

沖縄県離島地域における渇水問題と 観光の影響に関する分析

神谷 大介^{1*}・赤松 良久²・宮良 工³

¹琉球大学工学部環境建設工学科 (〒903-0213 沖縄県西原町千原1)

²山口大学大学院理工学研究科 (〒755-0003 山口県宇部市常盤台2-16-1)

³沖縄県環境科学センター総合環境研究所 (〒901-2111 沖縄県浦添市経塚720)

* E-mail: d-kamiya@tec.u-ryukyu.ac.jp

沖縄県は亜熱帯海洋性気候に属し、特に小規模な島嶼では元々水資源に乏しかった。1972年の本土復帰以降、種々の水資源開発により水供給可能量は増加してきたが、人口および観光客の増加により、需要量は増加しており、給水制限の可能性を高めている。本研究では沖縄県の離島地域における渇水を地域社会の問題として捉え、水道事業の課題を整理し、水に関わる問題を地域社会との関係で構造化した。さらに、座間味島を対象に、観光客増加と住民の節水のみによる給水制限の回避というシナリオ分析を行った。この結果、さらなる節水は非常に困難であることが示唆された。さらに、キャリングキャパシティの考え方を援用して、水資源からみた島の観光客受け入れ容量について提示した。

Key Words : *drought water risk ,sub-tropical resort island*

1. はじめに

沖縄県は亜熱帯海洋性気候に属した小規模島嶼によって構成されており、昔から水不足に悩まされてきた地域である。しかし、戦後の米国統治下の水道整備、1972年の本土復帰後の沖縄島北部5ダム（福地・辺野喜・普久川・新川・安波）をはじめとするダム開発、かん水・海水淡水化施設の設置等、多くの水資源開発がなされた。この結果、沖縄島では1994年以降給水制限はない。

一方、生活スタイルの変化や近年の観光客の増加によって水需要は増加している。観光業は沖縄県の主要産業の1つであり、2008年には600万人以上の観光客がここを訪れている。沖縄県は今後1000万人を目標として様々な施策を講じている。特に離島地域ではサトウキビによる経済収入の減少等により、働く場を求めて若者が島を離れてきたため、これを食い止めるためにも観光振興は重要な施策である¹⁾。しかし観光振興やこれに伴う移住者の増加は様々な問題を引き起こしている。渇水リスクや廃棄物量の増加、地域コミュニティの崩壊、景観問題、等々²⁾。この中で特に、本研究では渇水問題について取り上げる。この理由は、水は生活する上で欠かせない資源であるだけでなく、沖縄では雨水を天水と呼び、昔か

ら大切にしてきた文化があること、水が様々な社会問題に関係しているためである。

以上の認識の下、本研究では特に観光と水使用量の関係から渇水リスクについて分析する。渇水に関する研究としては、池淵による気象・水文学的研究³⁾、萩原らによる節水意識と水消費行動に関する研究⁴⁾等があるが、国内の渇水リスクに関する研究は1994年の福岡大渇水以降殆ど行われておらず、経済成長期の右肩上がりの水需要予測やそのマネジメントに関するものである。特に都市域を対象とした研究ばかりである。観光およびキャリングキャパシティとの関係で述べられている研究はナミビア⁵⁾における研究やオアフ島、マウイ島等⁶⁾を対象にした研究があるが、定量的な研究は行われていない。つまり、観光地域における水資源問題を定量的に扱った研究は著者の知る限りないということである。

本研究では、まず、離島の水資源問題の構造を明確にするため、資料整理を行うと共に、離島地域の水道事業者へのヒアリング調査を行った。これをもとに、離島地域の水道事業・水資源の課題を整理し、地域社会問題との関係から構造化する。次に、これまでほとんど研究されてこなかった観光用水量を明らかにするとともに、水道施設整備との関係から問題点を指摘する。そして、特

表-1 離島市町村の水道概要⁷⁾

市町村名	創設年	水源種別	浄水方法	料金(円/10m ³)	事業数	職員(人)
伊平屋村	1970	ダム・地下水	電気透析	2,100	1	1
伊是名村	1971	ダム・地下水	緩速濾過	2,300	1	1
北大東村	1985	海水	海淡膜処理	3,535	1	1
南大東村	1974	海水	海淡膜処理	3,354	1	3
久米島町	1975	ダム・地下水	急速濾過・緩速濾過	1,449	1	7
粟国村	1974	海水	海淡膜処理	3,250	1	2
渡名喜村	1987	海水	海淡膜処理	2,620	1	2
渡嘉敷村	1976	表流水	急速濾過・緩速濾過	1,687	1	1
座間味村	1974	ダム・地下水	急速濾過	1,917	2	1
宮古島市	1965	地下ダム	ペレット	1,757	1	56
多良間村	1974	地下水	膜処理	2,780	1	1
石垣市	1962	ダム・地下水	緩速濾過	1,338	2	52
竹富町	1957	表流水	緩速濾過	1,401	7	2
与那国町	1959	表流水	緩速濾過	1,150	1	1

に水資源に困窮している座間味村を対象に、観光による給水制限への影響とさらなる観光客数の増加がもたらす影響について分析する。これは水資源からみたキャリングキャパシティの明確化ということでもある。なお、本研究では渇水リスクを給水制限の可能性として捉え、これが与える島社会への影響も含めて渇水問題という。長期的な計画を考えるならば気候変動を考慮すべきとも考えられるが、現在生じている課題を対象とすることより、降水特性の変化は考慮しないこととする。また、離島の内、伊江村は沖縄島から海底送水管により受水しているため、本研究では対象としないこととする。

2. 離島の水に関わる問題

(1) 水道事業における課題の整理

離島市町村の水道の概要を表-1に示す。なお、表中の創設年は水道事業が開始された年あり、事業認可年ではない。1972年に本土復帰をしているため、それ以前は琉球政府、高等弁務官資金、石垣市では企業によって水供給を行っていたためである。水源種別の「表流水」はダムがない河川からの取水、「料金」は家庭用の水道料金、「事業数」は水道事業数、「職員」は専従職員数を表している。この表より創設年が遅い北大東村や渡名喜村は海水淡水化を行っており、元々水資源に乏しかったことが理解できる。また膜処理は、量を安定化するが水道料金の値上げを伴う。沖縄島では家庭用10m³あたり1,000～1,500円程度であるが、膜処理を行っている町村では本島の2倍程の料金である。北大東村の料金は県内で最も安い東村の約6倍になっている。離島水道事業の多くは一般財源からの繰り入れを行っており、特に膜処理を行っている事業では、水を使えば使うほど赤字になるという構造である。この解決のためには水道料金の値上げ

が必要であるが、家計収入が少ない沖縄県において、さらに経済的に厳しくかつ高齢者が多い離島市町村では値上げは困難である。観光客増加による水量不足解消のために海水淡水化を導入することは、観光に関係のない住民への理解も必要となる。

座間味村等8市町村は、複数の島で構成されていたり、浄水場を複数運用したり、複数の水道事業を運営している。これらは日常の維持管理等において人手を要する要因であるが、半数の町村が料金徴収から浄水場の維持管理等を専従職員1人で行っている。これは日常業務が多忙になることだけを意味するのではなく、新たな知識や技術を身に付ける機会を失わせている。特に、高度処理、硬度処理、膜処理等の機械に依存する浄水方法の場合、台風等による故障の対応を困難にさせることにつながる。水量の不足や水源水質悪化は浄水方法の変更を余儀なくするが、以上より、小規模市町村では技術的、人的、経済的に対応が難しく、さらに住民負担を強いるという構造を有していることがわかる。

(2) 渇水対応と渇水問題

沖縄県内全離島市町村での水道担当者および住民ヒアリング調査をもとに、渇水および水資源開発が地域社会にもたらす影響についてキーワードをまとめ、KJ法を援用しながら構造化を行った。その際、自然環境と地域社会との関係で構造化するとともに、この結果を再度複数の水道担当者等に確認しながら構造化した。この結果を図-1に示す²⁾。離島地域において自然環境は観光資源であり、観光振興は島嶼社会において地域活性化等の効果がある。しかし、観光客の増加は水使用量の増加を伴い、水資源量が一定であれば給水制限の可能性は当然増加する。これへの対応をしなければ給水制限が発生し、地域住民にとっては負担感となる。さらにこれは、複数の離島や複数水道事業を抱える市町村では、同一市町村内

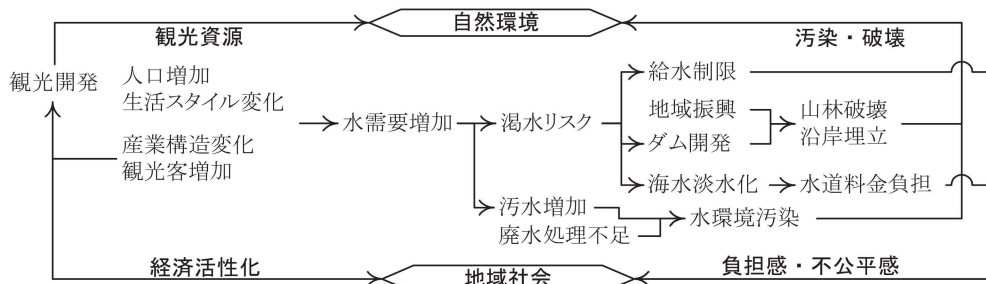


図-1 離島地域の水に関わる社会問題²⁾

表-2 施設規模別観光用水原単位の推計結果¹²⁾

規模	原単位(ℓ/人/泊)	95%信頼区間	サンプル数
大	744	696-792	148
中	551	507-596	109
小	253	235-271	178

◆ホテルA(960) ■ホテルB(476) ▲ホテルC(491) ×ホテルD(1073)
 ※ホテルE(607) ●ホテルF(569) +ホテルG(577) -ホテルH(841)
 ○ホテルI(572) ◆ホテルJ(1500) □ホテルK(876) ▲ホテルL(550)
 □ホテルM(909) ※ホテルN(312) ()内は1人1泊あたり使用水量

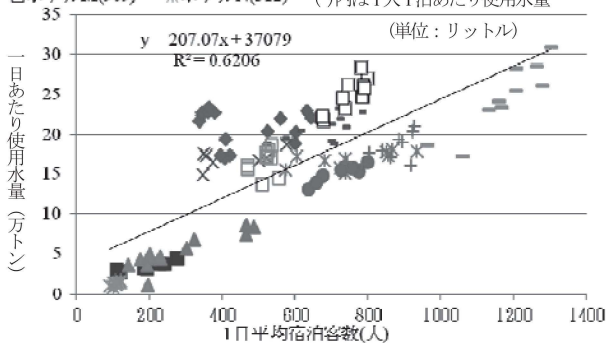


図-2 宿泊客数と使用水量の関係

で給水制限をしている島としていない島が存在することになり、不公平感を生み出す。この顕著な例が座間味村である。この村には、座間味と阿嘉・慶留間の2つの簡易水道事業がある。村民は同じ水道料金を負担しているにもかかわらず、給水制限の期間や頻度は異なる。この島の住民へのヒアリングでは「観光客がこんなに来る前は給水制限がなかったのに」というお年寄りもいた。ハード整備による対応を行うにはダム建設か海水淡水化が必要となる。ダム建設の場合、それ自体が島の自然環境を破壊するだけでなく、建設に伴う掘削による排出土砂は平地が少ない地域における地域開発の意味もあり、例えば大保ダムでは沿岸域の埋め立てに使われた。結果的に、沿岸環境を破壊することにつながることになる。これは沖縄島において顕在化している問題でもある。このことは、貴重な生態系を有する自然環境が観光資源であり、これを目的に訪れる観光客が使う水の量を賄うために自然環境を破壊するという本末転倒の状況が生まれていることを示している。

このように、地域活性化と渇水リスクは関係しており、地域社会問題として顕在化することになる。このため、渇水問題をダムや水道の管理者という立場だけで解決策

を検討するのではなく、地域計画として取り組むことが必要であると言える。特に、水資源からみた観光(宿泊)客数受け入れ可能量等の地域計画における制約条件となりうるキャリングキャパシティを明らかにしておく必要が高いと考えられる。

3. 宿泊施設の水需要

宿泊施設で利用される水量について、簡易水道事業における国庫補助施設整備基準では、宿泊能力1人あたり200~300リットルとされている⁸⁾。これまで沖縄県内で行われた調査には2つある。水谷ら⁹⁾は6施設の調査より、リゾートホテルで1人1日あたり900~1,600リットル、シティホテルで500~1,000リットルとしている。沖縄県企業局の調査¹⁰⁾では29の宿泊施設の調査より、760リットル(最大2,375, 最小332, 平均778)としている。

宿泊施設の水使用実態を把握するため、市町村・沖縄県・宿泊施設へヒアリングを行った。しかし、年間宿泊客数については、数施設のデータしか入手できなかった。このため、宿泊施設の規模別稼働率¹¹⁾のデータを用いて、規模別に使用水量の推計を行うこととした。具体的には、宿泊能力300人以上が大規模、100~299人が中規模、100人未満が小規模として稼働率が公表されている。各施設の宿泊能力に規模別稼働率を掛けることにより年間宿泊客数を算出する。各施設の実年間使用水量を推計年間宿泊客数で除す事により施設別の1人1泊あたり使用水量を算出する。これを規模別に平均値および区間推定を行った。この結果を表-2に示す。なお、表中のサンプル数とはデータが入手できた施設数(1施設で複数年あり)を意味する。これより、前述の国庫補助基準は小規模な施設のみを対象とした値であることが分かる。

次に、大規模なホテルが建設されるとどの程度の水需要が見込まれるかを把握するため、沖縄島で大口需要者としてあげられているホテルの年間水使用実績およびのべ宿泊客数を調査した。年間のべ宿泊客数と年間使用水量実績をもとに、各施設の1日あたり使用水量、1日平均宿泊客数を計算し、この関係についてまとめたものが図-2である。回帰直線より左上にあるホテルは右下にある

表-3 用途別有収水量

月	観光関係				観光以外（家庭、企業、学校等）			
	使用水量（m ³ ）		観光客1人1日（m ³ ）		使用水量（m ³ ）		住民1人1日（m ³ ）	
	平常	制限	平常	制限	平常	制限	平常	制限
4	1844	1823	0.573	0.541	3105	3148	0.168	0.167
5	2155	2202	0.574	0.584	3350	3232	0.175	0.166
6	1785	1874	0.404	0.434	2919	3029	0.158	0.161
7	3168	3843	0.427	0.418	3797	4408	0.196	0.230
8	3782	3613	0.394	0.325	4190	3778	0.217	0.198
9	2896	2601	0.421	0.408	3748	3351	0.200	0.181
10	2528	2270	0.592	0.495	3226	3091	0.166	0.162
11	2294	1974	0.797	0.712	3182	2950	0.169	0.159
12	1339	1326	0.608	0.617	2698	2313	0.141	0.121
1	1635	1563	0.824	0.926	3020	2822	0.158	0.147
2	1516	1285	0.576	0.573	3168	2923	0.181	0.167
3	1736	1444	0.518	0.408	3166	2707	0.165	0.142
Ave.	2223	2151	0.559	0.537	3297	3146	0.175	0.167

網掛け部は平常給水時より制限給水時の方が使用水量が多いことを意味する。

ホテルよりも稼働率が高い傾向がある。ホテルの地下水及び雨水利用による影響も出ていると考えられるがそこまでの調査はできていないので、今後の課題とする。しかし、離島地域の家庭用水量の1人1日あたり有収水量は150～250リットルであることより、少なくとも離島地域にリゾートホテルが建設されれば、住民の2～10倍の水をホテルだけで使用することになる。また、簡易水道の施設整備基準を考慮すると、宿泊施設の稼働率は15～50%でなければならない。しかし、実際は沖縄県全体で2008年では74%となっている。これも給水制限の可能性を高める1つの要因だと考えられる。また、回帰式の定数項である37079m³は施設維持のために利用されていると考えられる。すなわち、観光客数だけでなくホテルが建設されればそれだけで水使用量は大幅に増大することが示されている。

4. 座間味島における給水制限時の水使用実態と課題

座間味島は面積約6.7km²、人口578人と小規模な島であるが、毎年約4.5～5万人の観光客が訪れており観光の島となっている。観光目的の多くはダイビングや海水浴である。この島は2001年から2009年まで毎年給水制限を実施して、特に2003年から2004年にかけては325日間も給水制限が実施された。

給水制限が実施されていた2004年4月から2007年11月までの水控別水使用量のデータを用いて、観光による渇水問題への影響を分析する。具体的には、需要用途を「観光関係：宿泊施設とダイビングショップ」と「観光以外：宿泊施設とダイビングショップ以外」に分けて水使用量を算出した。この結果を表-3に示す。観光関係の

1人1日あたり使用水量は、島の入域観光客数で使用水量を割った値である。なお、表中の「平常」とは通常給水時の平均使用水量であり、「制限」は給水制限時のみの平均使用水量を意味する。

この表より座間味島の住民1人1日あたりの有収水量は平均で約175リットルであり、これは石垣市の1人1日あたりの一般家庭用水量の273リットルや宮古島市の一般家庭用水量の250リットルに比べると、いかに少ない水量で生活しているかが理解できる。石垣市・宮古島市は家庭で使った水量であり、座間味島の水量は観光以外で使った水量である。

また、表中の網掛け部は給水制限時の方が使用水量が多い月を意味している。この理由についてヒアリング調査を行うと理由は次の通りであった。一般家庭では平常時において井戸を使っている家が多いが、小規模離島であるため少雨になると地下水の塩化物イオン濃度が上昇し、利用できなくなる。このため、井戸水で対応していた水量を水道に依存することになり、使用水量が増えることになる。観光関係については、大きな屋上タンクを設置しているため、その効果が出にくいことが理由としてあげられた。一般に、沖縄県以外で屋上タンクを設置するのは集合住宅ぐらいであろうが、沖縄県では毎年のように給水制限が実施されていたため、水の備蓄という意味で屋上にタンクを設置する習慣がある。

5. 観光振興に関するシナリオ分析

(1) 観光客増加と節水に関するシナリオ分析

座間味島では運用ルールとして座間味ダムの貯水率が50%未満になると給水制限を実施することになっている。

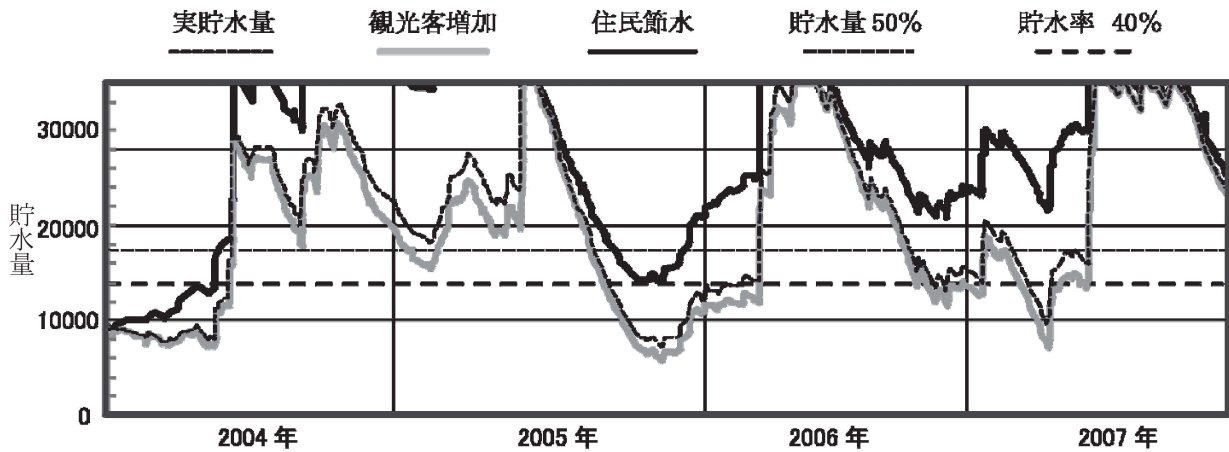


図-3 座間味ダム貯水量とシナリオ分析結果

分析対象期間中に給水制限が行われた期間は 2003 年 7 月 18 日～2004 年 6 月 10 日の 325 日間，2005 年 10 月 17 日～2006 年 3 月 12 日の 142 日間，2006 年 11 月 27 日～2007 年 1 月 22 日の 57 日間，2007 年 4 月 2 日～同年 6 月 6 日の 57 日間である。座間味村ではさらなる観光客増加と給水制限の減少を目指している。このことから，観光客が 1 割増加した場合，観光客数はそのまま住民の節水だけで対応した場合，の 2 つのシナリオに対する分析を行うこととする。つまり，分析対象期間中の降水量は変化せず，水使用量に関する社会の状況だけが変化することを想定した分析である。観光客数については，沖縄県は現状が約 600 万人に対し，長期的には 1000 万人を目標として各種施策を講じていることから，座間味島において，まず 1 割増加というのは現実的なシナリオだと考えられる。なお，海水淡水化施設設置も考えられるが，これによる利用料金の増額を見積もるためには，施設の種類やどの程度一般財源から繰り入れを行うか等により変わるため，ここでは考慮しないこととする。後者のシナリオについては，観光客に強い節水を求めると観光客が減少するのではないかとこの危惧を持っている方が少なからずいることより，住民だけの節水で対応可能かを検討する。

これらシナリオ分析の結果を図-3 に示す。まず，観光客が 1 割増加と仮定し，表-3 より各月に増加する有収水量を使用量として加算する。この増分をダムの貯水量から差し引くと，実績に加え，2005 年 1 月 18 日から 2 月 24 日の 38 日間給水制限をしなければならない。また，2005 年の給水制限は 229 日間となり，87 日間延びることとなる。

次に，観光客数が実績通りで住民の節水のみで対応することを考える。対象期間内で最も貯水率が低かった 2005 年に給水制限が実施されないように，住民が節水するために必要な水量を求めることになる。このとき，ダム運用ルールでは貯水率 50%としているが，ここでは実際の給水制限が行われた貯水率 40%を下回らないよう

に想定する。貯水率を低く見積もっても，住民 1 人 1 日の使用できる水量は約 16.2 リットルも減らさなければならず，これまでの使用水量の約 10%節水が必要となる。座間味島の住民はすでに節水を行っており，表-3 に示すとおり，給水制限を行っても 10%の節水ができない現状である。さらに観光客が増加し，それを住民の節水だけで対応することは無理な状況にあると考えられる。つまり，水資源開発を行わないのであれば，観光産業も含めた節水が必要であろう。

(2) 観光客受け入れ容量に関する考察

キャリングキャパシティという考えの下で，どれだけの観光客数であれば受け入れ可能であるかを試算する。この時，表-3の平常時における観光客1人1日あたりの使用水量を用いることとする。観光客1人1日あたり平均 559リットルの水を使用している。これより，対象期間内で最も貯水率が低かった2005年に給水制限が実施されないようにするためには，給水制限の基準である貯水率 40%まで引き上げるために必要な水量より，観光客数を年間で約12500人減らす事になる。これは現在約50000人が訪れていることより，25%観光客数が減ることを意味する。この島の水資源から見たとき，給水制限を回避するという意味において，約40000人以下が適正な観光客数であると考えられる。

観光で自立を目指している島が，観光客数を減少させる政策をとることは難しいであろう。一方で，観光のために一般住民が苦痛を感じることも納得できないであろう。この対応のために，他の離島で実施されている海底送水管も検討されたが，隣接する渡嘉敷島も水資源に乏しいこと，沖縄本島からの海底送水よりは海水淡水化施設の設置の方が建設および維持管理コストが安価であった。このため，海水淡水化施設導入が検討されている。費用負担については，営業用料金を家庭用料金に比べて高くすること，入島税の徴収が検討されてきた。なお，既に逓増型料金体系にはなっており，水を多く使うほど

単価が高くなる仕組みにはなっている。

現在は、水道広域化により沖縄県全体での水道事業経営が検討されている。いずれの案についても島民・村民・県民での合意形成が不可欠となる。これらの場において、本研究の成果のように、定量的に事実を明示した上で議論がなされる必要があると考える。

6. おわりに

本研究ではヒアリング調査をもとに離島地域の渇水問題を構造化した。さらに、座間味島の渇水リスクを軽減するためには、地域住民の節水のみでなく観光に使用される水量を減らすことや、観光客を巻き込んだ節水を行わなければならないことを示した。さらに、観光客数の受け入れ可能量を定量的に示した。

今後の住民参加を前提とした都市計画等の各種計画において、地域の制約条件を明確にすることは、認識の共有化および参加型の目標設定のために必要であり、本研究はその第一歩として位置づけられる。

今後は他の離島市町村も含め、観光用水量の明確化や観光振興がもたらす水資源への影響を分析するとともに、住民の経済的負担や水資源開発への合意形成に関する研究を行う必要がある。また、ホテル等の利用目的別水使用量に関するデータ収集を行うことにより、より詳細な水使用実態を明らかにすると共に、節水型のホテル運営を含めた観光のあり方についても検討する。座間味島においては、家庭用井戸や天水タンクが利用されており、これによる節水効果についても分析を行うこととする。

本研究を行うにあたり、金城英隆氏をはじめとする座間味村環境衛生課の皆様の協力を得ました。ここに記し

て謝意を表します。

参考文献

- 1) 富永斎 代表執筆：図でみる沖縄の経済，緑風舎，2003.
- 2) 神谷大介：沖縄県の島嶼における水需要構造変化と観光の影響に関する分析，地域学研究，Vol.36，No.2，pp.267-282，2009.
- 3) 池淵周一：平成6年度渇水の気象・水文学的検証と渇水時のリスクマネジメントに関する研究，平成7・8年度科学研究費補助金研究成果報告書，1997.
- 4) 萩原良巳，小泉明，西沢常彦，今田俊彦：アンケート調査をもとにした水需要構造ならびに節水意識分析，土木学会第15回衛生工学研究討論会講演論文集，pp.188-193，1979.
- 5) Glenn-Marie Lange, "An approach to sustainable water management in Southern Africa using natural resource accounts: the experience in Namibia" Ecological Economics 26, pp.299-311, 1998.
- 6) 小林徹：島嶼国（地域）における観光開発と水問題，長崎国際大学論叢，第5巻，pp.139-147，2005.
- 7) 沖縄県生活衛生課：沖縄県の水道概要，2010.
- 8) 全国簡易水道協会：水道事業実務必携，2007.
- 9) 水谷潤太郎，篠龍一郎，茂庭竹生：沖縄県リゾート地域水道の水需要，水道協会雑誌，第63巻6号，pp.44-54，1993.
- 10) 沖縄県企業局：沖縄県水道用水供給事業第9回変更認可申請書[別冊]，2004.
- 11) 沖縄県：観光要覧，2009.
- 12) 神谷大介，与那城学，赤松良久：気候変動を考慮した亜熱帯島嶼観光地域における渇水リスク評価，地球環境研究論文集，Vol.18，pp.89-96，2010.

(2013. 4. 11 受付)

(2013. 7. 31 受理)

An analysis on the drought water problem considering with influence of the tourism in Okinawa Archipelago

Daisuke KAMIYA¹, Yoshihisa AKAMATSU² and Koh MIYARA³

¹Dept. of Civil Engineering and Architecture, University of the Ryukyus

²Div. of Civil and Environmental Engineering, Yamaguchi University

³General Environmental Research Institute, Okinawa Environmental Science Center

An inhabitant of Okinawa prefecture had troubled with drought water. Because Okinawa have a subtropical oceanic climate, and there is composed of very small islands in Ryukyu archipelagos. Some water resource developments had be done since Okinawa's reversion to Japan in 1972. A quantity of water demand was increased by increase of population and tourists etc. Firstly, this paper shows water supply systems, water use and drought water. These are arranged by relation with regional societies. Secondly, quantity of water used for tourism using data of Zamami village is made clear. Possibility of drought water is analyzed by two scenarios; 10% number of tourist, and tourists do not save water.