



済州ハンラ大学 シンポジウム テーマ：「ユーラシアと水問題」

内藤 徹雄・秋山 憲治・後藤 晃

済州ハンラ大学 シンポジウム

テーマ：「ユーラシアと水問題」

2016年9月5日（月） 16:00～19:00

第1報告：「アジアの水ビジネスの現状と課題」 内藤 徹雄

第2報告：「チベット高原の水問題と西部大開発」 秋山 憲治

第3報告：地下水の過剰汲み上げと農業の危機 後藤 晃



参加者

2016年9月5日～8日まで、3泊4日の予定で、韓国済州島の水事情の視察に出かけた。その初日に、済州ハンラ大学 GRN プロジェクト・チームのワークショップおよび第2回チェジュ・ユーラシア・フォーラムで、「ユーラシアと水問題」のテーマで研究報告を行った。

プログラム

Chair	Myong Sop Pak (Professor of Sungkunkwan University)	
16:50 ～ 17:10	Title	Current Situation and Issues of Asian Water Business (アジアの水ビジネスの現状と課題)
	Author	Tetsuo Naito (Kanagawa University) (内藤 徹雄 (神奈川大学))
17:10 ～ 17:30	Title	Tibet Plateau's Water Issues and Western Development Projects in China (チベット高原の水問題と西部大開発)
	Author	Kenji Akiyama (kanagawa University) (秋山憲治 (神奈川大学))
17:30 ～ 17:50	Title	Iran Agriculture and Water Problem (イランの農業と水問題)
	Author	Akira Gotou (Kanagawa University) (後藤 晃 (神奈川大学))
18:00-18:30	Commentator	Yong-Seok Son (Jeju National University) Chiyoko Aoyama (Cheju Halla University) Kwang-Myong Ko (Jeju National University) Yuko Suto (Cheju Halla University)

上記のプログラムに基づき、神奈川大学アジア研究センター「アジアの水に関する総合研究」プロジェクトから3名の研究員が報告を行った。以下、報告の概要である。

第1報告：「アジアの水ビジネスの現状と課題」

内藤徹雄



内藤徹雄

1. 本報告の目的

世界人口の急激な増加や経済発展、都市の拡大によって、世界の水需要は急速に増加しており、水不

足が懸念されている。また、水問題は食料問題や環境問題とも密接に関連し、地球規模で解決すべき喫緊の課題となっている。こうした水問題への関心の高まりに対応して、水をビジネスの対象とする水ビジネスが急拡大している。なかでも、人口増加や経済発展の著しいアジアにおいて、水ビジネスの発展が予想される。本報告はアジアにおける水ビジネスの現状を分析し、その課題を探ることを目的とする。

2. 地球上の水資源と世界の水需要

地球上の水資源の大部分は海水（97.5%）で、人類が利用できる水は河川・湖・沼の水（0.01%）である。利用可能な水資源に対して、人口増加や都市化・工業化により世界の水需要は飛躍的に増加し、20世紀の100年間で6.7倍になった。この傾向は21世紀に入っても続き、2000年から25年間に世界の水需要量は30%の増加が予想される。なかでもアジア地域は60%の増加が見込まれているが、その要因は工業及び生活用水の増加にある。

3. 水ビジネス市場の規模

世界における水ビジネスの市場規模は21世紀に入り急速に拡大し、2007年の36兆円が2025年には87兆円になると予想される。市場規模が大きな上下水道（伝統的な分野）は2.3倍になるが、新しい水技術を活用した海水淡水化（3.7倍）や再利用水（21倍）の分野は著しく伸びることが予想される。

4. アジアにおける水ビジネス市場の成長見通し

地域別の成長見通しでは、アジアが北米及び西欧を抜き、世界最大になる。巨大な人口を抱えるアジアではいまだ人口が増え続けており、水インフラの整備が追いつかず、住民への上水・下水の安定供給ができない地域が多くあり、上下水道ビジネスの幕開けはこれからである。上下水道ビジネスの市場規模・成長性および経済成長性から中国、インド、ベトナム、インドネシアなどが有望である。

また、シンガポール、韓国、台湾等一部の中進国では、新しい水技術を採用した海水淡水化や再利用水の分野での水ビジネスが見込まれる。

5. アジアにおける水ビジネスの課題

アジアにおける当面の課題は以下の通りである。

- ①世界の潮流である上下水道の民営化を推進し、競争原理によって経営効率化を図ること。
- ②急速な経済発展による工業用水需要増による水不足や工業廃水による深刻な水質汚染を改善すること。
- ③老朽化した水道施設や配水管の改善を通して漏水問題を解決すること。
- ④海水淡水化や再利用水の技術を取り入れること。海水淡水化や下水再利用率は、シンガポールに優れた先進例がある。

（ないとう てつお 客員研究員、神奈川大学経済学部非常勤講師）

第2報告：「チベット高原の水問題と西部大開発」

秋山憲治



秋山憲治

中国西部地区で、チベット高原（以下、チベットと略）は特異な地域であり、地政学的な重要性を持っている。現在、開発が急速に進んでおり大きく変貌しつつある。報告は、チベットに豊富に存在する水に注目した。アジアの水がめといわれるチベットの水問題を西部大開発と関連つけながら検討する。

1. チベットの水資源

中国政府がチベットを国際政治・安全保障上の重要性から自国領に組み入れていったが、現在では、水資源の確保の観点から一層重要性が増している。中国のみならず、インドをはじめアジア諸国は深刻な水問題を抱えている。地球温暖化・気候変動による水不足、経済成長や人口増加に伴う食料需要の増大など水の確保が重要課題となる。国際河川の場合、河川の上流国が下流国の生命線を握っており、水を巡る戦争も引起される可能性もある。過去の戦争は領土を巡り、現在はエネルギー確保の戦争であり、今後は水戦争であると言われている。チベットはアジアの国際河川の源流となっている。

中国の水問題は深刻な状態となっており、「南水北調」プロジェクトは長江の水を不足する北部地域に人工運河を作り配水しようとするものである。「南水北調」は、幸運にも、長江、黄河という国内河川の問題である。しかし、チベットからはアジアのほとんどの大河の源流として、国際河川として流れ出ている。チベットを水源とする大河がインド、東南アジア諸国、パングラデシュなどに流れている。これらの国際河川は、流域の国に大きな影響を及ぼす。国際紛争となり安全保障の問題となる。

チベットからアジアの各地に流れ出る国際河川は、アジアの巨大デルタ地帯の生命線でもあり、世界の人口の50%近くを養う。都市化が進むアジアの巨大都市では、生活・産業用水として、また食料需

要の増大に対し農業用水として、アジアの水需要が増大している。その中で、水不足は深刻な問題である。チベットの水資源は中国の生命線ともいえるだけでなく、インドや東南アジアなどアジアの生命を左右する政治紛争の源でもあり、国際政治や安全保障に重要な影響を及ぼす。

2. 西部大開発と水資源

中国では、経済発展した沿海部と開発から取り残され内陸・西部地区との経済格差の拡大が大きな政治課題となり、その縮小を目的に西部大開発政策が開始された。西部地区は中国全土の三分の二を占めるが、水の不足する砂漠や、酸素の薄い高原など瘠せた土地が多いが、西部大開発とチベットの水資源は大きく関連し、チベットの開発が進行している。都市化は着々と進展しているように見えるが、一方、多くの問題点も指摘される。

まず、産業構造面では、西部地区が、繁栄する沿海部のエネルギーの供給地域として、また、不足する水不足の調達地域として、そして、道路や鉄道などのインフラは、北京や上海など沿海部と結び付けられ物流の中央集権化が進行した。沿海部の経済に影響され、もし、沿海部の経済が停滞すると大きな負の影響を被る可能性も大きい。いわば従属化の懸念も大きくなる。

また、経済開発が、自然破壊、環境破壊を引き起こしている。都市化に伴い、多くの公害被害も発生している。自動車の急増・交通渋滞は、大気汚染を、工場からの工業廃水、住民の生活排水は、水質汚染を引き起こし、健康被害が多発している。鉱物資源開発は、水質汚染を引き起こし、ダム建設や電力開発は生態系の破壊（森林破壊や希少動植物の絶滅など）や土砂の堆積、地震による決壊や洪水の懸念などある。そして、経済開発や都市化の進展は、気候変動や地球温暖化を引き起こし、中国の水源であるチベット高原の水河の融解・消失、水源の減少、ひいては、深刻化する水不足を一層悪化させる。

3. 課題

チベットは、アジアの水がめともいわれ、アジアの巨大国際河川の水源となっている。水源を管理することは、インドやバングラデシュ、東南アジアなど関連諸国の支配の可能性を示唆する。ダム建設で、水量を規制することは水戦争を引き起こす。水不足を助長し農業を破壊する。巨大河川流域の水産業を衰退させ、自然破壊も引き起こす。水をめぐる国際紛争の多発が懸念され、水をいかに国家間で管理するかが問われる。水供給インフラは生死にかかわる問題である。国際河川を多く持つ中国・チベットはアジアの水源であるため、水の国際的なインフラ整備は平和とも関係する重要課題である。

（あきやま けんじ 神奈川大学経済学部教授）

第3報告：地下水の過剰汲み上げと農業の危機

後藤 晃



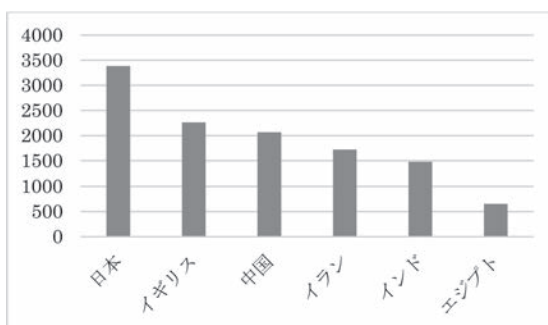
後藤 晃

今日の水問題

世界の水需要はこの半世紀に3倍近く増え世界的な水不足が懸念されている。水需要が増大した要因としては、人口増と都市化の進展、また増産を目的とした灌漑農地の拡大がある。一方、年平均降水量と国土面積から算出する水資源量を人口で割った1人当たりの水資源量は趨勢として低下し、年間1700 m³以下の水ストレス状態にある人口は、1990年には世界の総人口の12%であったが2050年には42%まで増えると予想されている。そして水需要の増大には地表水や地下水の有効利用により賦存する水資源の利用率を高める形で対応がなされてきた。しかし水の需給は全体としてひっ迫化する傾向にあり、需要の増大が国内また国際的な緊張を深めている。

水需要の増大は国際紛争の要因ともなってきた。世界の6割を超える国が国際河川の流域にあり、流域国の水分配をめぐる紛争は中東やアジアではすでに1970年代にはじまっている。年平均でみると河

図表1 国民1人当たりの水資源量 (m³/年・人)



注) 中国、インド、イランは、降水量が多く水の豊富な地域がある一方で、深刻な水不足問題に悩む乾燥地域を抱えている。エジプトは一人当たりの水資源は非常に少ないが、外来河川のナイル川がアフリカの内陸部から豊富な水を運んでいる。

川の流量は増えることがないため紛争はゼロサムのな争いになり、流域国が経済開発や農業開発を進め水需要が増えることで紛争は今後さらに深刻度を増すと予想されている。

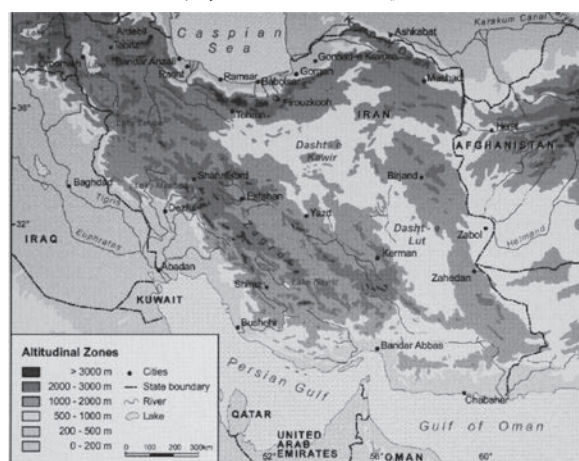
世界の食料問題との関連でいえば、水不足が将来、農業生産の停滞ないし減少を引き起こす可能性がある。この半世紀でみると人口増加のペースに合わせて農業生産量も増えてきた。これは品種改良や農業の機械化・化学化など技術革新に依るところが大きい。しかし一方で、水資源の過剰な利用による灌漑農地の拡大と農業の水集約化が生産力の増大に関係した。このため将来的な水不足が生産拡大のネックとなりさらに生産を縮小させる可能性もはらんでいる。水不足はとりわけ地下水で深刻である。乾燥地の農業地帯では過剰な地下水開発が地下水位の低下を招き、これまで地下水利用で拡大してきた農地が縮小に向かって行く新たな局面を迎えようとしている。

国連環境計画で定義された乾燥地の概念にしたがえば、乾燥地は地球の陸地の47%を占める。この乾燥地では農業生産を高めるには人工的な灌漑が条件となり、とくに乾燥度の高いところでは灌漑なしでは農業生産自体が難しい。このため農業用水の獲得がどうしても必要になる。灌漑の手段となる水資源を河川と地下水とに分けると、河川ではダム建設で安定した水の供給がはかれ水路網を広げること灌漑農地の拡大が図られてきた。一方、地下水が得られるところでは井戸を掘削しディーゼルや電気を動力に水を汲み上げ新たな農業用水を獲得してきた。しかしイランの乾燥地の場合、河川は流量が減り地下水は地下水位の低下によって揚水量が減少し水問題は深刻な状態にある。ここでは、乾燥地域が抱える水不足の問題をイランの現状を通して検証していく。

イランの地下水利用

イランの国土は、西部から南部にかけてザールグロス山地が、北をアルボルス山脈が走り、山地がイラン中央部の平原を囲む盆地地形をなしている。山地は年間降水量がおおよそ300～600ミリあるが、盆地に当たる部分は降水量が少なく、その中央には極乾燥の砂漠が広がっている。この乾燥地の砂漠を囲む盆地の縁に当たる年間降水量100ミリないし250ミリのところに山地から流下する河川や地下水を水源とする農業地帯が分布している。日本と比べると年間降水量が10分の1ほどのところに、数100km²規模の大オアシスが複数分布し大農業地帯が形成されている。

図表2 イランの地形



図表3 イランの降水量分布



乾燥地で起こっている水不足の要因については地球レベルの気候変動が影響しているといわれる。イランでは年間降水量は過去50年間に15%減少し、かつておおよそ5年に一度の頻度で起こった干ばつは、21世紀に入る頃から恒常化するようになった。降雨の減少で水源である山地の積雪量は減り、河

川の流量に影響を与えてきた。

水不足のさらなる要因は過剰な汲みあげによる地下水の減少である。地下水位の低下によって、後に紹介する伝統的な灌漑システムであるカナートの枯渇が進み、河川の流量の減少にも地下水位の低下が関係した。

乾燥地では農業用水を地下水に依存するところが多い。水田が農地の半分を占める日本では農業用水の地下水依存は5.3%だが、イランでは灌漑農地の62%が地下水灌漑である。この傾向はインドや中国についても言えることであり、アメリカ中央部の乾燥地帯グレートプレーンズの穀倉地帯もオガララ帯水層の水の汲み上げで成り立っている。今日の問題は地下水の過剰な汲みあげによって生じる地下水の減少であり、将来的には地下水の枯渇によって農業に甚大な影響を及ぼす可能性が高い。

乾燥地では降水量が少ないために涵養される（地下水に補充される）水量は少ない。イランでは地下水盆地別に6つの地域に分けることができる（図表4）。周辺の山地に降る雨や雪が水源になり地下水は数百年、数千年の年月をかけて水盆地に貯まる。さらに数10万年前の化石水も存在する。このため過剰にくみ出すと、元に戻るまでに貯まるのに必要とされた同じ年月を要する。FAOの推計によると、イランでは1年間に涵養され地下水として蓄えられる水量は49,300万m³である。これに対して農業などで利用される地下水量は年間53,100万m³であり、差し引き3,800万m³が過剰に汲み上げられ、その分地下水盆地が毎年縮小することになる。

この数字はイラン全体での地下水の収支であり、個々の水盆地では収支に大きな違いがある。イランで涵養される水の総量のほぼ半分はペルシア湾・オマーン湾地域である。一方、重要な灌漑農業地帯であ

図表4 イランの地下水盆地の地域区分



図表5 イランの主な6つの地下水盆地で年間消費される地下水量（100万m³）

地下水盆地で分けた地域	井戸	カナート	泉	合計
ハザール地域	4390	480	3000	7830
ペルシア湾・オマーン湾地域	10080	1060	15240	26380
オルミエ湖地域	1970	230	120	2320
中央地域	25930	5790	2470	34180
ハモーン地域	800	400	60	1260
シャラフス地域	1730	290	350	2360
合計	44890	8230	21240	74350

FAO, Groundwater Management in Iran,2009

りイラン全体の46%の地下水を利用する中央地域（イラン中央部の乾燥地帯）では、涵養される地下水は全体の1/3以下であり、供給される水量を大きく超える地下水が消費されてきた。このため地下水は年々大幅に減少してきた。

地下水位の低下は地下水の収支バランスを崩す過剰な汲み上げによって起こる。灌漑農地の面積は1960年（465万ha）から2000年（813万ha）までの40年間に1.75倍増えている。単位面積当たりの灌漑水量も増えたことで、1960年から40年ほどの間に農業用水量は3倍近く増え、その結果、農業生産は大きく伸び、小麦の生産量でみると4倍に増えている。農業生産の増大はそれだけ地下水依存を高め、地下水の消費量が大幅に増えたことで地下水の収支が悪化したのである。

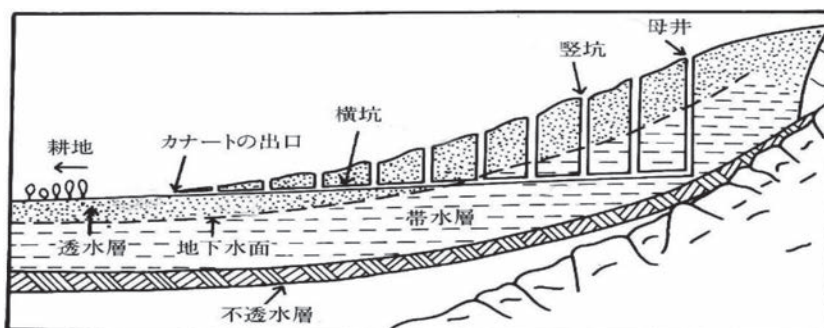
図表6 イランの小麦生産量推移（100万トン）



ポンプ揚水井戸の普及と地下水問題

1960年以降の水資源開発をみると、国は主にダムや水路の建設など地表水開発の事業を行い、地下水開発は農業経営の主体である農民や大農経営者が担った。動力ポンプが普及する以前、イランでは地下水を利用するのにカナートと畜力井戸が使われてきた。カナートは、図表7にみるように帯水層の水を集め1000分の1ないし2000分の1の緩い傾斜の水路で重力に逆らうことなく地上に導く灌漑システムである。東は中国西部のトルファンから西は北アフリカに至る乾燥地に広く分布し、イランでは20世紀半ばまで灌漑耕地のほぼ半分がカナート灌漑地であった。一方、畜力井戸は60リットルほど入る皮袋を井戸に落とし馬などの畜力でくみ上げるものである。

図表7 カナートの構造



母井戸を掘り、地下水路と帯水層との接面を多くとり、地表に導く。
立坑は土砂を取り除くためのもの。地下水路の長さは平均10 km

20 世紀の半ばになると、重油を使ったポンプ井戸が普及し大量の水がくみ上げられるようになった。ポンプ井戸は当初大規模経営者の間に広がり、村では多数の農民が共同で設置した。しかし 1980 年代に入ると、農民が個々に井戸に投資するようになり、井戸の数が急増した。当時、イランはイラクとの間で長期に戦争状態にあり、また政府の人口政策を反映して年率 3% の割合で人口が増えており、農作物の増産は国の重要課題になっていた。このため政府は補助金や価格政策によって農業保護政策を進め、農民はこれをインセンティブに井戸への投資を活発に行った。この結果、地下水は過剰に汲み上げられ、増産を優先した政府はポンプ井戸の建設に規制をかけなかった。

地下水の過剰な汲み上げは地下水の収支バランスを大きく崩すことになり、地下水位は急激に低下した。影響はまずカナートの枯渇の形で現れた。カナートは、その構造から地下水位が下がると帯水層との接面が減り流量を大きく減少させ、水位がさらに下がると水を流さなくなる。カナートが数千年もの間イランで使われ続けたのは地下水の水収支にバランスがとれていたからである。かつて、建設されるカナートの母井戸間の距離は慣習法によって決められており乱開発が抑制されていた。もちろん地下水位は年ごとに変動し水を送らなくなったカナートは放棄されることもあった。しかしこのシステムでは涵養される水量以上に地下水が使われることはなく、水収支は長期的に均衡し持続可能な農業を営むことができた。動力による汲み上げが始まるとこの均衡は容易に崩れることになった。



筆者が調査した村の事例でいうと、動力で揚水する井戸の深さは 1970 年代には 10 m ないし 30 m 程度であった。しかし、2000 年には地下水位が低下し水が出なくなった井戸が続出し、井戸の枯渇で放棄される土地も増えた。このため資金をもつものは電動ポンプで 100 m 以上の深層から汲み上げるようになった。この帯水層の水位も汲み上げが進んだことで低下し、2012 年には井戸は 200 m まで掘り下げられている。

地下水の減少が将来大きな問題になることはすでに 30 年以上も前に予測されていた。しかし食料増産が優先されたことで、ポンプ揚水井戸の設置に規制がかけられなかった。地下水の減少で収量が減り放棄地が増加し持続的な農業が危ぶまれる状態はイランの主要な農業地帯である盆地の縁に広がる広大なオアシスに共通している。図表 6 にみるように、小麦の生産量は 2010 年ころまで右肩上がりであり伸びていたが、その後は大きく低下している。これには干ばつが恒常化し河川の流量が大幅に減ったことに加えて、地下水の減少もまた大きく影響しているといっていよい。

以上、過剰な汲み上げによる地下水危機についてイランの事例を紹介したが、これは世界の乾燥地農業に共通して言えることである。乾燥地では農業生産の発展が地下の水資源開発によるところが大きく、このことが地下水の大幅減少による危機を招いた。ユトレヒト大学における調査によると、世界の主たる帯水層で年間に涵養される水量の 3.5 倍の水が利用されている。とくに乾燥地では水収支は著しくバランスを欠き、ガンジス川上流域では涵養される水の 54 倍の水量がくみ上げられている。アメリカのオガララ帯水層でも 9 倍、カスピ海南部のイランでは 98 倍に及んでいる。

図表 8 世界の各地域における地下水の利用量の対貯水量比

地域名または帯水層名	国名	面積 (万 km ²)	年間貯水量に対する 利用量 (倍)
ガンジス河上流域	インド、パキスタン	48	54.2
ハイプレーンズ	アメリカ	50	9.0
南カスピ海地域	イラン	6	98.3
ナイルデルタ	エジプト	10	31.7
黄河周辺	中国	23	7.8
ドナウ川流域	ハンガリー他	32	7.4
総計		3827	3.5

(出所) 2012 年 10 月 3 日 朝日新聞朝刊

「50 年も経たない間に我々は涵養されてきた地下水の 30% を残してすべて使ってしまった。この水は集めるのに 100 万年かかったものだ。持続性のない結果に向かって事態は益々悪くなっている。」(イランの気候学者 ナーセル＝キャリミー)

【文献】

Malekian, A., Comparison of Current and Optimum Approaches for Allocation of Water Resources Management, PhD. Thesis, University of Tehran, 2009

Mahdai, M., Malekian, A., Optimal Planning for Water Resources Allocation, Desert Journal, 2009

FAO, Groundwater Management in Iran, 2009

後藤晃編『オアシス社会 50 年の軌跡』お茶の水書房、2014 年

(ごとう あきら 神奈川大学客員教授)

*下記の写真は、シンポジウムとは別に、済州大学の水資源研究者のヤン・ソング教授に、済州島の水事情に関してヒアリングを行った時のものである。

