籾生産量 (千t)	2903	3092	3038	4623
籾収量 (t/ha)	2.74	2.94	3.00	4.44
メコン・デルタ				
作付面積 (千ha)	2063	2251	2807	3192
籾生産量 (千t)	4665	6860	1035	12832
籾収量 (t/ha)	2.26	3.05	3.69	4.02
全国				
作付面積 (千ha)	4414	5704	6303	6766
籾生産量 (千t)	11830	15875	19622	24964
籾収量 (t/ha)	2.68	2.78	3.11	3.69
輸出货量 (精米千t)	—	—	1033	2150

(出所) Statistical Data of Vietnam's Agriculture Forestry and Fishery (1976-1991),(1985-1995), Department of Agriculture Forestry and Fishery Statistics, General Statistical Office, および ヴェトナム貿易省資料。

表3 ミャンマーにおける米生産と貿易の推移

年	作付面積 (千ha)	籾生産量 (千t)	籾収量 (t/ha)	輸出 (精米千t)
1961/62	4713	4552	0.97	1676
71/72	4978	5395	1.08	776
81/82	5232	9336	1.78	575
85/86	4902	14317	2.92	582
91/92	5407	12993	2.40	183
92/93	5160	14847	2.88	198
93/94	5674	16760	2.95	261
94/95	5926	18195	3.07	1041
95/96	6137	17953	2.93	354
96/97*	5833	17083	2.93	na

(出所) Ministry of Planning and Finance, Report to the Pyithu Hluttaw, various issues; and Ministry of National Planning and Economic Development, Review of the Financial, Economic and Social Conditions for 1996/97.

* 暫定値

表4 タイ国における灌漑開発予算と稲作灌漑面積の推移

年	灌漑開発予算 (百万バーツ)	稲作灌漑面積 (千ha)
1961	262	1404
66	540	1745
71	1151	1853
76	1527	1909
81	3419	2100
85	4244	2376
86	3903	2376
87	3338	2390
88	na	2338
89	na	2485
90	na	2067
92	na	2206

(出所) World Rice Statistics, 1993-94, 1995, IRRI.

表5 ヴェトナム、デルタ地帯における稲作灌漑・排水面積の推移

年	1985	1990	1994
紅河デルタ			
灌漑可能面積 (千ha)	707	860	920
灌漑率 (%)	77	87	90
排水可能面積 (千ha)	519	597	696
排水率 (%)	56	60	68
メコン・デルタ (千ha)			
灌漑可能面積 (千ha)	1254	1608	1982
灌漑率 (%)	56	62	65
排水可能面積 (千ha)	1037	1298	1707
排水率 (%)	46	50	56

(出所) 注9) の文献、p65、より。

注) 灌漑率、排水率は、それぞれの面積を作付面積で割った値である。

表6 ミャンマーにおける水源別灌漑面積の推移

年	灌漑面積 (千エーカー)					計	灌漑率 (%)
	水路	貯水池	井戸	ポンプ	その他		
1951/52	917	158	20	-	203	1298	9.1
61/62	944	163	24	-	193	1324	7.5
71/72	1566	199	28	154	250	2197	11.2
81/82	1628	198	37	360	356	2579	12.4
91/92	1244	460	65	323	375	2467	12.0
92/93	1282	511	69	469	412	2743	12.7
93/94	1252	488	75	1051	437	3303	15.3
94/95	1319	477	92	1551	404	3843	17.4
95/96	1294	444	99	2057	447	4341	19.2
96/97*	1385	528	115	1300	456	3784	16.4

(出所) 1951/52-91/92年までは、注6) の文献、表1、2より。それ以降は、表3に同じ。

* 暫定値。

農業開発もまた水資源を逼迫させる

東京大学名誉教授
川野 重任

水の利用なくして農業開発は一般に困難だが、逆にその水を利用した農業開発自体が水資源の逼迫をもたらしつつある事態のあることを注意しなければならない。

農薬、化学肥料の過剰投与が地下水汚染をもたらし、それが飲料水その他の形で水の利用制限となり、それだけ水資源のいわば逼迫をもたらしつつあるということである。

1 まず農薬の過剰投与による結果の一例

鹿児島県大島郡和泊町(沖永良部島)はいわゆる「永良部ユリ」やフリーズアの名花生産によって知られる花の一大生産地。ここでの年間(平成5年)の農薬使用量は130トンで、全国平均の3倍にも及ぶという。花の商品価値維持のための害虫やウイルス防除のためだが、花は鑑賞作物、農薬の残留は消費者の間でもそれほど問題にならなかった。

しかし、飲用水をすべて地下水に依存している同町のこと、「農薬が地下水に浸透しているに違いない」と平成5年の専門家による調査の結果は「ダイアジノンが水道水の安全基準にまでは達していなかったもののその5分の3水準にまで達していた」とされ、さらにこの調査で「土壌内で100%分解されないことが実証された」とされた。特にユリの場合、収穫後ウイルス防除のため、集荷場内に設けた大型水槽の殺菌剤の溶液の中に球根を浸す。ところがこの濃度の高い廃液がそのまま畑地にまかれ、それが地下水汚染へとつながったのである。そこで町は平成8年、ようやく国の補助で廃液処理施設を導入したが、その利用率はなお50%前後で、地下水汚染の不安はなお強く、ペットボトルの飲用水の売行きがなおとまらないという実態だという。

2 同じく亜熱帯の島、沖縄県宮古島

平成3年、深さ20メートルの3ヵ所の井戸水などからスミチオンなどの農薬が検出された。スミチオンの濃度は水道水の安全基準には達していなかったものの、飲用水をすべてに地下水に頼っている当地だけに大騒ぎとなった。琉球石灰岩はサンゴ礁の隆起による、ザルみたいなもの。随所に孔があり、空隙率10%にも上るため、土中で分解の速い有機リン系農薬はそのまますんなり地下の最深層にまで達するとされる。このため飲用水源近くで持ち上ったゴルフ場建設計画に住民が一斉に反対運動に立ち上り、中止に追い込んだことはもちろんだが、さらに平成4年、新たな地下水汚染の「火だね」が持ち込まれることとなった。

干ばつ対策として、地下水を農業用かんがい利用する国内第1号の施設「地下ダム」が1部完成し、畑への部分通水が始まったからである。地下ダムは止水板を地下深く打ち込み、地下水の海への自然流出を喰い止めそこに地下水を貯える方式だが、くみ上げた地下水を農薬が散布された畑にまけば、汚染物質が地下水内で悪循環的に濃縮されることになるのではないかという不安からである。

幸いにこれまでの水質検査の結果では、その懸念は否定されているようだが、本質的に同一水源の繰り返し利用を本質としているだけに不安は消えないというところかも知れない。

3 これは過剰な化学肥料投与から来る地下水汚染の例、鹿児島県南薩地区、広大な茶の生産地帯の経験した例である

平成5年、農水省は地球環境貢献型農業検討委員会を設置、汚染への対策、改善の急がれる全国10ヵ所を選定、九州では池田湖周辺のこの南薩地区が選ばれた。そ

の池田湖では平成6年度、湖内でプランクトンの異常増殖を見たが、その原因はいうまでもなく富栄養化をもたらす窒素成分の急増とされた。ところがその窒素成分急増の原因が池田湖の水を灌漑用に使用する周辺の大規模茶園地帯の窒素肥料の過剰使用にあるとされたのである。そのため、広大な茶園地帯をドームで掩つてしまえ、それによって土壌成分の流出を幾分でも抑えよ、などといった大名論も出たほどだったと伝えられたが、ともかく茶園地帯一帯を流れる3つの河川の水を一旦池田湖に落とし、その水を再度灌漑用にくみ上げて茶園用に使用するという計画は思わざる伏兵に出会ったともいうべき状態にある。3つの河川の1つはそのため、灌漑用利用という目的をとりやめ、そのまま海に直接水は流されているという。

しかし、これで問題が解決されたわけではない。河川、地下水の汚染問題は依然として地方に残されている筈だし、池田湖への導水を中断した河川の利用問題にしても、干ばつ時への対策としてはなお完全には無視し得ない関係にあるとされる。

さらに「茶の商品価値は甘みにあり、甘みのもとにはアミノ酸で、アミノ酸を形づくる窒素が多く含まれている茶ほどおいしいとされ、これが過剰ともいえる化学肥料の投入に拍車を加える」とされる。

以上は、今身辺で入手できる断片的な情報に過ぎない。農業生産が多様化し、農業技術が高度化すればするほど、水の利用、使用に対するその需要の内容も多様化、複雑化し、それが逆に水の汎用可能性を制限し、その結果が一種の資源逼迫化の招来ともなると考えられるのである。以上すべて、資料は南日本新聞社特集「新しい食と農のかたち」（平成8年1月－9年4月）による。（1997.6.5）

第3章 工業化と工業用水

社団法人長寿社会文化協会
理事長 降矢 憲一

1 東アジア太平洋地域の工業化

20世紀の前半まで東アジア太平洋地域は植民地化という不遇もあって経済発展は停滞し農業に依存した経済体質が維持されていた。しかしながら、独立によってそれぞれ自立の路を歩みはじめた1950年代の後半から60年代に入ると各国とも意欲的な経済自立に取り組むはじめ、脱農、工業化戦略による経済自立政策に転じた。60年代は発展を急ぐあまりに、いわゆる輸入代替産業政策を採用したのだが過少資本と過剰労働力の経済では、資本集約的で雇用吸収力のない素材産業に取り組む合理性に欠け、この戦略からの撤退に迫られるところとなった。

転じて70年代に採用された輸出振興策は、豊富な労働力という利点を活かす労働集約的加工産業政策には正に適合するばかりか、同じ利点を活用しようとする先進工業国からの投資を誘引ところともなった。当初は食品加工、繊維加工など低位技術を中心とする工業化であったが、先進国の世界貿易戦略の展開によって機械加工産業も次第に拡張するところとなり、工業化のテンポには目を見張るものがあった。

いち早く戦後の復興を遂げた日本や、いわば都市国家としての特異な体質をもつホンコン、シンガポールは別として、国民経済に占める製造業のシェアが、農業のそれを上回る、いわば農・非農転換がみられたのは、韓国は70年代で、80年代に入ると、タイ、フィリピン、マレーシア、インドネシアの諸国が揃い踏みをするようにこれにつづき、中国も例外でなくなった。

こうした工業化をテコとして経済発展のテンポが強まり、アジアNIESと称された韓国、台湾、ホンコン、シンガポールにアセアン諸国がつづく構図は正に奇蹟の成長のアンゲル、東アジア地域を印象づけるところとなったのである。経済発展を象徴的に示す1人当たり国民所得水準は1975年には日本を除くと各国とも1,000ドルを下回っていたが、僅か10年後の85年には韓国、マレーシアが、それぞれ2,000ドル前

後に上昇し、90年には中国、タイが1,000ドルラインを突破、94年にはインドネシア、フィリピンが1,000ドルレベルに迫ろうとする状況を呈している。

アジアNIESが4小龍に限られる時代は80年で幕を閉じ、シンガポールが先進国入りする一方で、マレーシアがアジアNIESの一角を占める局面も生まれている。日本、中国を含めた東アジア太平洋地域の経済はNAFTA、EUと並んで世界経済を3分するまでの地歩を築きあげるまでになったのである。経済体質の先行きを示す貿易の面では、対米では黒字を示し、その商品構成では90年代に入ると一次産品を工業製品が上回るまでの変化を示すようになってきている。95年には、世界貿易で17.5%が東アジアとなり、輸出では18.3%となっていることも記憶に止めなければならないであろう。

こうした驚異の工業化の進展によって、従来からの資源依存のあり方も変化をみている、人的資源でも一部の国では労働力過剰から労働力不足への基調変化がみられるし、ここで取上げている水資源でも農業用水一辺倒から工業用水・発電用水へのシフトが始まる一方、工業化に伴う都市化や経済発展に伴う所得生活水準の上昇を反映した生活用水の増加などの現象もかなり顕著になってきている。また、高まる水需要の増大による資源の価値の増大から、自然放流への一方的依存でない、計画的な水量調整につながるダム建設などのいわゆる水資源開発政策の必要性の増大が生じてきているのである。

工業化が先行した日本の状態からはじめて順次、東南アジア諸国の工業用水事情をみていくことにしよう。

2 各国の水事情

1) 日本の工業用水

経済復興が一応のメドをつけ、高度経済成長が開始されようとする1950年代はいうまでもなく、1960年代に入って工業のシェアが農業のシェアを大きく追抜いた時点にあっても、日本の水使用量はいぜんとして農業用水中心であった。工業が、生

産の中間段階で、冷却や洗滌などに豊富に水を使うといっても、農業とは決定的に異なる条件をもっていた。農業は扱う対象の性質からみて自然流量の利用可能性が大きいいため水消費節約的技術を多用しうるには限界がある一方、工業は水の多使用産業—鉄鋼業、化学工業、紙パルプ産業などから水消費の相対的に少ない機械工業へという産業の体質転換があったこと、再利用の可能性が技術的にも容易であったことなどである。

こうした事情を反映して、日本の場合、水使用量の年次的推移をみると、農業が農地面積の縮小、生産減退の過程に移行した70年代に入っても農業用水は増加テンポは低下したものの減少をみるまでに至らなかった。一方、工業用水は70年代後半から減少傾向に入っているのである。70%をこえる高い回収率によって、淡水補給量は70年代に入って減少傾向に入っている。工業化による工業用水需要が農業用水のシェアを奪っていくという工業化の初期の段階の特徴は、日本では既に60年代に終わっていたのである。

表では水使用量の全容は75年以降になっているが、それ以前の水使用量のうち、工業用水に限定してみると、高度成長期の後半に当る65年～75年の間に実に2.5倍の増加となっており、同じ時期の鉱工業生産の増加2.2倍との対比でみれば工業生産に対する水需要の弾力性が如何に大であったかを知ることができる。産業別にみると、鉄鋼業の3.7倍増で、増加寄与率としても実に30%となっている。これは淡水によるものであるから、海水使用を考慮すればより大きな水需要の増加が鉄鋼業で生じ、農業用水の増加が停滞色を強めていたのとは対称的であったことを知ることができよう。

水多消費産業からの産業転換にふれて、産業別の水消費の状況についてみることにしよう。業種別の淡水使用量は、日量（単位百万 m^3 ）でみれば、70年の場合、化学工業が29、セメント産業が17、ついで紙パルプ産業が14などとなっており、90年代に入ると化学工業49、セメント46、紙パルプ16などと増加している。いずれも高圧高熱技術のレベルアップをカバーする冷却用中心といえる。鋼鉄業が、70年代にすでに低下傾向に入りながら水準としても化学工業の5分の1程度の使用量に減じているのは、工場立地が原料輸入の関係で海浜立地であり、冷却用水は海水で充当

されるという条件が活かされた結果である。

工業の立地には原料立地、販売有利のための消費地立地などがあり、用水の点からは河川の下流地域ということになるだろうが、それでも用水立地が他に先行することはなかった。水多消費産業でも水のコストが相対的に小さかったことを反映している。しかしながら、発電の水主火従から火主水従への転換が典型的に示すように、日本は地勢的にも気候的にも水資源が国際的に比較して人口1人当たり年間降雨量は世界平均の5分の1というように必ずしも有利な条件をもっているわけではない。またダム建設も治水的視点からはなれて、発電、工業用水などいわゆる多目的ダム指向になるなどの条件変化の下で水の相対的なコスト高への移行、資源節約的な認識の一般化の下での回収重視という方向に動いてきたのである。

こうした事情の背景として見逃がせないのは工業用水の淡水補給の36.8%が公的負担に支えられた工業用水道に依存していることである。料金の上昇（最近の25年間で5円/㎥から21円/㎥）でカバーはされているとはいえ水資源開発の公的費用負担はみておかなければならない。一般会計予算に占める比率は91年度についてみると1.1%と必しも小さくはない。日本の工業の発展過程におけるインフラ整備は大きくは80年代でその役割を終えているといっても差支えないであろう。90年代に入った段階でなお、水資源開発費のウエイトが、後述するような若干の国に比べて低くないということは注目されよう。

つぎに工業用水の水源別用水量についてみよう、淡水と海水と分けると海水の占める比率は65年の30.2%から、75年の27.2%へと若干低下した後80年には20.9%へと更に低下気味である。これは70年代後半以降、鉄鋼業を代表とする素材産業の地位の相対的低下、一方での機械、とくに自動車産業・電機産業を中心とした需要の増大によって、用途も冷却用から、製品処理、洗滌用の比率が高まってきて、海水では不可とする事情ができてきたことによるものである。淡水の用途別内訳で見ると製品処理洗滌用の比率の上昇は75年の15%から90年の16%へとあまり大きくないが、海水がすべて冷却用であると仮定すると工業用水全体に占める冷却用水の比率は、海水依存が低下していることを反映して77%から74%への低下となっている。

工業用水の水源を更に淡水の限定してみると工業用水道、上水道など公的インフ

ラ依存の率は65年以降13%程度で横ばいの的に推移しているが、地下水汲上げなどによる比率は21%から14%へと大きく低下する一方回収水の比率は66%から74%へと上昇している。地下水汲上げによる地盤沈下の影響などを考慮した対応が進んでいるといえよう。従来は地下水は水質的には最高の水源であると評価され、積極的に利用される方向にあったが、地盤沈下というより大きな環境問題の課題の前では後退せざるをえなくなるのも当然といわなければならないであろう。

2) 韓国の水事情

工業化を日本につづいて進めたのは韓国であるが、工業化のテンポが速かった70年代の結果が反映されている80年以降の用水の状況をみると、工業用水量は80年の717百万m³から約10年後の91年には2.289百万m³と約3倍化している。この間の工業生産の増加率は2.8倍となっているので若干ながら水多消費傾向がみられる。総用水に占める比率は80年の4.3%から9.4%へとかなり上昇しているが、日本の低下傾向とは対称的である。水多消費型産業の増産傾向が日本に比べ遥かに大きかったことを反映している。

また生活用水の伸びは、ほぼ同じ時期の日本に比べても大きく、都市化、生活水準の向上が大きい高度成長期にあったことを反映しているといえよう。

水資源開発の面の条件につてみると、この約20年間経済開発費は約30倍化しているが、水資源開発費は40倍強の増加となっている。年間降水量が1,159mmでアセアン諸国の2,600乃至2,010mmの約半分という条件の差に加え、大容量の河川に恵まれないう事柄が水資源開発の負担増に迫られているという結果になっている。水資源開発費に占める多目的ダムの費用の比率が周辺諸国に比べて高いことも同じ条件を反映している。多目的ダムは後述するようにアセアン諸国でも80年代後半から増加がみられるようになったが、韓国の場合は、工業化の展開が、これらの国々に比べて早かったことも加わって、水資源開発費の増嵩を進めたといえるのである。

3) マレーシアの水事情

つぎに韓国について工業化が進展しているマレーシアの水事情をみることにしよう。マレーシアは1970年代以降7%をこえる経済成長率、とくに90年代は平均8%をこえる高度成長を遂げてきたが、近年93年の製造業の対GNP比率は44%と著しい工業化の実績をあげている。また、その製造業の内訳をみると、近隣諸国が食料品加工、繊維加工など低位技術の分野のシェアが高いのに対し、機械工業、とりわけ電子工業など先端分野のウエイトが高いという特徴をもっている。これは、外資との提携を積極化する方針によるところ大であったといえる。

累次のマレーシアプラン（5ヵ年計画）で意欲的に経済発展を遂げてきたのであるが、最近の第7次計画では水供給に関しては90～95年の増加率20%を前提にした上で、2000年までの増加率18%を見込んでいる。用水の目的別にした資料はないが、都市、農村別に行っていることから、工業用水と生活用水の合計が、ほぼ都市需要とみていいであろう。都市の伸び率は90～95年22%、95～2000年21%で、いずれも、農村部の伸び率を大きく上回り、工業化による用水需要の変化は明らかである。

マレーシアは既に10年前に終わっている第5次計画で、降雨量の56%を有効化するとし、多目的ダム建設と州際給水システムの整備を掲げており、80年代前半からダム建設を積極化してきた。当時のダム建設には給水対策、農業用灌漑などを主目的とするものも多くみられたが、90年代に入ると都市への給水（生活用水と工業用水）を主目的とするダム建設のプロジェクトが増加してきており、90年までの10年間に供給水量40%増、また86～90年の供給プログラムでは94%を都市部としており、都市化テンポも大きいことと相俟って工業化の影響を明らかにしている。

マレーシアは連邦制をとっていることもあって、州際の水供給調整などには慎重で、既に1982年に全国水資源研究で練りあげたマスタープランの中で掲げたガイドラインにもとづいて、ゾーニングプランの整備、水資源の管理のデータベースの管理、効率改善等を進める方針を明らかにしている。また、このための法制、制度、資金運用などの水資源に関する組織的対応を進める方針を第7次計画で強調している。水資源のもつ広域性への政策的対応というべきものである。

4) タイの水事情

マレーシアとならんで工業化レベルの高いタイの事情をみることにしよう。タイの最近時点の工業化率は39%で、他のアセアン諸国に比べて大差ないが、90年代に入った近年の変化としてみると必ずしも小さくない。最近時タイ通貨バートの低下など金融危機で国際的支援を受けるなど、成長の将来性についての危惧もないわけではない。また、マレーシア、インドネシアなどの経済計画指向性に比べると市場経済重視傾向が強いといえなくもない。

こうしたことが、インフラの整備などの面での対応に遅れなしとしないとの指摘にもつながるし、環境変化、交通渋滞が注目されることになっているともいえるのである。タイの水資源面にも共通した事情がないとはいえない。

各国が政府の権威で水需要の調整にそなえるための需要予測などを集中的に行うのに対しタイはエネルギー資源公社の予測にすぎないものがあるのみである。しかも、この中で注目されるのは、用水のうち農業用水のシェアがさらに増加するとみていることである。

産業用水（工業中心とみていいか）のシェアが著しく小さいことである。しかし、タイの工業の現状をみると、企業の自己負担による地下水汲み上げなどでの対応が見逃がされていることなど需要に見合うべき供給が検討されていないとすれば、中長期的需給問題が結果的には成長の制約になるのではないかが危惧されるのである。

国家計画上の位置づけのない資源公社の予測であるから、評価は問題外とするべきであろうが、この予測の補足資料としてある供給能力との見合で生ずる不足率が93年3.5%2006年7.1%と拡大している。需要の伸び率は、タイの現在の経済の状況からみて必ずしも過大とはいえないようであるから、能力の不足とみるのが妥当であろう。環境保護需要が不変ながら、かなり大きなウエイトを占めているものも理解が難しい。

5) インドネシアの水事情

アセアン諸国の中では工業化ではフィリピンと並んで後発であったインドネシア

も、経済開発計画策定などによって積極的政策に転ずる一方、近年では、先進国、とりわけ日本からの投資の最大受入国となっている。経済成長率の目標も93年に発表された第6次開発計画では長期6.2%を掲げている。

最近まで（1969年から93年）に水資源の供給能力向上の目的に沿った施策で、12,500基の堰、40基のダムの建設がされたが、第6次計画の目標としては表にも掲げるように、工業セクターと観光産業向けの110m³/秒で、第5次計画の実績の2倍強という野心的なものである。農業用水の同じ時期の伸び1.05倍と対比しても、工業化への意欲、水資源対応が積極的であることを端的に示している。具体的にはダム修復6建設5など、過去の約20年間の実績に比べるとそのスピードでは優に2倍を上回るものである。水資源開発予算は5年間で445兆ルピアを計上している。

こうした水資源開発対応によって、工業・観光業用水の増加率は1999年までの5年間に倍増した後、第2次長期開発計画の最終年である2020年には、94年実績に対し3.8倍化が見込まれており、全用水に占める比率も現在の1.2%から3.2%へと高まる。他方生活用水の比率も6倍化するなどの変化がみられる。しかし農業用水の比率は現在の96%から85%へ低下するものの農業用水中心の水資源体質は大きくは変わらない。農業用水のシェアが、農業生産のシェアの低下ほどに変化しないのはこの国の多島的地勢の性格を反映した農業の灌漑の非効率を反映した面もあろう。

6) シンガポールの水事情

都市国家として、東アジア地域では最初の先進国入りするシンガポールは、その特異な条件もあって、65年のマレーシアからの分離独立後、外資優遇を主体とする輸出指向工業化を実現してきた。人口増加率もホンコンについて低く、急速に年増加率は3%を下回ると見込まれた中で、一人当たりの所得増加率は90年代の前半、後半に入っても、この地域の最高を記録している。ほぼ完全に脱農しているので、水資源の構造も、工業用水と、生活用水への配分如何ということである。

水の総使用量は95年には403.5百万m³で、前年比2.2%の増とGNP増加テンポに比べればやや少ないとみられるが、現在電力、ガスを扱う政府公社(Public Utilities Board (PUB))が95年に企業局化したのが、現在、改組されてWater and Regulation局が誕生する

ことになっている。水資源への対応が、その他のエネルギー資源に劣らない重要性をもっに至ったことを示している。

用水の実績としては長期的には、表のように、1995年までの10年間に324.7百万m³から469.0百万m³へ44%の増加となっている。年率して3%を若干下回るものであるから当時のシンガポールの経済成長率との対比でみて、余裕ある状況とはいえないであろう。この総売上量のうち、1991年には29%に当たる117百万m³から95年の152百万m³（32%）へと産業使用量が増加している。シェアが増加していることは当然ながら、産業用需要が総需要を上回っていることを示している。この他のデータとしては、Domestic CustomerとNon-Domestic Customerの区別が95年で、それぞれ54%と46%とされている。料金の扱い方の区分であるが、産業用のシェアより大きいことは注目しなければならないとことであろう。新設の水資源管理局は、現存する19の水源、3つの河川を管理しているが、32.2百万ドルの投資によるショーホール河の改修、54百万ドルの投資による32.5kmのパイプライン建設などが計画されている。これらの水資源開発費は一般会計予算対比で2%となっており、必ずしも小さいものではない。

7) 中国の水事情

中国は近代化、工業化で若干の遅れをとったが、経済改革、開放経済への移行で、80年代後半から2ケタ成長路線に乗り、工業化テンポにも著しいものがある。13億の人口を抱えながらも一人当たりGDPの増加率は最近の10年間で2ケタを維持している。

水資源との関連で中国の状態をみると、降雨量は年間600mmでアセアン諸国平均の約4分の1と少なく、広大な大陸に大河川が存在するが、7大河川の流量が総量の55%を占めるなどの条件もあって、水資源の有効利用では遅れているのは否めないであろう。大陸という地勢的条件もあって、洪水などの発生も少なくない。歴史的にも治水は政治の重要政策課題でありつづけた。

現在の国家体制が設立された1949年以降、水利部は国家委員会によって設立され、1982年に水利部は資源部と併合されたが、88年に再び分離され、現在は水利部が国家計画委員会の管轄下にあつて、全国の水資源の統一的な管理、多目的な開発、利用保

護の機能をもっている。水資源の統一的管理保護のために省間の水配分の代替案、長期水需要計画の策定などが取組まれ、現に長江の水の黄河への転送などの事業にもなっている。

中国の年平均水資源総量は28,124億 m^3 であるが人口一人当たり流出量は2600 m^3 で、世界平均の4分の1と供給条件は良くないと判断されている。

過去の40年間の水管理事業の成果としては洪水制御能力の向上による農地灌漑を中心とした管理が現状であるが、灌漑地の農作物は全国生産の3分の2に達しているとされている。

また、都市、工業用水供給については、多くの事業によって毎年500億 m^3 の都市工業用水の供給がなされているとされている。これは前記した水資源総量の2%弱にすぎない。しかし、農地地域にあるために農業用水とされている郷鎮企業の使用量は実質的には工業用水とみるべきであろう。なお、参考までに工業用水とも関連する水力発電についてふれておこう。表に示すように、工業化のテンポを強めた70年代、80年代を中心に発電量は大幅に増加して約20年間に6倍となっている。

むすび

東アジア太平洋地域の工業化の下での工業用水の事情を、水資源全体とかかわらせながら述べてきた、各国のおかれた自然的条件の差もあって、工業化と整合的な工業用水の供給がどの国でも効果的に行われているわけではないし、多くの国で国の施策も農業用水主導の下で行われていることもあって、水資源の供給確保には工業にとってみれば、インフラ整備の遅れと類似した現象を呈している。これに関連して指摘しておきたいには世銀の今後10年の東アジア諸国のインフラ整備の必要性で、対GNP6.8%うち水関連の0.7%という予測である。アセアン諸国の中でも工業団地が開発されたが、工業用水の確保が十分でないために、企業の進出が滞っているケース、あるいは地下水汲上げによる地盤沈下の発生、ここでは立ち入らなかったが廃水管理の不備による水質汚染など環境問題の発生等々である。

水資源問題は環境問題とも深くかかわることもあって、OECDもこの問題は環境政策委員会が担当しているし、ESCAPでは「持続可能な開発と環境委員会」が取組んでいる。また、この問題は経済協力事業であれ、民間経済ベースの取組みであれ、かかわることが大きいので、2国間協議、例えば「日中水資交流会議」（昭和60年東京）などの取組みもあるし、流域にまたがる国が多いためにメコン河開発委員会のような取組もある。メコン河開発構想の中で明らかにされているようにシナリオ如何によって関係各国の成長などへの寄与が異なるなどの利害の調整も深刻であろう。

工業化のプロセスでは各国の間での資本関係、製品化の段階での貿易の問題など利害調整の波及するところは広い。工業化に伴う水資源問題は移動性の高い粗原材料と違った課題を抱えていることは現実であるが、持続可能な開発と環境の維持のために、水資源開発のノウハウ、資金、技術面の協力は重要であろう。

産業構造（GNP構成比）の推移

		1950-60	60-70	70-81	90	93
日 本	農 業	12.8	8.6	5.4	2.6	2.0
	製造業	34.3	34.5	32.0	31.3	30.9
韓 国	農 業	39.2	32.0	20.3	9.8	7.0
	製造業	13.1	19.0	27.0	32.9	43.0
マレーシア	農 業	36.0	32.1	26.9	20.1	17.0
	製造業	8.7	10.8	19.2	31.2	44.0
中 国	農 業	52.2	40.4	38.3	28.3	20.9
	製造業	23.9	40.9	44.9	43.6	51.7
タ イ	農 業	39.8	33.6	30.3	14.7	10.0
	製造業	12.6	14.7	17.9	31.3	39.0
フィリピン	農 業	25.7	26.7	25.9	23.8	22.0
	製造業	20.3	20.8	24.6	27.0	33.1
インドネシア	農 業	50.0	49.5	34.2	28.0	19.1
	製造業	8.4	8.5	19.1	29.1	39.2
シンガポール	農 業	3.5	2.9	2.0	0.3	0.0
	製造業	11.6	16.3	23.3	32.1	37.1
ホンコン	農 業	3.4	2.6	1.3	0.1	0.0
	製造業	15.5	30.9	27.4	25.5	21.0

(資料) World Bank

1人当たりGDP（ドル換算）

	1960年代	70年代	80年代	90年代
日本	966	4,789	14,387	32,496
韓国	143	7.4	2,741	8,044
台湾	234	984	3,940	10,543
ホンコン	647	2,446	7,374	19,140
マレーシア	305	830	2,041	3,264
タイ	133	354	877	1,948
インドネシア	62	213	525	839
フィリピン	213	365	637	840
中国	—	—	307	471

（資料）世界銀行

日本全国の水使用量

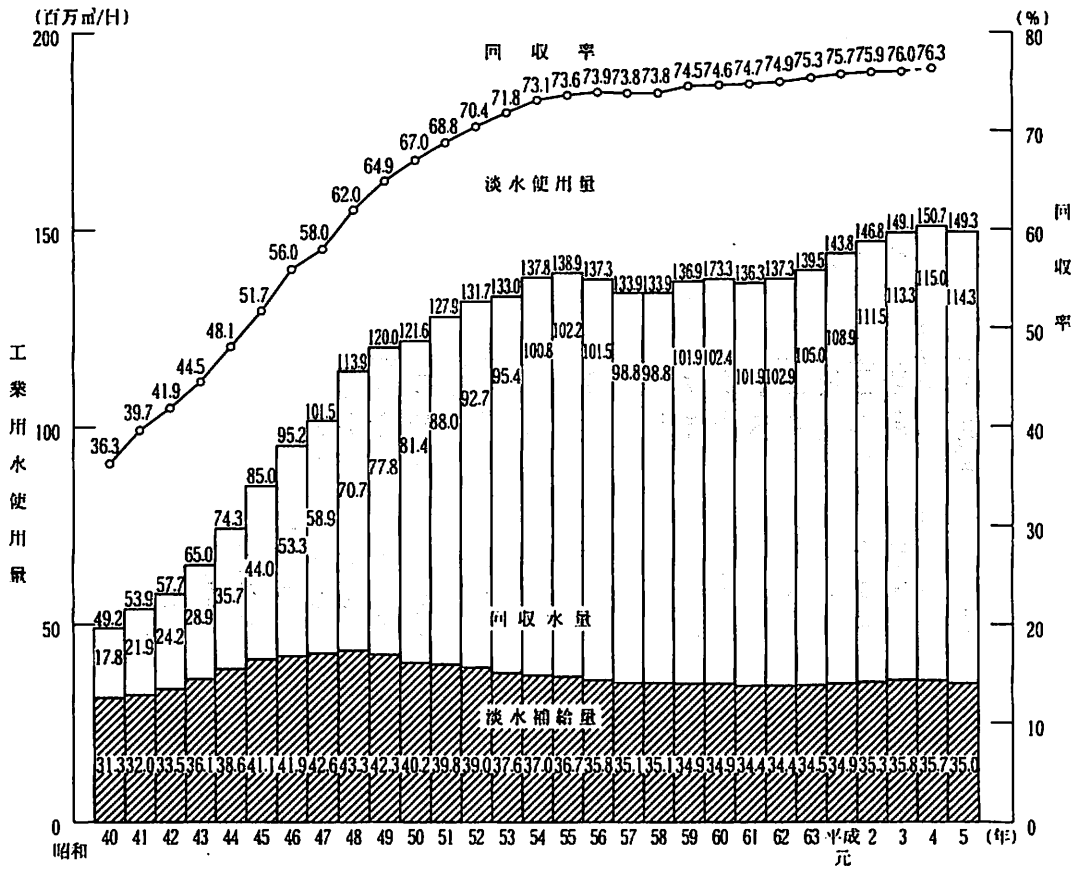
（取水量ベース・単位：億m³/年）

用水	年						
	昭和50	55	60	平成2	3	4	5
都市用水	306	302	307	322	327	328	324
生活用水	123	137	151	166	168	170	169
工業用水	183	165	156	156	159	158	155
農業用水（注）	570	580	585	586	586	586	586
合計	876	882	892	908	914	914	910

（資料）国土庁「日本の水資源」（平成7年8月）

- （注）1. 農業用水の昭和55年、58年、平成元年の値を国土庁が推計し、昭和60年の値は58年の需要量を、平成2年から5年までの値は元年の需要量を用いた。
 2. 工業用水は淡水補給量である。
 3. 平成5年の生活用水、工業用水の値は試算値である。

日本工業用水使用量の推移



(資料) (財) 水資源協会「水資源便覧」(平成8年3月)

- (注) 1. 通商産業省「工業統計表」により作成した。
 2. 従業員30人以上の事業所についての数値である。

韓国の用水需給展望

(単位： 百万m³、%)

区 分	1980		1986		1991	
	用水量	構成比	用水量	構成比	用水量	構成比
總用水需要	16,875	100.0	21,727	100.0	24,227	100.0
生活用水	2,302	13.6	3,871	17.8	5,201	21.4
工業用水	717	4.3	1,689	7.8	2,289	9.4
農業用水	10,807	64.0	13,118	60.4	13,738	56.6
維持用水	3,049	18.1	3,049	14.0	3,049	12.6
總用水供給	17,498	100.0	25,871	100.0	29,735	100.0
河川水	12,821	73.3	14,118	54.6	14,994	50.3
地下水	1,363	7.8	1,683	6.5	1,691	5.7
ダム	3,314	18.9	10,070	38.9	13,100	44.0
過不足	623	—	4,144	—	5,458	—

崔榮博・李相勲 共著 「資源と環境論」

韓国の水資源開発費の推移

(単位百万ウォン)

	経済開発費		水資源開発費	
1976年	546,385	(25.2)%	9,476	(0.4)%
77	623,383	(22.8)	15,919	(0.6)
78	725,067	(20.5)	35,227	(1.0)
79	1,405,352	(27.8)	56,946	(1.1)
80	1,397,440	(21.6)	34,946	(1.1)
81	1,493,743	(18.9)	30,424	(0.4)
82	1,607,817	(17.5)	63,444	(0.7)
83	1,752,640	(17.2)	111,286	(1.1)
84	3,081,828	(18.8)	78,143	(0.7)
85	2,499,542	(20.2)	119,550	(1.0)
86	2,620,136	(19.0)	110,430	(0.8)
87	3,070,716	(19.4)	88,177	(0.6)
97	17,174,521	(25.4)	442,738	(0.65)
			(管理費332,188)	(0.47)

(資料) 経済企画院「予算概要・参考資料」

マレーシアの水供給

(千人当)

	1990	1995	2000
合計	15,098	18,142	21,496
都市	9,170	11,185	13,609
農村	5,928	6,957	7,886

(資料) 第7次マレーシアプラン (1996~2000)

タイの水需要

(百万米³)

	1993		2006	
合 計	88,695	(100)	109,356	(100)
民 生	3,118	(3.5)	6,593	(6.0)
産 業	1,312	(1.5)	2,154	(2.0)
灌 漑	48,172	(54.3)	61,747	(56.4)
環境保護	15,326		15,434	
電 力	20,695		23,425	

(資料) タイ NESDB (エネルギー資源公社)

インドネシア第二次長期開発計画期間中の原水需要

(m³/秒)

品 目	第5次計画 最終年 (1994)	第二次長期開発計画				
		第6次計画	第7次計画	第8次計画	第9次計画	第10次計画
		最終年 (1999)	最終年	最終年	最終年	最終年
1. 住宅	105	210	320	430	520	660
2. 農業	3,900	4,100	4,400	4,500	4,800	5,000
3. 工業/観光業	50	110	150	170	180	190
計	4,055	4,420	4,870	5,100	5,500	5,850

(注) インドネシア第6次開発5ヵ年計画書

シンガポール 水の売上量
(百万立方米)

1986	324.7	(100)
87	334.07	
88	344.1	
89	355.6	
90	374.2	
1991	399.6	
92	419.6	
93	433.9	
94	455.9	
95	469.0	(144)

(資料) 政府公社 (Public Utilities Board) 公栄局

中国水力発電の推移

	水力発電量 (億KWH)	対総発電量 比率 (%)
1950	8	17.4
60	74	12.5
70	205	17.7
75	476	24.3
80	582	19.4
85	924	22.5
90	1,264	20.3
91	1,248	18.4

(資料) 中国「水利年鑑」

第4章 水と健康

東京慈恵会医科大学 環境保健医学講座
主任教授 清水 英佑

1 水と衛生・母子保健

—公衆衛生の観点から—

1) 水と生体

地球上の生命を営む個体にとって水の存在なくして生存はできない。ヒトでは体重の60～70%を水が占めている。このうち40%は細胞内に、20%は組織内に、5%は血液として存在する。生体内における水の役割は、組織を万べんなく潤し、塩類、分泌物（discharge）を溶解し、生体のあらゆる器官の活動に欠くことができない媒体（medium）の役目をしている。さらに食物の消化、栄養の吸収と移動、老廃物（waste material）の排泄、呼吸・循環、発汗・体温調節など生命の機能を維持する上で重要な役割を持つ。

ヒトは生命維持のために1日2.0～2.5リットルの水を必要とし、飲料水や嗜好飲料、食餌の形で体内に取り込み、尿、発汗、呼気あるいは分泌器官（discharge organ）より排泄され体外へ出す。その他、炊事、洗濯、入浴、清掃、工業用水、消火用、病院、研究等で多量の水が消費されるが、文化の向上に比例して水消費量は増加する。日本の大都市での上水道（service water system）の1人1日の平均給水量（average water consumption）は400～600リットルとなっている。

2) 水の需要

ヒトと水との歴史をみると、先史時代より河川、湖沼、湧水が水源として利用されて来たが、集落が形成されることにより水源として井戸を掘り地下水（ground water）を利用するようになった。さらに集落が都市に発展するとともに、水の需要はますます増加し、人々にとって水不足が深刻な問題となりここに水道による供給へと発展して来た。

人口の都市集中化現象と広域化は膨大な水の量を必要とすることになり絶対量の不

足と水質の悪化を招くことになる。さらに人口の増加と都市化は水の需要を増大し、農業用水の一部をも都市へ奪われる結果を招いている。

人口の増加は当然食糧の必要量の増大をもたらすことになるから、農業への水の供給が必要となる。世界全体で農業が必要とする水は河川、湖、帯水層からの水の65%、産業用水に25%、家庭・都市用水に10%を用いているといわれる。

食料生産に必要な水を十分に得ようとすれば、河川流量の減少、地下水面の低下を来し、都市の需要を十分まかなえなくなる。都市の水量を確保しようとすれば食糧生産用水の逼迫を来す。ここにジレンマが生ずることになる。

一方、世界で15m以上の高さを持つ大型ダムは1950年頃で5,000位あったが、1996年には38,000となっている。日本での年間取水量に対するダムへの依存量は、1970年は19%であったのが、1991年には35%となりダムへの依存割合が増加している。ダムの建設により河川の水量は完全に管理されて来ているが、生態学的機能(ecological function)を守らないことになり、水生環境の衰退が始まっている。すなわち河川デルタの衰退、湖の縮小、湿地の消滅、動植物が絶滅寸前となりつつある。こうした環境破壊による人々の生活への影響、ひいては健康への影響を無視することはできない。

また、水の需要が逼迫している地域では海水の淡水化利用を進めつつあり、当初の頃から比較し低コスト化が図られている。今後、供給する水の安全性確保には良好な水質の水源を確保する必要がある。しかし、人口の都市集中化、産業の発展と産業技術の高度化による水道水源(aqueduct water source)の汚染、水質汚濁(water pollution)の多様化が問題となっている。

3) 水の衛生的意義

河川や湖沼の水をそのまま飲料水に利用していた時代はともかくとして、都市化、人口の集中化により立地上の水不足を解消し、水利用の容易さから水道が必要とされるにいたった。しかし、初期の頃は飲用に適した安全な水ではなく、濁りを除去する目的で1800年代初め頃より濾過法(filtration method)が用いられた。これは今日では常識となっている細菌の除去が目的ではなかった。1885年にP.Frankland

は、水の濾過により細菌が除去されることを認めた。1892年にHamburgとAltonaの両市でコレラの患者が発生したが、Hamburg市では水の濾過をせずに飲料水を供給したためコレラによる死亡率は人口1万対134であった。一方、Altona市では砂濾過（sand filtration）により飲料水を供給したため死亡率は1万対23であった。この事実からコレラによる死亡者数を抑制するために濾過の有効性が証明された。

1893年にアメリカのH.F.MillsはMerrimack河の水を、ドイツのJ.J.ReinckeはElbe河の水をそれぞれ濾過して供給すると消化器伝染病だけでなく一般の死亡率も減少することを認め報告した。これをMills-Reinckeの現象（Mills-Reincke phenomena）と呼んでいる。以後、ヨーロッパでは砂濾過（sand filtration）による浄水（purification）と水道が定着した。

日本では1590年代に徳川家康が江戸開府のおり無浄化で流し放しの水路を造ったのが水道の始まりである。18世紀末には江戸住民の60%がこの水路の恩恵を受けていた。1887年に横浜で圧力をかけた浄水を配水している。今日、先進国では飲料水に適した水を供給するため水質に関して法的規制を加えている。規制の対象は細菌による汚染、し尿（excreta）による汚染、金属・重金属類（metal・heavy metal）、有害化学物質（toxic chemical）、農薬（agricultural chemical）、pH、濁度（turbidity）、臭気（odor）、色度等について基準を設けた上で原水を沈殿（sedimentation）させ砂濾過し、最後に塩素消毒（chlorination）をして安全な水を供給している。しかし、原水の悪化によりオゾンで処理した後に濾過し、塩素消毒といった高度浄化処理方法（advanced water purification treatment）をとる施設や国が増えている。

生物学的に水を介する病気の99%以上は汚染された水が関与し、これは化学物質による汚染飲料水により引起こされる病気の数百倍も多いという。

発展途上国では病原体（pathogen）で汚染された飲料水で毎年2,500万人が死亡するという。しかも、下痢による脱水症（dehydration）や栄養不良（malnutrition）により5歳未満の子供が毎年300万人死亡している。これは同じ年齢層の死亡者の1/4に相当するものであるが、経口補水療法（oral rehydration treatment;ORT）により予防・治療が可能である。全下痢症の5%弱が点滴（drop instillation）を必要とするに過ぎ

ないことを考えると、とりあえずORTの普及は重要である。今日、発展途上国で見られる乳児下痢症 (infant diarrhea) を改善するためにはORTに頼らずに安全な水を供給するシステムの構築が必要である。

一方、水道の原水となる河川、湖沼の水源の悪化も防がなければならない。水道の悪化をもたらす原因は、水量の減少、人口の増加による生活排水 (domestic sewage) の増加、工業化による水の汚染、水の富栄養化 (eutrophication) 等々があげられるが、さらに消毒のための塩素処理 (chlorination) が逆に発がん物質 (carcinogen) の産生を促す結果をもたらしたり、ウィルスによる汚染もある。アメリカの水道水では胃腸の伝染病を引起こすクリプトスポリジウム (Cryptosporidium) やランブル鞭毛虫 (Giardia lamblia) による汚染が問題となっており、ミルウォーキー市では40万人が感染し104人が死亡したと報告されている。しかも通常の消毒ではこれらの原虫 (protozoa) は死なない。先進国での大きな問題である。

4) 水の衛生と母子保健 (maternal and child health)

Mills-Reinke 現象から明らかのように、水を濾過するだけで消化器伝染病 (digestive disease) による死亡率、さらには一般の死亡率も減少することが明らかとなっている。特に水の浄化による安全な水の供給と使用は乳児死亡率 (infant mortality rate) の低減に大きく貢献する。中国における1984年の十大死因 (ten leading causes of death) の第5位は消化器系疾患 (digestive disease) であった。市における死亡率 (death rate) (人口10万対) は23.8、総死亡 (total number of death) に占める割合は4.3%であった。ベトナムでは (1990年)、死因別死亡率 (mortality ratio by cause of death) の第5位を下痢が占めており人口1万対0.05、罹患率 (incidence rate) も同様5位で人口1万対18.4であった。

スリランカでは (1991年) 入院患者の十大死因の第5位を胃腸疾患 (gastrointestinal disease) が占めており6.6%、人口10万対11.0であった。フィリピンの国民死因 (cause of population mortality) (1992年) の第9位は下痢症 (diarrhea)、乳児死因 (cause of infant mortality) の第4位に下痢症、国民の十大罹患率 (ten leading incidence of population) の第1位が下痢症 (人口10万対1,587) というように消化器系疾患の占

める割合が高い。

このように発展途上国での乳児死亡率が高いのは、下痢、脱水、栄養失調に起因することが明らかであるが、これを受止める医療体制（medical service system）（医師数、病院数、ベッド数、医療費（medical expense））と安全な水を摂取することに対する教育が大きくかかわっている。近年簡易経口補水剤（oral rehydration treatment）が普及し始めているが、発展途上国全体に広まるにはまだ時間がかかるであろう。但し、この問題は乳児だけの問題でなく成人においても胃腸疾患が重大な健康影響をもたらしている。

妊産婦死亡率（maternal mortality ratio）は乳児死亡ほどの相関はないものの、安全な水が利用されることにより減少することが考えられている。水の使用率と女性の教育が正の相関を示すことは、衛生教育（health education）の必要性を如実に物語っているといえる。

水道網（aquaduct network）の発達は当然水の使用量や使用率の上昇に結びつき、疾病特に消化器系疾患（digestive disease）の減少に貢献するはずである。日本では水道網が発達し、水道普及率は全国平均で95%、東京では99%となっているのに対してベトナムでは安全な水の利用率が都市で65%、農村で43%。ラオスでは都市で57.1%、農村で6.4%とその格差が大きい。発展途上国では安全な水の送水技術、水道網の維持管理が適切になされなければならないが、水道管の破損と汚水の吸引によりかえって汚水の配水が起きているのが現状のようである。

2 工業による水質汚染

上水道は人口の集中化、都市化の結果として発達し、水の使用量の増加へとつながるが、飲料水（drinking water）の補給源となる河川、湖沼、地下水からの供給が豊富であることが要求される。都市での生活が満足できるのも、健康を保てるのも安全な水の供給があって成立つし、産業の発展も安価で豊富な水が保証されなければならない。

一方、供給された水はやがて排水として環境中に放流されることになるが、排水中に含有される物質の質と量いかんにより環境汚染 (environmental pollution) ひいては健康影響が大きな問題となる。

1) 産業排水 (industrial wastes) による汚染

工場から排出される水質は、産業の種類により様々である。大きく分ければ食品、紙パルプ、繊維関係の工場から有機質・フェノール・油脂の濃度の高い排水を出す業種、メッキ工場 (electroplate works)、機械工場 (machine works)、製鉄所 (iron works)、金属精錬工場 (metal refinery industry) からシアン・重金属 (heavy metal)、有機溶剤 (organic solvent) などの有害物質を排水する業種、酸、アルカリ性の強い排水を出す工場等がある。

(1) 有機塩素化合物 (organochlorine compound) による水の汚染

有機物に塩素 (chlorine) や臭素 (bromine) が付いた化合物で、天然に存在せず、生体内で分解され難く、蓄積し易い。肝臓に毒性を示し、物質によってはDNAに作用し変異原性 (mutagenicity) や発がん性 (carcinogenicity) を示すものが多い。

トリクロロエチレン (trichloroethylene) は有機溶剤の中でも代表的な物質で、ドライクリーニングやメッキ工場、半導体工場等で金属洗浄剤として大量に世界中で広く使用されている。発癌性が疑われており、工場敷地内に捨てられると公共用水域に流出したり地下水に浸透していく。地下水を塩素消毒するとトリハロメタン (trihalomethane) へと変質し発がん物質 (carcinogen) を発生する。

(2) 重金属による水の汚染

重金属による汚染も重要な健康被害を発生する。日本の水俣病 (Minamata disease) はその代表例であろう。工場排水中に含まれていた有機水銀 (organic mercury) が食物連鎖 (food chain) により魚介類で濃縮され、人体に入り中毒

を起こしたものである。1956年に最初の患者が報告されたが、特に脳神経系 (cerebro-nerve system) への障害が著明であった。

1975年にはカナダのオンタリオ州で原住民のインディアンに水俣病が発生している。上流の化学工場とパルプ工場の水銀廃液によるものであった。イタイイタイ病 (Itai-itai disease) もカドミウム (cadmium) の汚染によるものである。富山県の神通川上流 (upper stream of Jintsu river) の工場からの廃水中のカドミウムが生物濃縮 (bioconcentration) を受けて人体にとりこまれて起こった被害である。

船底塗料や漁網防汚剤として使用される有機錫化合物 (organo tin compound) による湖沼や海の汚染が問題となっている。大型タンカーの船底に付着する甲殻類 (Crustacea) が船のスピードを落とし燃料消費量増加をもたらしたり、定置網や養殖場の漁網に付着する藻類 (seaweeds) により酸素欠乏 (oxygen deficiency) となるためこの化合物を塗布していた。当然これらの化学物質による魚介類の汚染、生物濃縮により最終生物である人への健康影響が懸念された。有機錫化合物は難分解性 (difficulty of degradability)、高蓄積性 (high accumulation)、慢性毒性 (chronic toxicity) があることから、今日日本での使用に関しては厳しく使用制限が科せられている。しかし、今後世界的な規模での規制が必要とされる。

(3) 多環芳香族炭化水素

石油や石炭の不完全燃焼、自動車の排気ガス中に多量に含まれる物質に多環芳香族炭化水素 (polycyclic aromatic hydrocarbon; PAH) がある。石炭からとれるコールタールにも多量に含まれるが、水道管の内面塗装に使用されると飲料水中に検出される。大気中浮遊粒子状物質 (air borne particulates) (大気汚染物質 (air pollutants)) 中には多種多様のPAHが検出される。これらPAHはやがて地上に落下したり、雨水と共に水道源水や地下水に溶け込み、やがて飲料水中に出現するか、塩素処理により変異原物質やトリハロメタン (trihalomethane) となる。

(4) PCBによる水の汚染

カネミ油症事件（Kanemi rice oil food poisoning）の原因物質として知られるPCBは、塗料、印刷インキ等の溶剤として、トランスやコンデンサーの絶縁油（insulation oil）として、また、熱媒体（thermal medium）として用いられていた。PCBは肝臓障害、色素沈着（pigmentation）などの生体影響を生ずる物質であるが、難分解性、高蓄積性があり環境中にいつまでも安定した状態で存在する。そのため、産業界で使用されたPCBは河川や湖沼、海を汚染し水生生物（aquatic organism）の食物連鎖で濃縮を受け、生体内に入るため人体や母乳からも検出されている。日本では1972年以降製造禁止されているが、未だに環境中から検出される。

(5) ダイオキシンによる水の汚染

地球上で最強の毒性を持つと言われるダイオキシン（Dioxin）が海の底泥や魚から検出されている。Dioxinは除草剤（weedicide）合成過程で不純物として産生されたが、環境中で安定、難分解で、生体への蓄積性が高く、生体内の肝臓や脂肪中に長期間残留し、微量で発がん性（carcinogenicity）や催奇形性（teratogenicity）を持つ物質である。製紙工場のパルプの漂白工程で生成される事が明かであるが、最近、清掃工場（scavenger facility）、事業所や一般家庭の焼却炉（incinerator）からの発生が問題となっている。

500～600℃でプラスチックや塩化ビニール製品（vinyl chloride products）を焼却するとダイオキシンが発生し、煙や灰の中にでてくる事が明かである。大気に出たダイオキシンは、乳肉製品、海産魚類、野菜等の食品を汚染するだけでなく、地下水を汚染し飲料水として生体内に取り込まれる。この事実は世界的な問題となっており、すでに規制している国もある。リサイクルにより焼却物質を減らすか、焼却温度を850℃以上にするかで、環境中のダイオキシン量を低減する事は可能である。

2) 生活雑排水 (domestic sewage) による汚染

(1) 厨房、し尿 (excreta) による汚染

生活雑排水による水の汚染は、工場排水とは異なる特徴を持つ。炊事、洗濯、風呂からの排水、し尿には多くの有機質が含まれている。下水道が発達した地域では、下水処理施設で浄化され河川や湖沼に放流される。しかし、下水道の普及が遅れている地域では家庭からの生活雑排水は無処理のまま放流される。川の汚染の60%以上は家庭排水によると言われる。し尿のたれ流しは水源の汚染を深刻化させると共に、都市の中小河川の自浄 (self purification) 作用を極端に劣化させ、伝染病の原因になりかねない。川の有機物による汚染の指標となる生物学的酸素消費量 (biochemical oxygen demand; BOD) は、家庭から出る総排水のBOD値の42%を厨房からの排水が占め、し尿26%、風呂の排水22%、洗濯10%となっている。

日本の家庭の1日に排出される汚水量のBOD負荷量は平均935mg/l (1973年) と報告されている。魚が住める川の水質はBODとして5mg/lであることから、家庭からの雑排水の処理に積極的に取り組まねばならない。

(2) リン・窒素 (phosphorus・nitrogen) と富栄養化 (eutrophication) による水の汚染

生活排水中のリンや窒素化合物が湖沼や内湾へ流れ込み、それを栄養源としたプランクトンや原生動物 (protozoa) が大量に発生し、水中にとけ込んでいた酸素を大量に消費した結果、酸素欠乏に陥り大量の魚介類が死滅する。これを富栄養化と言ひ、赤潮 (red water) とか水の華 (water bloom) ともよばれる。湖水のリンの45%は生活排水によるもので、その他は、周辺の田畑からの肥料による。

一方、富栄養化は、微生物の増殖を促進し、2-メチルイソボルネオール (2-methylisoborneol) やジオスミン (diosmine) 等のカビ臭原因物質を産生する。そのため飲料水として不適となる。このカビ臭の除去にオゾン処理と活性炭処理を組み合わせた高度浄水処理技術が導入されている。

リンや窒素化合物のたれ流しによる富栄養化を防止すべく、下水を処理する

計画もある。東京区部下水処理量430万 m^3 /日のリンと窒素化合物処理施設費用に6,800億円、リンと窒素化合物維持管理費として1.7~2.5億円/日と試算している。人口の増加と都市化で生活排水が増える事により、先進国はもとより発展途上国においても、これから水資源の保護をする上からも、生活排水中のリンや窒素化合物の排出を極力少なくするよう努力しなければならない。

3) 農薬 (agricultural chemical) による水の汚染

農業生産量を上げるために農薬は欠かせない。しかし農薬の中には発がん性や長期慢性毒性のあるものがあつた。DDTはその代表で、環境中で分解されず、蓄積性があり、動物に対して発がんの可能性も報告されている。日本では1971年以降使用されていないが、未だに環境中から検出される。

一方、ゴルフ場の芝生の管理に除草剤 (herbicide)、殺虫剤 (insecticide)、殺菌剤 (sterilization agent) が多量に散布されている。田畑に用いるものと同じで約40種類ある。田畑やゴルフ場に散布された農薬はやがて河川や湖沼、地下水を汚染する事になる。特に、殺虫剤である有機リン剤 (organic phosphorus pesticide) は、生体内のコリンエステラーゼ (cholinesterase) という酵素の働きを阻害し、神経毒 (neurotoxin) として作用するが、飲料水の消毒に用いる塩素のために毒性が100~1,000倍に増強されると言われる。その使用に当たっては制限が必要である。

4) 塩素消毒による水質汚染

1972年にオランダでライン川下流の水からクロロホルム (chloroform) が検出されたのがきっかけとなった。1974年にアメリカのミシシッピー川の水を飲料水としていたニューオーリンズ住民の発がん率が、他の水源を飲料水としていた人々よりも高いというHarrisらの報告で、河川中の発がん物質が問題となった。

本来、塩素消毒は飲料水中に存在する有害微生物を殺菌 (disinfection) し、安全な水を提供するのが目的である。しかし近年、原水の有機物による汚染が進む事により、浄水処理 (water treatment) に要する塩素注入量を増やさざるを得ない状況にある。

塩素が原水中のフミン質 (humic) やカビ臭 (moldy) 原因物質などの微量有機物と

反応し発がん性のある有機ハロゲン化合物（organic halogen compounds）を生成する事が明かとなった。これをトリハロメタン（trihalomethane）と総称し、クロロホルム（chloroform）、トリブロモメタン（tribromomethane）、ジクロロブロモメタン（dichlorobromomethane）、クロロジブロモメタン（chlorodibromomethane）が含まれる。フミン質は土壤中の腐食質やし尿処理水（excrete treatment）、下水処理水（sewage treatment）など生活排水中に存在する。カビ臭の原因は前に述べた2-メチルイソボルネオールやジオスミンである。トリハロメタン生成量は、水温が高いほど、塩素との接触時間が長いほど多くなる。

これらトリハロメタンの除去は、活性炭（activated carbon）とオゾン処理（ozone treatment）を組み合わせた高度浄水処理を行う方法がある。しかし、本来は原水の有機物による汚染をできるだけ少なくする事である。

3 まとめ

水系伝染病（water borne disease）は水を介した感染症であるが、その原因が究明されるために人類は数千年の年月を費やしてきた。しかし、浄化した水を供給すればよいとわかりながらも、安全できれいな水が未だに供給されていない地域や国が多数あるのが現実である。

さらに、人口の増加と都市化は、単に水を浄化しただけでは済まない状況になりつつある。すなわち、水の量と共に質が大きな問題となっており、日本だけでなく国際的な取り組みが必要とされている。

家庭から排水される有機物質および数々の化学物質、さらに工場排水による水質の汚染を防ぐには、環境基準項目と基準値を定め、集中的な処理または企業にあっては自社内処理により基準値以下の水を河川、湖沼、内湾に放流するような措置とモニタリングによる監視が必要である。

近年問題となっているのは、自国の規制措置が厳しいため基準値のない発展途上国に工場を移転し生産する企業がある。国際的な基準値の設定と監視を必要とする。

参考文献

1. 鈴木静夫著. 水の環境科学. 内田老鶴圃 (1993)
2. ソーラーシステム研究グループ著・押田勇雄編. 都市の水循環. NHKブックス (1982)
3. 中西準子著. 水の環境戦略. 岩波新書 (1994)
4. 鯖田豊之著. 水道の思想. 中公新書 (1996)
5. 山口嘉之著. 水を訪れる. 中公新書 (1997)
6. レスター・R・ブラウン編著・浜中裕徳監訳. 地球白書1996-97. ダイヤモンド社 (1996)
7. 清水誠編. 水産と環境. 恒星社厚生閣刊 (1994)
8. 環境庁編. 環境白書 (平成8年版) 総説 (1996)
9. 環境庁編. 環境白書 (平成9年版) 各論 (1997)
10. 今木清康著. 地球環境科学. コロナ社 (1996)
11. 藤原元典 他 監修. 総合衛生公衆衛生学. 292-328頁. 南江堂 (1985)
12. 高橋裕著. 都市と水. 岩波新書 (1988)
13. 阿部三史・高桑栄松編集. 新衛生公衆衛生学. 南山堂 (1967)
14. 大友弘士. 小川康恭. 中澤靖. 外務省巡回医師団在外邦人健康相談. 1997年度南東アジアIチーム. 平成9年8月 (1997)

人間と開発シリーズ22

水をめぐる21世紀の危機 -アジア人口を焦点として-

1998年3月発行

発行 財団法人 アジア人口・開発協会 (APDA)

〒160-0022 東京都新宿区新宿1-5-1
コリンズ3ビル 3階
TEL 03 (3358)-2211
FAX 03 (3358) 2233
