建設技術が及ぼす有限資源の配分様式*

――地下ダム建設効果と地下水資源の持続可能性――

黒　沼　善　博**

要旨

本稿は，沖縄県宮古島における砂川地下ダムの建設実務の経験から，地下ダム建設がもたらす宮古島農業の構造転換と地下水資源の運営についての考察を試みたものである。ひとつの地下ダムが建設されることにより地下水の絶対貯水量が増加することから，宮古島の経済二主体である農業と家計へ及ぼす効用の変化を示すことに目的をおく。さらに，宮古島圏域の将来構想である新地下ダム建設によって展開されるであろう水資源の効率的運営を検討していく。日本の地下ダム建設技術は止水壁本体にかかる建設費用が地上ダムに比べて安価であるため，原価面でも最も優位にある技術として，水資源の持続可能性という世界的な環境命題へ適用し得ることができる。また一方で，企業行動にとっては国際的な販路拡大につながる要素を持つものである。

キーワード：地下ダム　地下水資源　農業と家計　建設技術　PFI

Ⅰ　は　じ　め　に

自然からの供給財である水資源の運営は，農業生産の地域特性を形成する構造基盤に本質的な影響を与える。四方を海に囲まれた閉鎖系島嶼型農業にとって，海水を農業用水に転用できない環境ゆえにその供給源は降雨のみに依拠せざるを得ない。同時に，降雨によって貯留される水資源は，家計への生活用水として重要なファクターとなる。それゆえに，水資源の永続的確保に必要な貯留施設の建設や自然循環機能の構築は，持続可能な環境に必要不可欠である。しかしながら，財政運営の効率性に対比させた場合には，これらの施設やシステムの構築にあたっての原価的合理性が要求されよう。旱魃などの自然誘引による水資源の枯渇を防ぎ，持続可能な農業生産を実現するための貯水施設及び附帯施設の建

＊ 本稿の作成にあたり，星川順一先生（大阪経済大学社会人大学院講師，大阪市立大学名誉教授），黒坂真先生（大阪経済大学教授）のご指導を受けました。また本稿は査読論文（2007年８月30日受付，2007年10月12日受理）であり，文中の地下水資源の配分にかかる図表において，審査の貴重なご指導を受けました。ここに謹んで御礼を申し上げる次第であります。ただし，内容の誤謬については，すべて筆者の責任に帰します。

＊＊ 株式会社大林組社員（2007年９月現在，本店営業部課長）。2007年３月，大阪経済大学大学院経済学研究科博士前期課程修了。筆者は1991年から1994年までに沖縄県宮古島の砂川地下ダム施工に建設現場員として従事した。なお，本稿は大阪経済大学大学院修士論文を基礎にしたものである。さらに本稿は個人の見解であり，所属企業の意見を表明したものではない。

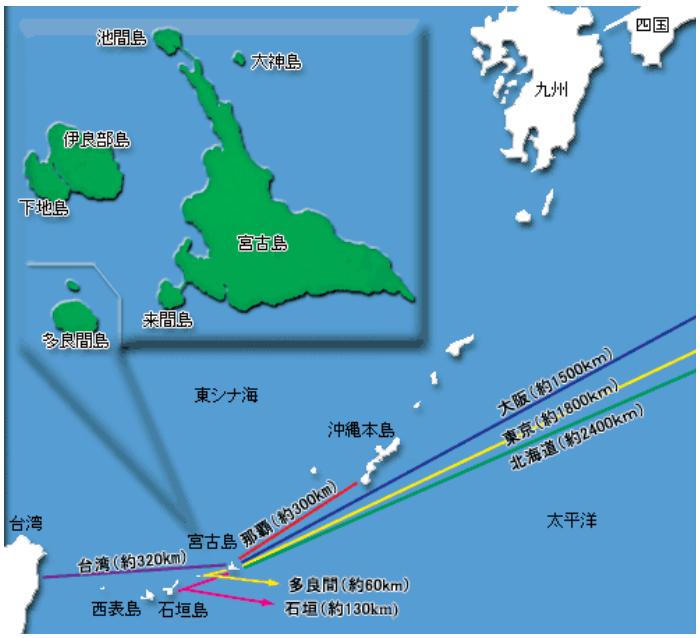
設は，近代的建設技術の投入により行われる。継続的貯水のための構築物は一般的に地上ダムが想起されるが，建設原価と建設対象となる地質構造の観点から，近年は地下ダム建設技術の汎用化がみられるようになった。

本稿では，本格的地下ダムの先駆けとなった沖縄県宮古島に建設された砂川地下ダム，及びその主目的である地下水資源の貯蓄と将来における島の一般生活用水への供給配分について考察する。さらに，宮古島圏域における将来の新地下ダム構想と地下水の効率的運営がもたらす農業と家計の関係について検討する。また，無資源国である日本にとって，比較優位な建設技術は国際貿易市場においては貿易財として位置づけることができる。地下ダムの特殊建設技術が，国際的な社会資本の整備に寄与し得る可能性を明らかにしていきたい。

Ⅱ　宮古島砂川地下ダム建設とその効果

沖縄県宮古列島に位置する宮古島[1)]は亜熱帯性気候に属し，年平均気温23度，湿度80％，雨量2,200mm と高温多湿である。宮古島は琉球石灰岩が隆起してできた島であり，平均標高 60m で丘陵部が少なく平坦で河川がない。雨量は比較的多いものの，宮古島農業にとっては生活用水のすべてを地下水に依存しており，農業を含めた島の生活・経済は貯留

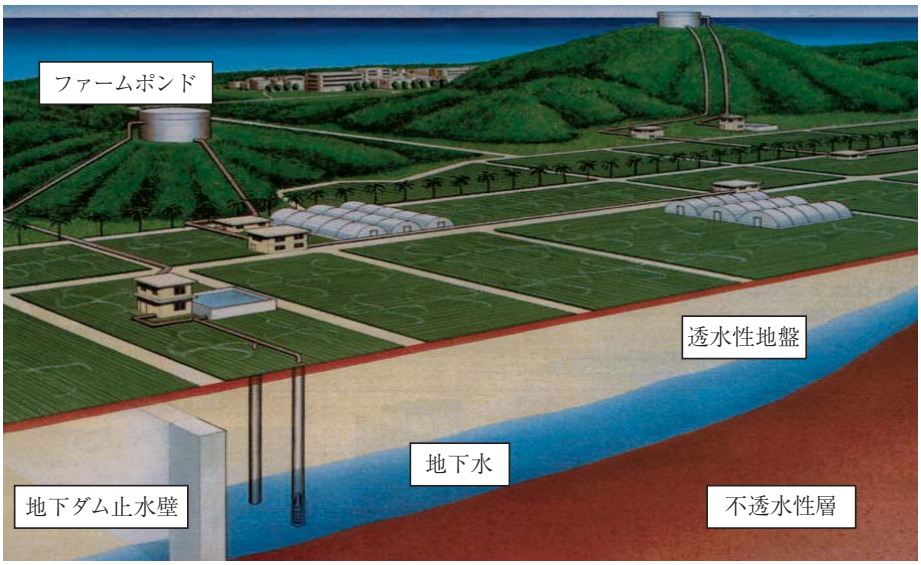
図Ⅱ－１　宮古島位置図



＊ 宮古観光協会ホームページ（2007年９月）から抜粋

1）宮古島の地質特性，水事情等については宮古島市ホームページを参照されたい。なお，宮古島市の総人口に占める農家人口の割合は，1995年 32.9％，2000年 29.0％，2005年 24.4％となっている。農林水産省統計部ホームページ（「市町村の姿」沖縄県宮古島市）参照。

図Ⅱ－２　地下ダムの一般的な送水イメージ図



＊ 内閣府沖縄総合事務局ホームページ（2007年９月）から抜粋し作成した。

される地下水量に大きく影響を受けてきたといっても過言ではない。

宮古島の降水量の約４割は透水性の高い琉球石灰岩を伝って地下水となり，最下層にある不透水性粘土層の島尻層に到達し地下谷を通って海洋部へと流出してしまう。このため，地下水は地中に滞留せず恒常的に一定の貯水がなされないため，旱魃による被害は農業に壊滅的な被害をもたらしてきた。農業用水の安定的確保と供給は宮古島農業の急務の課題であり，当初地下ダム建設は農用地整備における緊急対策事業として国営で実施された。

地下ダムとは，農業用水や生活用水の確保が困難な地域において，建設に適した用地の地中に構築される連続止水壁のことである。地下谷の自然形状を利用して地下水の流れを止水壁によって堰き止め，地中に滞留した地下水を地上のファームポンドへポンプアップして汲み上げて貯水を行い，灌漑用水として畑地へと配水される（図Ⅱ－２）。

地下ダムの建設立地は，止水壁本体の施工にかかる適正な地盤特性を要求する。セメントミルクとの攪拌混合により止水壁の原材料となる琉球石灰岩の岩盤は，地下ダム建設に適しているのである。宮古島で先行施工の実験地下ダムとして成果を収めた皆福地下ダム（宮古島市皆福地区，1979年竣工）の地下水位上昇にかかる経験的実測に基づき，同島での砂川地下ダムの施工が実現した。さらに，地下水の三次元流動解析[2)]の進歩に伴う止水壁建設エリアの正確な選定と地上部の地下ダム関連施設（ポンプ，送水路，ファームポンドなど）の配置計画・建設によって，農業用水の効率的な継続供給を可能にした。

2）砂川地下ダムの地下水三次元流動解析は，京都大学大学院工学研究科都市水分学分野ホームページを参照されたい。

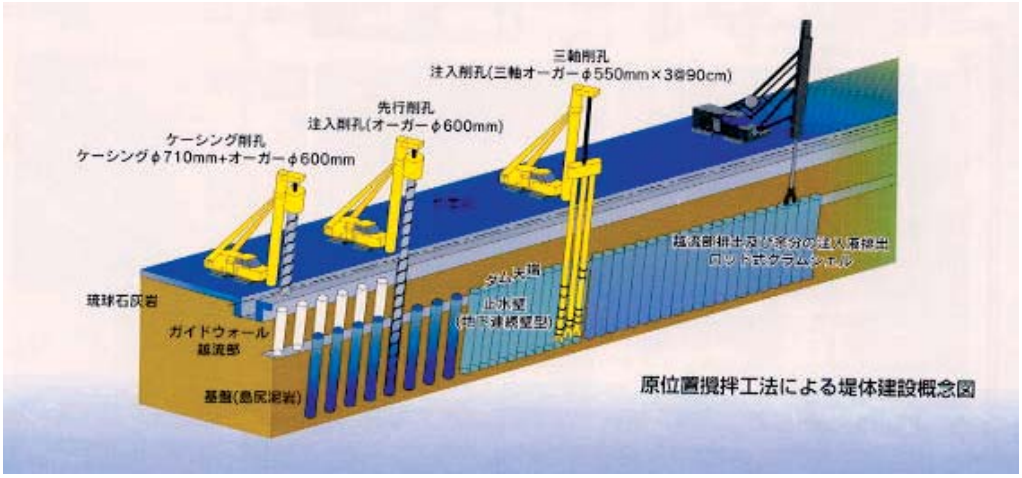
以下に砂川地下ダムの工事概要を示す。

地下ダム建設の施工優位性として，施工対象面積が広大な地上ダムに比べて建設原価や用地調達コストが安価にすむこと，地中連壁施工後の地表部は施工前の状態に完全に復するため従前の土地利用が可能なこと，海岸に近接した施工地での地下水への海水の逆流を防ぎ塩水化を防止すること，連続壁天端と地表部とのレベルが一定差あるために貯水量が満水状態でもオーバーフローによって地表部の水没する危険性が無いこと，などが挙げら

表Ⅱ－１　砂川地下ダム工事概要[3)]

所在地	沖縄県宮古島市
建設期間	1988年～1994年
事業主体	農用地整備公団（現，独立行政法人緑資源機構）
施工会社	大林・間・大米共同企業体 *大林組（本店：大阪市），間組（本社：東京都），大米（だいよね）建設（本社：那覇市）による共同施工
用途	農業用水供給
ダム諸元	遮水壁　提長1,853m，提高49m，提幅50cm 水源計画　総貯水量9,500千m^3 利用量8,800千m^3/年
遮水壁施工概要	施工方法　ソイルミキシングウォール工法（SMW 工法） 主要機械　オーガ式掘削機（SMW 掘削機） 材料　セメント・ベントナイト他

図Ⅱ－３　地中連続壁建設概念図



＊ 宮古土地改良区ホームページ（2007年９月）から抜粋

3）大林組土木技術本部，広報パンフレット『地下ダム』から作成した。

れよう。本稿では砂川地下ダムの施工詳細[4]については省略する（施工概念を略記すれば，図Ⅱ－３に示すとおり。掘削重機のケーシング→先行→三軸→越流部排土の施工手順の繰り返しにより地中連続壁が出来上がっていく。）が，施工途上に発生する一般建築特有の外部不経済，すなわち騒音・振動・粉塵の拡散といった第三の経済主体に与える影響も，集落から離れた建設地において実施されたために小さくなったことも施工上の利点といえよう。日常の建設現場では，施工ヤードの必要最小限のゾーニングの使用，工事完了後は施工ヤード造成前の畑地完全復旧と建設地環境への影響は特に抑制されている。地下ダム施工は，施工環境から構築物の生産まで，合理性を追求した環境共生型の建設であるといえる。

砂川地下ダムの完成によって宮古島営農の農作物の多様化と高利益化が実現した。それは，地中連続壁の構築によって地下水が遮水され地下水位が上昇し，営農への安定的な農業用水の給水が可能となったことが，宮古島農業の構造転換を直接的にもたらしたものであるといえる。営農類型が従来はサトウキビを中心とした生産品目の比較的限定されてい

図Ⅱ－４　宮古島地下ダム位置及び新地下ダム計画位置図



＊ 宮古島市ホームページ（2007年９月，建設計画「新しい島づくり計画」）から抜粋し作成。既存地下ダムの位置，新地下ダムの計画地について加筆した。

4）地下ダムの施工方法・技術の詳細については，緑資源機構（2004）を参照されたい。

表Ⅱ－２　宮古島農業の品目別栽培面積推移

（単位：ha）

年	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
サトウキビ	5,150	5,100	5,100	4,820	4,430	4,330	4,450	4,420	4,430	4,400	4,425
飼肥料	1,670	2,060	1,820	2,550	1,940	2,020	2,120	2,050	1,860	1,950	1,990
葉タバコ	402	358	378	411	414	456	512	540	568	575	600
野菜	686	507	447	399	436	411	378	316	292	286	282
カンショ	98	97	102	105	95	86	88	78	76	68	57
果樹	38	39	42	47	60	71	67	59	60	59	66
桑	49	55	60	73	63	62	54	49	43	42	12
豆類	60	53	53	51	51	51	41	36	17	13	38
花き	23	17	20	16	14	10	11	11	10	9	9
雑穀	2	2	3	3	3	0	3	3	3	3	3
総　計	8,178	8,288	8,025	8,475	7,506	7,497	7,724	7,562	7,359	7,405	7,482

たところから，葉タバコやマンゴーを中心とした果樹など採算性の高い生産品目へとシフトしたことにその効果が表される。農業生産の基盤となる地下水の安定的な給水によって，親世代から後継世代になると，畑作類型の多様に選択可能な品目において，より収益性の高い品目を選択した結果であるといえよう[5)]。

砂川地下ダム建設の地下水資源確保に伴う実証的成功により，福里地下ダム（宮古島市福里地区，2002年竣工）の建設に続き，南東部において新地下ダム建設が計画されている（図Ⅱ－４，仲原・保良地区）。後述するが，これらの新たな地下ダム計画は農耕地の地下水供給対象範囲を拡大していこうとするものである。

Ⅲ　地下水資源の配分

宮古島の生活は貴重な水瓶の上で成り立つと比喩される。マクロ的には，島のすべての経済主体が統制なく地下水資源を消費することにより自己利益を優先する行動原理をとると仮定すれば，有限資源である地下水資源を枯渇させるであろう。それは，Hardin（1968）の「共有地の悲劇」[6)] に通ずるであろう。経済合理性の追求は，有限資源の持続可能性の保証が前提されなければならない。

家計のレベルにおいて比較的単純な技術によって地下水資源の横領（free rider）が可能なために，次の課題は島の経済主体に対する水の最適な供給配分である。

現状では，宮古島の地下ダムによって貯留される地下水資源は，基本的にはすべて農業

5）津波・具志（2003）参照。同報告書における営農類型の，砂川地下ダム施工前・後（ダム完成は1994年）の宮古地区栽培面積表を抜粋して掲げる（表Ⅱ－２参照）。地下ダム施工前の営農はサトウキビを中心とした経営であったが，地下ダムの完成に伴う農業用水の安定的給水によって作付品目の広がりをみせているといえる。

6）共有地論争の概要については，宇沢（2000）第２章を参照せよ。他に，室田他（2003）第５章，石橋他（2005）第４章などを参照せよ。地下水を貯蓄する島の地下谷は物理的にエントリーが可能なオープン・アクセスではないが，概念的にコモンズに規定されるであろう。

用水に供される[7]。ただし，宮古島の生活用水のすべては地下水に依存するため，将来にわたって家計と農業への，地下水資源供給先としての明確な線引きは現実的なものでなくなるであろう。すなわち地下ダムから供給される地下水資源がすべて農業用水へ，その他の地下水は家計へという現状の配分がそのまま将来の実行として継続されることは妥当ではないといえよう。地下水資源が有限資源であるという前提から，地下水資源利用の持続可能性を永続的なものにするため，地下水配分は概念的に，より可変性をもつ状態に変えていく必要があるであろう。それは，現状は専ら農業用水に供される地下ダム貯水の水資源[8]が家計への生活用水としての供給（飲料用水への水質変更）が技術的に可能であり，さらに宮古島本島と周辺の島々の経済と生活基盤の向上は，農業と家計への水供給の相互連関に帰結するからである。

単純モデルによって，地下水がもたらす農業と家計の効用の配分，地下ダムの建設効果について検討を試みたい[9]。

地下ダム建設以前は，宮古島の農業と家計における地下水資源の配分は，専ら自然地形（地下谷の自然貯水量）のみに委ねられる。したがって，前提条件として，（浪費も含めた）家計の水消費量の増加は農業生産物量の減少となり，農業にとっては生産物量で測った効用が低下することになる（図Ⅲ－１①）。両者の地下水資源の消費量，農業の効用（生産物量で測った効用）と家計の効用における限界効用曲線上の配分点は，農業（ac_1, au_1），家計（hc_1, hu_1）で表される。

地下ダムの完成によって，農業への給水量は増加するため配分点は農業（ac_2, au_2）（ただし，$ac_2 > ac_1$），家計（hc_1, hu_1）へと移行する（図Ⅲ－１②）。これは，地下ダムの止水壁によって地下水位が恒常的に上昇し一定化するために，貯水の絶対量が増える効果によるものである。

砂川地下ダムの建設後，さらに福里地下ダム[10]が建設されている。これにより地下ダム貯水の絶対量は増加する。既述のとおり，すでに建設された砂川地下ダムや福里地下ダムによって貯水される地下水資源はすべて農業へ向けられるものであるが，地下ダム建設に伴う有効地下水の絶対量は増加するものの，財政の限界から宮古島に無尽蔵に地下ダム建設を続けることはできない。

島の経済の動向と水資源の歴史[11]を鑑みたとき，共存型供給という観点から，地下水資

7）砂川地下ダム建設工事の着手前から当該地に所在する泡盛酒造所など，既得権益を有する企業も一部地下ダム貯水の水資源を利用している。

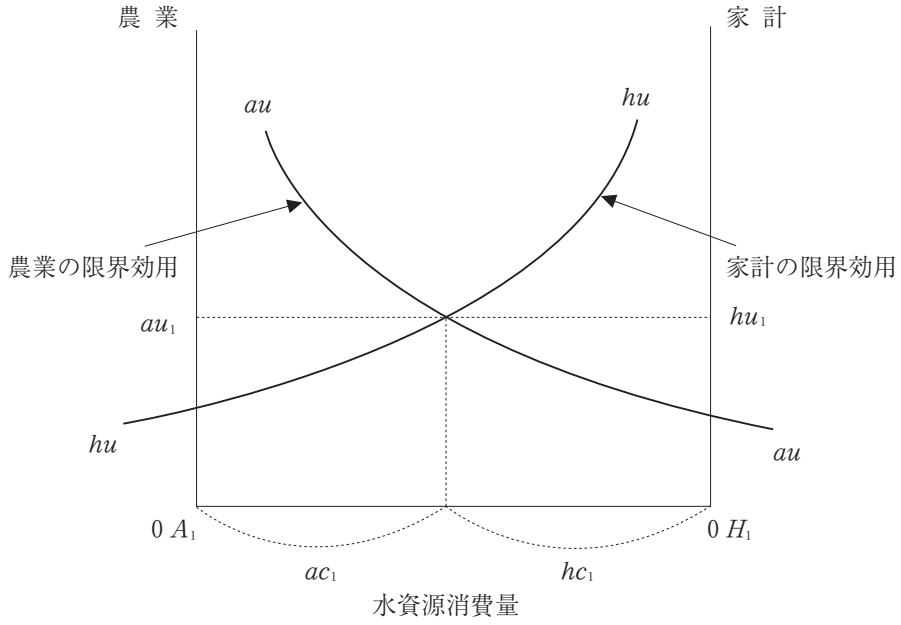
8）隆起サンゴ礁石灰岩を濾過される地下水は，一般に，地上ダムの貯留水よりも良質である。

9）ミクロ経済学の基礎概念は，黒坂（2004）を参照した。なお，本稿のモデルは宮古島の農業と家計の社会的厚生の最大化を前提とした場合の限界効用均等の法則を適用したものである。図中，au は agriculture utility, hu は household utility の略。

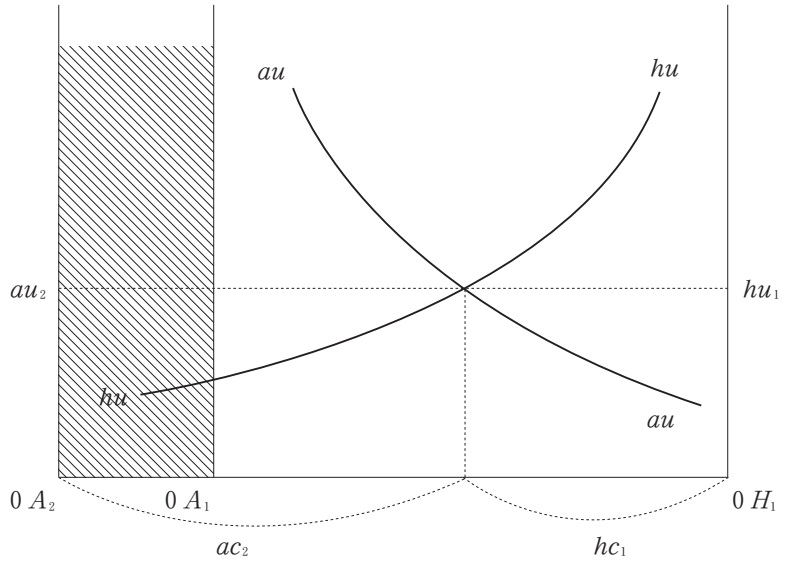
10）提長2,908 m，総貯水量1,050万m^3，2002年工事完了。

11）1971年の大旱魃によって農業に壊滅的な被害をもたらした歴史など，宮古島では水資源の安定的な貯蓄の重要性が叫ばれてきた。宮古土地改良区ホームページを参照されたい。さらに，今日的課題である地下水の硝酸性窒素汚染問題も併せて検討課題としなければならない。この問題については，

図Ⅲ－１　①　地下ダム完成前の地下水資源配分



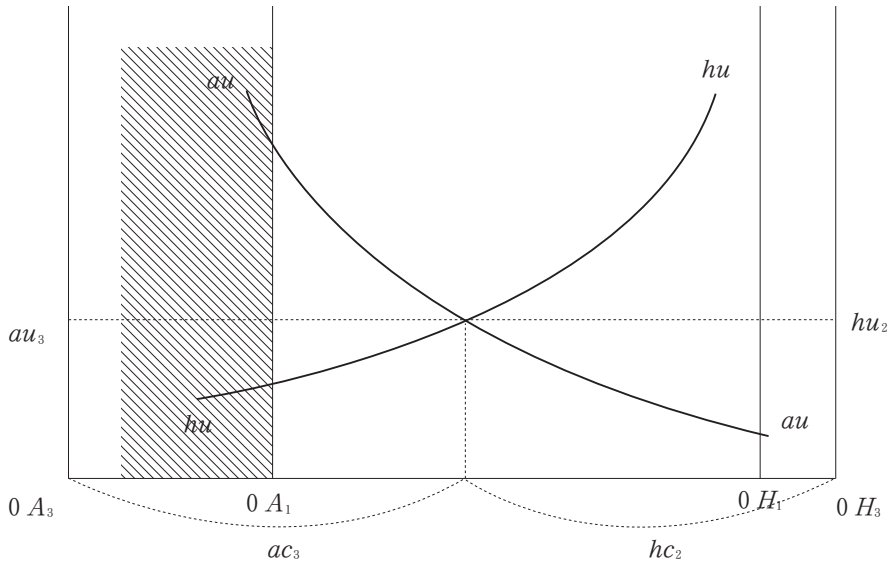
図Ⅲ－１　②　地下ダム完成に伴う農業用地下水資源の拡大



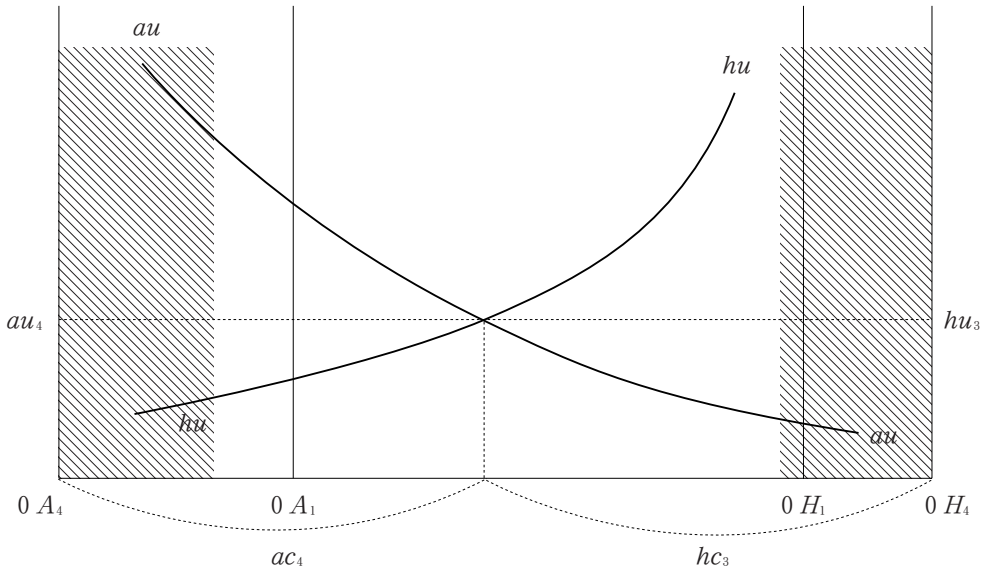
源の農業と家計に対する供給のボーダレス化は将来における問題となるであろう。すなわち，地下水資源の効率的運営のなかで農業と家計への配分は，その時代の島を取り巻く自然環境，経済的背景などによって柔軟に対応可能な制度が構築されなければならない。そ

宮古島地下水水質保全対策協議会ホームページが詳しい。

図Ⅲ－１　③　地下水資源配分のボーダレス化



図Ⅲ－１　④　地下ダム増設に伴う地下水資源の拡大



れは，農業（ac_3, au_3），家計（hc_2, hu_2）への配分点の移行によって，農業の生産物量と家計の効用に変化を与える（図Ⅲ－１③）。

宮古島本島の農業の効用は地下ダムの建設効果によって上昇したが，さらに宮古島北西部に隣接の伊良部島へ地下水供給の計画が検討[12]されており，宮古島市仲原・保良地区に

12）伊良部島は不透水性層が海面より低い位置にある島の構造上，地下ダム建設を許容する地盤特性を

おいて新地下ダム建設構想が立案[13]されている。地下ダム全体の絶対貯水量が増加するとき，農業生産量と効用の絶対量も増えるであろう（図Ⅲ－１④）。伊良部島への送水が完了すれば，さらに来間島，池間島など宮古島周辺に位置する島々への，農業と家計の効用が均衡する送水システムの構築も新たなる課題として浮上するであろう。その実現は，宮古島圏域全体の農業と家計の効用増加につながっていくであろう。

地下ダムの増設により農業への有効地下水の絶対量は増加する。一方，地域産業である農業の発展基盤整備のために今日まで官業によって展開されてきた地下ダム送水システムが，農業と家計への効率的配分と建設効果に伴うアウトプットの増加が次の課題であるならば，民間の運営手法の導入が検討の俎上に位置づけられるべきであろう。

PFI（Private Finance Initiative）[14]はその明確な方向性を示唆する。PFI は公共事業における民間資本の導入による合理化，投入資金に対する成果の最大化である VFM（Value For Money）をその主目的とする。参画企業においては利潤の最大化を目的とする行動原理を公共事業に導入し，施設建設と事業運営の一定年限経過後に事業主体を再び行政に移管させる。宮古島の地下水資源の運営に即していえば，具体的には，地下水資源を確保するための公共施設の建設と建設後の効率的運営を包括して民間に委ねる手法を導入することである。今後，地下水資源配分における農業（企業をも含む）と家計のボーダレス化に伴う水使用の料金体系をも含めて，島の安定的経済合理性に帰結する運営[15]が検討されなければならないであろう。それは，島の農業と家計への水資源配分，旱魃などの自然環境による背景と観光産業の活性化[16]に伴う地下水資源消費増など，状況に応じて可変性を備えていなければならない（図Ⅲ－２）。

将来計画も含めた島におけるすべての地下ダムの完成によって，地下水資源の最大貯水量は一定化するであろう。そのとき，有限資源である地下水資源の農業と家計への供給配分は，PFI の体系化された運営によって無駄なく実行されることが望まれるであろう。家計の限界効用曲線を固定化した場合に，農業の限界効用曲線に可変性をもたせることで家計への地下水供給量を効率的に増加させることが可能となる。PFI の導入によって節約される農業用水を家計への水供給の増加へと変えることができる。それは，一定の農業生産

有しない。したがって，伊良部島への送水は，建設中の伊良部架橋に併設計画のパイプライン（図Ⅱ－４）によって送水される。沖縄タイムス，平成18年（2006年）２月25日付朝刊参照。

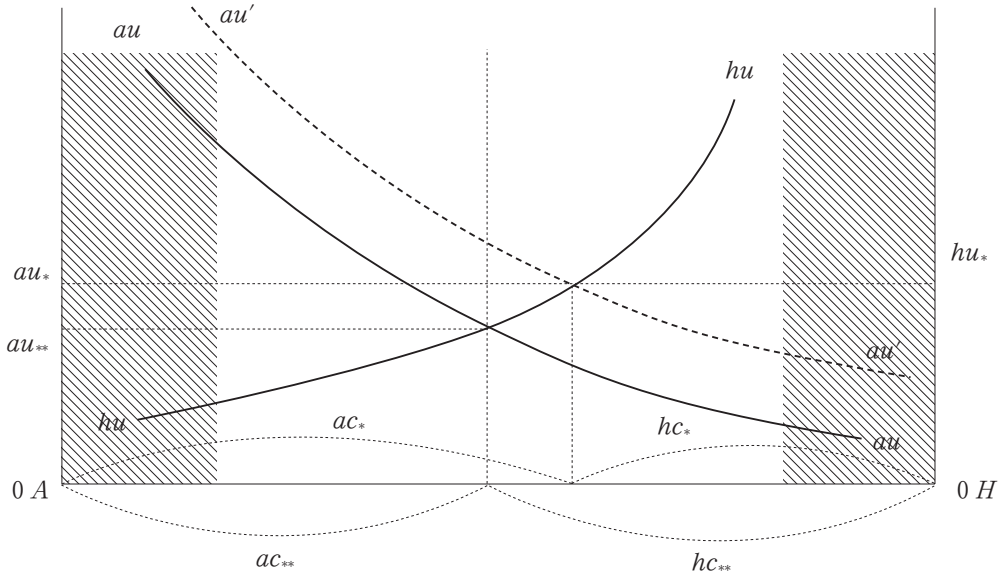
13）宮古毎日新聞，平成18年（2006年）４月19日付参照。また，図Ⅱ－４に新地下ダム計画位置図。

14）1999年７月30日に「民間資金等の活用による公共施設等の整備等の促進に関する法律」，いわゆる PFI 法が制定されている。PFI の概要については，内閣府民間資金等活用事業推進室（2006）などを参照されたい。

15）水道事業については，水道法の規定により事業主体が市町村に限定されている（同法６条２項）が，民間事業者が PFI 事業に参入するためには，これらの規制の緩和・撤廃が必要である。なお，民間事業者であっても，市町村の同意を得た場合の上水道における水道事業の参入実績はある。民間主導型インフラ研究会（1998）第１部参照。

16）宮古島への観光流入に伴う一時的人口増（ホテルやゴルフ場など観光施設の水資源消費量の増加）は，地下水運営に影響を与える。一方で，観光収入は宮古島の中心的な経済基盤を形成する。

図Ⅲ－２　PFI における水資源の合理化



物量における地下水資源の効率的運営が，現状の配分点（ac_*, au_*）から（ac_{**}, au_{**}）へと移行することで評価される（同一生産物量で測った効用 hu_* における地下水資源利用の余剰価値 $|hc_{**}-hc_*|$ の出現）であろう。

したがって，有限資源消費の効率的運営における最適点の選択は，PFI の導入によってより現実的対応をはかることが可能となるであろう。

PFI は本来，政府の失敗領域において民間事業手法の導入により効率化をはかる「民間が担う公共」という側面を備えているが，将来展望にかかる公共事業の先駆的な活用も時代の要請であるといえよう。地下水資源の管理と運営においては，地下ダム本体及び周辺施設の建設，建設後の運営，島の各経済主体への効率的配分など財政支出の最大価値の導出[17]のため，PFI 事業に参画する企業のそれぞれの利点を，企業の行動原理としての利潤最大化を通して利用していく（図Ⅲ－３）。しかし建設行為の効率性と合理性は，単に施工における利益追求にのみ生じるものではなく，特別目的会社（SPC）の一員である建設会社としての企業行動の指針とともに事業運営能力と施工責任の双方から評価されるべきである。それは PFI 事業としての参画可否の判断に反映されるべきであろう。

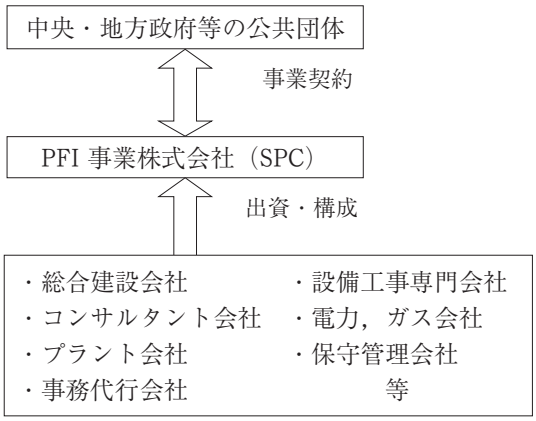
SPC に出資する主な各専門企業の分担業務の概要を想定すれば以下のとおりとなる。

総合建設会社：地下ダム本体及び管理棟など周辺施設の施工，完成後の維持管理

設備工事専門会社：送水管，取水施設など設備工事の施工，完成後の維持管理

17）PFI による事業手法は様々であるが，政府（あるいは地方政府）と SPC（Special Purpose Company；特別目的会社。事業参加の企業により構成・設立される）の事業契約によって，SPC 側で公共施設を建設し完成後は一定期間 SPC によって運営が行われ，建設費などは政府から SPC へ均等割りで支払われる。有岡他（2001）第１編参照。

図Ⅲ－３　宮古島水資源運営の PFI 仮定概念図



電力・ガス会社：施設稼動のための動力供給，運営機能にシステム化された風力発電などにより生じる余剰エネルギーの購買

プラント会社：ファームポンドの施工，完成後の維持管理

保守管理会社：地下水水質の保守・管理・測定

事務代行会社：従来水管理人が行っている賦課金徴収など日常業務，行政報告

PFI は，参画企業の事業遂行における主体性が常に問われる。

Ⅳ　地下ダム建設技術の応用

国土の物的資源に乏しい日本の経済は，世界の国々との交易の上に成り立っている。無資源国として世界市場に供給しうる生産物とサービスは，それらを生み出すためのたゆまざる人的資本の向上によって実現しうる[18]。それは，国際分業のなかで日本の担うべき役割を指向する。建設技術もまた，世界市場の厚生を増加するひとつの貿易財である。国際的 PFI は，先進的建設技術の国際市場への提供に向けた具体像であろう。それは，多国籍にわたり各産業から選出されたそれぞれの企業の最も優位な技術と，事業の運営能力を一つの共同体に集約した国際的な社会資本整備への参画のあり方を示すものである。

宮古島砂川地下ダム建設事業は，建設技術の適応による地下水資源の継続的確保の成果を示した。地下ダム建設立地の選択における課題[19]は，地下谷の水資源の状態と地盤形状の適合性を要求するが，地下水資源の確保が困難な国々や地域への技術販路は，より詳細

18）Ricardo（1817）参照。また，星川（1996）第６章，及び星川（2003）第１章参照。そのためにも，建設技術の高度化に向けた日本国内の産学連携は，今後日常の企業行動においても重要となるであろう。

19）すなわち，自然的条件における，①流動性浅層地下水の存在，②空隙の多い貯水層（帯水層）の存在，③難透水性地盤で囲まれていること，④難透水性地盤の狭搾部の存在である。環境省 社団法人海外環境協力センター（2004）参照。

で多角的な検討によって開かれていくべきであろう。それは，国際的に建設原価の経済合理性においても評価されよう。地下ダム技術の発展は，日本国内において有限資源の持続可能性を享受するという目的のもとで実現したが，今後は世界規模での先進技術の需要ゆえに，各国の公共資本の整備のために活用されるであろう。

現実に，砂漠化防止のために地下ダム建設の導入が検討されている[20]。公共資本の整備はやがてその国の産業基盤の確立につながるであろう。枯渇した土地の緑化に向けての農業の再生はその一例であろう。後発経済の活性化に寄与する建設技術の海外進出は，マクロ的に貿易の均衡に通ずる要素を持つ。それは，経済発展と有限資源の持続可能性への建設技術の応用による世界規模の課題である。

水資源が不足している海外での地下ダム建設の一例であるが，アフリカ，ブルキナ・ファソ国のナレ（Nare）村では，水資源の枯渇（現状は，村内の掘抜き井戸５基のみによる生活用水の供給）に伴う砂漠化の進行を防止するために，地下ダム技術の導入によって貯水施設の建設が行われている[21]。乾季と雨季に分かれる自然条件下の水資源の確保は，集中降雨による貯水とその水資源の永続的供給がなされなければならない特殊環境のため，事前に建設候補地の地下水資源の流行・水量などの十分な調査と地質形状の正確な把握が要求される。ナレ村では化石谷という西アフリカに特徴的な土質構造もあり，地下ダムの施工にあたっては，表層部をオープンカットし粘土質シルトによってダム提体を構築して周辺部を埋め戻す「アースダム式」工法が採用されている[22]。提体長，貯水体積共に日本国内の地下ダムに比して小規模であるが，地質構造の狭窄部の選択からその施工効果の合理性が伺える。さらに，この地域における施工の特徴として，乾季の地下水流がほとんどないことから，施工時期が特定され総合的に工事原価の低減が実現できたこと，また比較的単純工法のため，日本からの技術指導のみで施工機材は現地調達可能であったことなどが挙げられる。

地下ダム工法は，日本の閉鎖系島嶼環境下において発展成就した建設技術であるが，今後，水資源確保にとって過酷な地域など，技術の応用可能な世界の様々な環境へと広がっていくであろう。それは，長期的には森林の再生と農業の復興につながる原点となり，やがては，農業生産立国との交易のための基盤建設へと寄与していくことになるであろう。

地下ダム本体となる止水壁の施工技術には，砂川地下ダムにおいて採用された原位置攪拌工法（SMW 工法）のほか，オウス・ソレタンシュ工法[23]，ガンパイル工法[24] などがあ

20）前掲参照。

21）注19掲参照。

22）注19掲参照。なお，同ダムの構造は，提体深度：３～11.4m，提体長：216.3m，提体の幅：底部8.6m，提頂3.0m，提体体積：7,144m^3，施工期間：1997年11月～1998年６月（実質工期約4.5ヶ月）となっている。

23）Ows-Soletanche Method. 地中に所要の厚さ・深さをもった溝を連続して掘削し，この中に鉄筋コンクリートの壁体を構築する方法。

24）Rock Pile Driving Method. 振動杭打機によって鋼杭を岩盤中に直接打設・貫入させる岩盤杭打ち工法。

るが，このような地中連続壁施工の原点は，鉄筋コンクリートビルや地下鉄などの都市における地下空間の構築技術にみることができる。技術の応用は新たな効用を生み出す。地下ダム工法のように，自然形状と近代的な建設技術の融合によって有限資源の持続可能性が保証されるならば，次世代にはその技術を導入する国の産業発展へとつながっていくであろう。ブルキナ・ファソ国での止水壁工法の採用は，同じ西アフリカ地域での高層ビル建設への適用化[25]の動きにみられる。建設技術を具体化するための実務面において，海外の遠隔地での施工機材の導入や技術指導を行う建設会社のエンジニアの効率的配置，地域特性の把握など，その地域において次なる企業行動が取りやすい事情が形成されるためである。

先進技術の導入により社会資本の整備が実現し，その上に農業をはじめとする様々な産業が確立していくことは，抽象的に貿易均衡[26]の基礎を形成していくことにつながる。さらにそこに技術を提供する企業行動の販路が敷かれていくならば，企業競争の市場基盤が形成されることになる[27]。新たな技術輸入に伴う国際間の近代化の原動力もそこから生じていくことになるであろう。

国際的 PFI は，国籍の枠組みを超えた産業間の各企業の最も優位な能力の結集体[28]である。構築物の施工は建設会社に，資機材の調達は総合商社に，設計監理業務はコンサルタント会社に，事業資金の融資は金融会社に，保険業務は保険会社に等々，得意とする専門業種の役割分担がはかられた企業体である。舞台が世界であるゆえに単体行動の困難を克服しリスク分散を図るために，各専門分野における企業能力を結集して海外市場でのプロジェクト遂行を実現していく将来像である。さらに政府間協力による企業行動のリスクヘッジの制度化は，それをより具体化していくであろう。

V　むすびにかえて

無資源国である日本が世界の国々の土地の果実を享受するためには，国際社会での友好的な交易が望ましい。かつて Keynes（1930）が国際金融制度について壮大な将来構想（超国家銀行）を先駆的に示したように[29]，今日の企業行動を通した正常な交易の機能には仮定としてのモデル，国際秩序に民間市場機能が効率よく発揮できる枠組みを描いていくところから始めなければならない。一国の企業がもてる建設技術がその国の技術水準を表すものであり，国際的な社会資本の整備にその国の技術を広く適用していくことは同様の枠組みが必要となる。そのためには，民間資本が海外進出するために可能な制度づくり

25）注19掲参照。

26）先進国と第三世界との貿易均衡を考える上で，Krugman（1996）は興味深い。比較優位な貿易財（技術を含めて）の提供によって第三世界の生産性を向上させる。

27）Schumpeter（1928）は，企業家機能を，ルーティンワークを超越した生産力の新たな結合，新しい販売市場の開拓に求めている。

28）海外における地上ダムの PFI 事例として，フィリピンの「サンロケ水力発電事業」がある。邦人企業を含む多国籍企業がダム建設から竣工後の電力供給までを行う。瀬岡（2004）を参照されたい。

29）星川（2003）第8章「ケインズの世界観」参照。

が必要となるであろう。その技術論として，国際的 PFI のフレームワークの確立ということになるであろう。未来における福祉の図は，人類の英知の結集によって描かれる。

PFI の国際化は進んでいるが，一方で，現地における構築物の単一生産を担う建設業にとって，人命危機，工事代金の不払・遅延，資機材の略奪といった現地生産のリスク[30]の回避が担保されていないことが海外における技術展開の足枷となっている。後発経済にとって，産業基盤の構築はまず社会資本の整備から開始する。したがって，世界の有限資源の持続のために日本の建設技術を最大限に活用しようとすれば，企業行動にとって国際的な保障が不可欠であり，加えて民間資本によるプロジェクト全体の枠組みにおける相互連携が必要となる。企業行動の国際化が進展することにより比較優位な能力を結集していく制度づくりは，国際的 PFI の方向性を示しているといえよう。世界の正常な交易のために，建設業にとってはソフトの要因である建設技術の国際化のフローが実現する機能が重要となるであろう。

参　考　文　献

Hardin, Garrett（1968）. “The Tragedy of the Commons”. *Science*, 162, pp. 1243-1248.

Krugman,Paul（1996）. *POP Internationalism,* The MIT Press. 山岡洋一訳『良い経済学　悪い経済学』，日本経済新聞社，2000年。

Ricardo, David（1817）. *On the Principles of Political Economy and Taxation.*

Schumpeter, Joseph Alois（1928）. *Unternehmer*『企業家とは何か』，清成忠男訳，東洋経済新報社（1998）に収録。

有岡正樹・有村影男・大島邦彦・野田由美子・宮本和明（2002）.『完全網羅日本版 PFI』，山海堂。

星川順一（1996）.『日本経済と財政政策――ケインズ政策のすすめ――』，晃洋書房。

――――（2003）.『入門　経済政策』，大阪経済法科大学出版部。

石橋春男・島田千秋・山本慶子（2005）.『環境経済学入門』，泉文堂。

環境省　社団法人海外環境協力センター（2004）.「平成15年度環境省委託事業　砂漠化防止対策モデル事業地下ダム技術報告書」。

黒坂真（2004）.『ミクロ経済学を学ぶ』，法律文化社。

緑資源機構（2004）.『地下水有効開発技術マニュアル』。

民間主導型インフラ研究会（1998）.『PFI 入門』，商事法務研究会。

室田武・坂上雅治・三俣学・泉留雄（2003）.『環境経済学の新世紀』，中央経済社。

内閣府民間資金等活用事業推進室（2006）.「地方公共団体における PFI 事業導入の手引き（概要版）」。

大林組土木技術本部．広報パンフレット『地下ダム』。

瀬岡正彦（2004）.「フィリピン・サンロケ多目的プロジェクトの概要」，土木学会岩盤力学委員会　ニュースレター No. 5。

津波優子・具志明，沖縄県農試経営研究室（2003）.「平成14年度優良事例調査（宮古地区）」。

30）我が国建設業の海外展開戦略研究会（2005）参照。

宇沢弘文（2000）.『社会的共通資本』，岩波新書。
我が国建設業の海外展開戦略研究会（2005）.「我が国建設業の海外展開戦略研究会　中間報告書　平成17年」，国土交通省。

参　照 URL

京都大学大学院工学研究科都市水分学分野ホームページ
http://www.dum.kyoto-u.ac.jp/course/course.html
宮古島地下水水質保全対策協議会ホームページ　http://www2.miyako-ma.jp/chikasui/
宮古島市ホームページ　http://www.city.miyakojima.lg.jp/site/view/index.jsp
宮古観光協会ホームページ　http://www.miyako-guide.net/
宮古土地改良区ホームページ　http://www.miyakojima.ne.jp/kairyoku/
内閣府沖縄総合事務局沖縄本島南部水利事業所ホームページ
http://ogb.go.jp/nousui/kannai-link/honto_nanbu/index.html
農林水産省統計部ホームページ　http://www.maff.go.jp/j/tokei/index.html
＊本稿の作成にあたり参照した上記の URL は，2007年８月30日現在の掲載内容に基づくものである。