普天間飛行場基地跡地計画における緑地計画に関する提案型研究

－ 広域の地下水需給構造の解明による流域別緑地配分の必要性を唱えたアクションリサーチ －

A PROPOSAL-BASED RESEARCH ABOUT THE OPEN SPACE PLANNING OF
THE REUSE FUNDAMENTAL PLAN OF THE MARINE CORPS AIR STATION
FUTENMA IN OKINAWA PREF., JAPAN－ An action research for discussing the necessity of the watershed-based open space plan under
the consideration of the water supply demand structure in *Ginowan* Area －

栄野川 優也*, 小野 尋子**

Yuya ENOKAWA and Hiroko ONO

This study aimed to clarify two study objectives. The 1st goal is to calculate exact a water balance model about approx. 1617ha of the 5 watershed areas, A,B,C,D and E, in *Ginowan* City where the *Futenma* Air Station is located in. The 2nd goal is to review the open space plan in *Futenma* reuse plan to fit water demands in these areas by using our water balance model. We researched water amount of springs that locate in 5 watershed areas by flow speed measurement and positive displacement flowmeter. We calculated each land use area by GIS and interviewed the demands to establish water balance model. Then we simulated the effect of water supply of the contemporary Reuse plan. This study's consequences and contribution are three points. 1) The water balance model of this area is established. 2) The underground water and spring water demand of this area are calculated. 3) Through continuing discussion with parties, our proposal-based study is accepted in the public reuse plan of *Futenma*.

Keywords : *Marine Corps Air Station Futenma, Reuse Plan, Catchment Water Budget, Open Space Plan*

普天間飛行場, 跡地利用計画, 流域水収支, 緑地計画

1. 研究の背景と目的、方法

宜野湾市米軍普天間飛行場(以下、普天間)は、平成 8 年に、日米特別行動委員会(SACO)において全面返還が合意された。沖縄県及び宜野湾市では、平成 18 年 2 月の『普天間飛行場跡地利用基本方針』を皮切りに、上位計画の改訂や地元意向を踏まえ、順次検討・見直しをしてきている。順次検討・見直しを経て、平成 25 年 3 月に「全体計画の中間とりまとめ(以下、「中間とりまとめ」¹⁾)」が策定された。同計画では、大規模緑地(100ha)の創出と基地内に残存する自然環境・歴史文化等の資源の保全をベースとした土地利用配置の指針が定められ、その方針は地主、住民、行政間で一定の理解と合意が得られつつある。

「中間とりまとめ」では、緑地の創出と現在の地下水系の保全の方針がまとめられた。しかし、平成 27 年 8 月時点まで大規模緑地面積 100ha の量的根拠及び緑地と地下水涵養の関係についての調査検討は、行政でも民間でもなされていなかった。「中間とりまとめ」の中では地下水の保全の必要性については位置づけられているものの、同方針策定後から平成 27 年 8 月の間に、①地下水涵養の観点ではどの程度の緑地の保全が必要か(必要緑地の量的検討)、②地下水の現在および将来的な

需要をどの程度見込んで地下水を涵養しなければならないのか(地下水の現在および将来需要面での検討)、③複数ある流域の中でどの流域で地下水確保が重要なのか(緑地配置の流域別検討)等についての検討がなされていなかった。それにも関わらず、平成 27 年度には行政の計画段階が「保全の検討」から、基地跡地内への導入機能の検討という「利活用の検討」段階へと移りつつあった。しかし、①～③の観点は、土地利用基本構想の中でも、広大な面積を占める大規模緑地の「緑地量」及び「緑地の配置」の目安として、重要な指標であり、土地利用計画で導入機能の検討に入る前に整理すべき事項であったことから、早急な調査と成果の計画への反映が求められた。そこで、大学から行政に調査の実施を打診したが、共同調査の体制が整わなかったため、研究室が先行して調査を実施し、緩やかな勉強会の中で行政や地元の結果を還元・共有し提案するという体制で進めた。

本研究では、2 段階で研究を遂行した。まず、現在の普天間飛行場周辺の湧水量について調査し(3 章)、現状の流域別土地利用状況から水収支モデルを作成(4 章)したのちに、3 章の湧水量の観測値と 4 章の水収支モデルから導出される湧水量の理論値の整合性を鑑みながら

* 琉球大学工学部環境建設工学科

** 琉球大学工学部 准教授・博士(社会工学)

Under Graduate Student, Architecture Course, Faculty of Civil Engineering, University of Ryukyus
Assoc. Prof., Faculty of Civil Engineering, University of Ryukyus, Ph.D.

現在の宜野湾市の各流域の水収支を説明するモデルを作成することを第一段階の目的とする(5章)。次に、家庭及び産業での現在の地下水利用の実態、及び将来需要を調査し(6章)、「中間とりまとめ」の土地利用計画で開発した場合の地下水への影響を水収支モデルにより算定し、6章の需要量と水収支の推計結果より、普天間内の緑地量と流域別緑地配置の検討を行う(7章)。最終的に、県及び市、地主会に対して水収支や緑地保全の観点から跡地利用計画を考えていくことの必要性を提案・協議(8章)することを目的とする。

研究の方法は、3章では、宜野湾市の過去の調査と独自調査を統計的に処理し、年間湧水量について推計を行った。4章はGISを用いて流域別に現況の土地利用用途別の面積を計測し、土地利用用途別流出係数に各面積を乗じて、流域別の雨水地下浸透量を推計した。6章は各団体や個人に地下水・湧水の利用用途、利用量に関するヒアリングを行った。7章は4章で作成した水収支モデルを用いて、「中間とりまとめ」の土地利用計画による地下水への影響を算出し、緑地の適正配置により、流域別に異なる地下水需要への対応が可能になる事を試算した。8章では、本研究のアクションリサーチの経緯と行政や地権者をはじめとする関係者とのやり取りをまとめた。

2. 宜野湾市の地形・地質、表流水及び地下水流域の分類

宜野湾市の地形は北西側に下る海岸段丘が形成されており、地表分水嶺となる最も海拔の高い長田付近から2つの段丘を形成して海に至る(図1の地形と地層)。普天間飛行場は第二の段丘上に立地し、地質は全て琉球石灰岩土壌となっている²⁾。GISで計測すると基地跡地内の緑地比率は約70%と周辺の既成市街地と比較して非常に高い。琉球

図1 宜野湾市の地形・地層断面と地下水の形成状況

図2 宜野湾市の地質と表流水及び地下水流域分類図

石灰岩はその特性により表流水を形成しないため、流域上部から流れてきた雨水は普天間飛行場部分で、地下に浸透し、不透水層まで浸水した後に地下で水脈や水盆を形成し、北西部の海岸低地(大山水田周辺)から湧水として再び地上に表出する(図1の地下水)。宜野湾市の表流水及び地下水流域は、分水嶺、不透水基盤の等高線及び市内に整備された下水道(雨水排水)により大きく分けて5つに区分されA～E流域(流域面積:約1620万㎡)と表される。このうち普天間飛行場に大きく関わる流域はC～E(流域面積:約480万㎡)流域である(図2)。

3. 湧水量の実測データを元にした母湧水量の区間推定

3-1. 既存の湧水量調査データ(N₁)、独自の追加調査(N₂)

湧水に関する既存調査は、平成16年度、18年度、22年度、24年度の宜野湾市自然環境調査³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾において行われた流量調査結果(表1N₁)がある。しかし、既存の調査は、①観測日が月に1回程度であることから降水量を考慮できないという欠陥^{注1)}、②調査年度により計測地点や方法が異なるというデータの不備があるため、平成27年9月14日から平成28年1月30日に計62回の流量調査を独自に実施した(表1N₂)。特に①に関しては、現地調査でいくつかの湧水口では雨天後の湧水の増加が確認されていたことから、湧水量を推定する上で考慮が不可欠であった。独自調査の対象は現在も家庭用及び産業用として取水が行われている湧水地点((3)メダカリヒーガー、(6)アラナキガー、(7)ヤマチチャガー、(8)ウーシヌハナガー、(9)ヒャーカーガー、(11)ふんしん川、(14)ウフガー(図2、表2))を対象とし、容積法及び流速法で湧水(カー)の流量を測定した^{注2)}。

表1 各湧水地点の観測数

	(3)メダカリヒーガー	(6)アラナキガー	(7)ヤマチチャガー	(8)ウーシヌハナガー	(9)ヒャーカーガー	(11)ふんしん川	(12)フルデンガー	(13)ウフガー	(15)フンナーガー
既存調査(N ₁)	21	21	6	6	21	6	15	6	21
独自調査(N ₂)	62	62	52	25	60	23	0	23	0
総数(N)	83	83	58	31	81	29	15	29	21

3-2. 湧水量調査結果からの母湧水量の推定

独自で行った調査N₂については、湧水量と直前降水量との相関関係を分析した。直前降水量は、地下水という特性を考慮して測定直前から1～5日前までの総降水量の累計値(D₁, D₂, D₃, D₄, D₅)を用いた。その結果、(8)ウーシヌハナガーと(9)ヒャーカーガーでは0.6以上の高い相関関係が確認されたので回帰分析を行って以下の結果を得た^{注3)}。

(8) $y = 13.85x^{***} + 455.3^{***}$ ($R^2 = 0.67$)

(9) $y = 114.24x^{***} + 2235.3^{***}$ ($R^2 = 0.63$)

y :湧水量 x :降水量 ***0.1%有意

この二つの湧水口は降水量の影響を受けることから、年間降水量の95%値を用いて区間推計を行い^{注4)}、その値を回帰式に代入して湧水量を求めた。その他の湧水口については、正規分布もしくはt分布により95%信頼区間で母湧水量を推計した。その結果、流域別の年間湧水量はC流域($119.3 \text{ 万} \text{ m}^3 \leq \mu_C \leq 153.4 \text{ 万} \text{ m}^3$)、D流域($239.8 \text{ 万} \text{ m}^3 \leq \mu_D \leq 652.9 \text{ 万} \text{ m}^3$)、E流域($62.7 \text{ 万} \text{ m}^3 \leq \mu_E \leq 86.1 \text{ 万} \text{ m}^3$)となる(表2)。

既存の自然環境調査に対して、測定回数を増やしたことにより、①区間推定の幅が狭まったこと、②降水量を考慮できるモデルが組めたことが本研究の成果である。

表 2 主な湧水地点における湧水量の推移

主な湧水地点における湧水量の推移(単位m ³ /年)							
湧水名		宜野湾市調査	各湧水地点湧水量		各流域湧水量		流域名
		(4～3)月合計	下限	上限	下限	上限	
(1)	シチャヌカー	238,254	—	—	1,193,229	1,533,716	C
(2)	森の川	20,099	—	—			
(3)	メンダカリヒーガー	299,562	196,488	218,149			
(4)	ミジカシガー	10,249	—	—			
(5)	マジキナガー	—	70,325	70,325	2,398,130	6,529,350	D
(6)	アラナキガー	657,540	654,583	969,651			
(7)	ヤマテジャガー	9,607	3,231	6,989			
(8)	ウーシヌハナガー	136,003	189,070	194,180			
(9)	ヒャーカーガー	634,611	1,036,600	1,077,845	626,736	861,313	E
(10)	ナイシガー	140,355	—	—			
(11)	ふんしん川	140,864	86,014	128,482			
(12)	フルチンガー	3,246,147	946,091	4,988,488			
(13)	ウフガー	270,072	235,254	287,633	649,852	649,852	A
(14)	ウブガー	172,821	—	—			
(15)	アუნナーガー	245,653	210,661	400,859			
(16)	ウシアミシガー	589,407	—	—			
(17)	大森名メヌカー	60,445	—	—			
年間降水量(mm)		1986年～2015年の過去30年における年平均降水量95%信頼区間(1934mm≦μ≦2294mm)					
※宜野湾市調査網は平成16年4月～平成17年3月に宜野湾市によって行われた湧水量調査結果の参考値							

4. 現在の流域別土地利用現況別流出係数を元にした流域別湧水量の理論値推計

水収支式は、一般に次式で表される。

P = E + D + G

(P:降水量、E:蒸発散量、D:地表流出量、G:地下浸透量及び湧水量)

本研究では、開発前の理論上の流域別湧水量の推計を行うにあたり、現状の本地区の土地利用現況及び周辺の既成市街地の土地利用現況を流域別で(1)滑走路・施設など、(2)芝地、(3)樹林地、(4)畑地に分類し特定した。年間降水量は3章の補注4)の方法で得られた2,114mmを用いた。また、蒸発散量Eについては、50%とする^{7)8)注5)注6)}。地表流出量は、既存調査を参考に^{注7)}土地利用別に各地表面の流出係数を設定し(1)宅地・道路舗装0.82、(2)芝地0.15、(3)樹林地0.30、(4)畑地0.20)、これに各用途の面積を乗じて算出した。

以上で求めた流域別年間湧水量の理論値はC流域($\mu_C = 134.3$ 万 m^3)、D流域($\mu_D = 441.7$ 万 m^3)、E流域($\mu_E = 220.0$ 万 m^3)となる(表3)。

表 3 現在の土地利用における開発前の湧水量

流域名	流域面積	域内降水量	蒸発散量	土地利用	流出係数	各面積	地表流出量	地下浸透量	湧水量
	万m ²	万m ³ /年	万m ³ /年			万m ²	万m ³ /年	万m ³ /年	万m ³ /年
C流域	124.6	263.4	131.7	(1)舗装	0.82	60.9	52.8	63.7	68.0
				(2)芝地	0.15	58.8	9.3		
				(3)樹林地	0.30	4.9	1.6		
				(4)畑地	0.20	7.7	1.6		
C-1流域	51.9	109.7	54.9	(1)舗装	0.82	39.4	34.1	38.6	16.3
				(2)芝地	0.15	6.3	1.0		
				(3)樹林地	0.30	5.7	1.8		
				(4)畑地	0.20	7.7	1.6		
C-2流域	103.9	219.6	109.8	(1)舗装	0.82	83.2	72.1	78.5	31.4
				(2)芝地	0.15	0.0	0.0		
				(3)樹林地	0.30	18.7	5.9		
				(4)畑地	0.20	2.0	0.4		
CD地下水流域	43.7	92.4	46.2	(1)舗装	0.82	29.1	25.2	27.5	18.7
				(2)芝地	0.15	14.6	2.3		
				(3)樹林地	0.30	0.0	0.0		
				(4)畑地	0.20	2.0	0.4		
D流域	310.2	655.8	327.9	(1)舗装	0.82	83.7	72.5	126.0	201.9
				(2)芝地	0.15	115.8	18.4		
				(3)樹林地	0.30	110.7	35.1		
				(4)畑地	0.20	148.0	28.3		
D-1流域	206.4	436.3	218.2	(1)舗装	0.82	16.3	2.8	141.9	76.3
				(2)芝地	0.15	19.8	6.3		
				(3)樹林地	0.30	22.3	4.7		
				(4)畑地	0.20	98.5	85.4		
D-1流域雨水	134.8	285.0	142.5	(1)舗装	0.82	13.6	2.2	93.7	48.8
				(2)芝地	0.15	12.6	4.0		
				(3)樹林地	0.30	10.1	2.1		
				(4)畑地	0.20	45.2	8.2		
D-2流域	61.7	130.4	65.2	(1)舗装	0.82	5.4	4.7	44.2	21.0
				(2)芝地	0.15	1.5	0.2		
				(3)樹林地	0.30	15.3	4.9		
				(4)畑地	0.20	0.0	0.0		
DE地下水流域	91.7	193.9	96.9	(1)舗装	0.82	23.9	20.7	38.4	58.5
				(2)芝地	0.15	23.8	3.8		
				(3)樹林地	0.30	44.0	14.0		
				(4)畑地	0.20	5.4	4.7		
E流域	40.4	85.4	42.7	(1)舗装	0.82	11.5	1.8	14.0	28.7
				(2)芝地	0.15	11.5	1.8		
				(3)樹林地	0.30	23.5	7.5		
				(4)畑地	0.20	235.0	103.7		
E-1流域	341.9	722.8	361.4	(1)舗装	0.82	54.3	8.6	228.6	132.8
				(2)芝地	0.15	49.3	15.6		
				(3)樹林地	0.30	49.3	15.6		
				(4)畑地	0.20	3.3	0.7

図 3 自治区、米軍基地及び各企業の位置図

5. 小活：流域別母湧水量の観測値からの推計値と理論値の適合性からみた、流出係数及び水収支モデルの妥当性の検討

以上より、C、D流域において、3-2の観測値を用いて算出した流域別母湧水量平均95%区間推定内に、4章で算出した水収支モデルを用いた流域別湧水量の理論値が含まれる事が実証できた^{注8)}。この実証によって、4章で用いた各土地利用用途別の流出係数の数値の妥当性、及び水収支モデルの妥当性が証明された事になる。第一段階の分析で、流出係数の数値及び水収支モデルが有意となったことから、次章以降で基地跡地開発前後の土地利用の変化(基地跡地内の緑地の量や配置)と連動して湧水量がどう変化するかを分析する事が可能となった。

6. 地下水・湧水の利用及び将来需要量と供給量への逼迫状況

6-1. 家庭用・産業用における地下水・湧水の利用状況

次に需要面からの分析を行う。現在確認されている宜野湾市の地下水・湧水は、家庭用として喜友名、伊佐自治区がそれぞれ160世帯、80世帯使用しており、主に散水や生活雑用水として利用している^{注9)}。産業用では大山水田が市域最大の水需要であり、水田の立地と各農家の栽培方法で坪当たりの水の使用方法が異なる^{注10)}。ヒアリングで得られた立地と栽培方法を勘案して需要を算出すると、上流部ではメンダカリヒーガー(約18.6万 m^3 /年)・アラナキガー(約63.9万 m^3 /年)・フルチンガー(122.9万 m^3 /年)、下流部ではフルチンガー(52.4万 m^3 /年)の計257.8万 m^3 /年である(表4)。大山水田11haの営農は、全て大山・伊佐自治区に湧き出る湧水で賄われている。又、コンクリート業A社(以下、A社)及びコンクリート業B社(以下、B社)では、海砂の除塩やコンクリートの練り混ぜ水として利用が確認され、温泉業C社(以下、C社)では施設内のシャワー及び清掃、更にレストランにて飲料水として利用されており、利用量は年間1.5～5万 m^3 /年弱である^{注11)}。大山水田以外の産業用で約7万 m^3 /年、家庭用で約10万 m^3 /年とした^{注12)}。

表 4 産業用及び家庭用の地下水・湧水の需要量

地下水利用		取水湧水口	需要量(万m ³ /年)・(件)	流域
産業用	大山水田	(3)メンダカリヒーガー	18.60	C
		(6)アラナキガー	63.96	C
		(12)フルチンガー	175.40	D
		(13)ウフガー	0.93	E
	A社	(17)大謝名メヌカー	1.60	A
家庭用	B社	(13)ウフガー	4.52	E
	伊佐自治区	(11)ふんしん川	80件	D
	喜友名自治区	(15)チュンナーガー	160件	E

6-2. 地下水・湧水の供給量と需要量の関係

まず、4 章で行った主な湧水地点における母湧水量の推定の理論値（供給量）と家庭用及び産業用としてヒアリングと実測調査から得られた地下水・湧水の需要量との関係について分析を行う。

流域別で地下水・湧水の供給量と需要量との関係を比較すると、C 流域において供給量(134.3 万㎡/年)に対する需要量(83.0 万㎡/年)の割合が 62%と高い値を示す。D 流域においては、大山水田での需要量が 175.4 万㎡と水田全体の 7 割の地下水・湧水がフルチンガー(D 流域)からの取水によって賄われているが、供給量(441.7 万㎡/年)に対する需要量(175.4 万㎡/年)の割合は 40%とあまり高くはなく、湧水量が豊富であることがわかる。E 流域においては、現在はキャンプ瑞慶覧内の斜面緑地が残っていることから湧水量も豊富であり、また、企業 2 社及び家庭用が年間約 15 万㎡/年程度の水需要量であるため、供給量(220.0 万㎡/年)に対する需要量(15 万㎡/年)の割合は 7%となっており、D 及び E 流域では地下水供給量が需要量に対して多い(次頁表 6)。

次に、各湧水口別で地下水・湧水の供給量と需要量の関係についての比較と月単位での水収支結果の分析を行う。

まず、各湧水口別で地下水・湧水の供給量と需要量の関係を比較すると、C 流域の(3)メンダカリヒーガーと(6)アラナキガーにおいては、供給量に対する需要量の割合がそれぞれ 91% ((3)メンダカリヒーガー)、80% ((6)アラナキガー)となっており、供給量に需要量が逼迫する(次頁図 4 左側)。

更に過去 30 年間降水量を用いた月単位での水収支結果の分析より、月平均降水量の場合、冬期は 11 月～3 月、夏期は 7 月に渇水期となり水不足が生じる。冬期(11～3 月)の渇水期については、営農地の面積や農家側が対策を講じるにより、水不足は回避できるが、夏期の 7 月に渇水が生じると地下水需要量が増加するため水不足は深刻である(表 5)。

また、10 年に 1 度の渇水リスクの場合はいずれの月においても、推計した需要量より供給量が下回る結果となった。

ヒアリングによると、この二つの湧水口では、渇水期及び水需要の増加する夏期には、開発前の現在でも取水をめぐって農家同士でいさかいがあるとされており、この事実とも数値が合致する。

以上のことから、(3)メンダカリヒーガーと(6)アラナキガーの存在する C 流域の緑地量については、特に今後の開発で地下水涵養のための緑地について慎重な配慮が求められることが明らかとなった。

表 5 C 流域における湧水口別の月別水収支

月		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年間
過去30年 月別降水量(mm)	平均	109	119	156	180	278	265	152	227	239	167	125	95	2114
	標準偏差	54	88	77	102	147	164	134	171	167	121	76	61	481
10年に1度の 渇水降水量		59.7	39.2	75.5	72.8	87	48.4	20.8	73.2	45.6	18	44.2	21.5	1527
C流域渇水時 湧水量(万㎡)		3.8	2.5	4.8	4.6	5.5	3.1	1.3	4.7	2.9	1.1	2.8	1.4	97.2
(3)メンダカリヒーガー 月平均湧水量(万㎡)		1.05	1.16	1.51	1.73	2.69	2.55	1.47	2.19	2.31	1.61	1.20	0.91	20.39
(3)メンダカリヒーガー 渇水時湧水量(万㎡)		0.58	0.38	0.73	0.70	0.84	0.47	0.20	0.71	0.44	0.17	0.43	0.21	5.85
(3)メンダカリヒーガー 需要量(万㎡)		1.51	1.51	1.55	1.55	1.55	1.55	1.59	1.59	1.59	1.55	1.55	1.51	18.60
(6)アラナキガー 月平均湧水量(万㎡)		4.11	4.53	5.90	6.79	10.54	10.0	5.78	8.58	9.05	6.31	4.71	3.57	79.87
(6)アラナキガー 渇水時湧水量(万㎡)		2.26	1.49	2.86	2.74	3.28	1.85	0.77	2.80	1.73	0.66	1.67	0.83	22.93
(6)アラナキガー 需要量(万㎡)		4.64	4.64	5.33	5.33	5.33	5.33	6.02	6.02	6.02	5.33	5.33	4.64	63.96

■は水不足が生じる月

6-3 今後の産業継続意向等と将来需要量

A 社、B 社、C 社とも産業利用として地下水湧水を利用しており、今後も継続を考えている。

地下水の最大需要である市街化区域内農地の大山水田でも、ヒアリングによると専業農家の営農意欲・継続意欲も高く、市でも農住組合区画整理を検討するなど存続に対しては肯定的である。しかし、長期的には後継者の問題もあることから市の検討では、現状の大山水田の営農面積約 11ha が将来的に区画整理事業により約 5ha に縮小する計画がなされていたので、A～C 社は存続、大山水田は 5ha の水田を営むことを今後の水需要の最低量として前提をした。家庭用は、現況と同等量とした。

7. 現行基地跡地利用構想の課題と水需給構造を踏まえた提案

7-1. 「中間とりまとめ」における水収支モデル

4 章と同様に GIS を用いて、「中間とりまとめ」で示されている土地利用計画が実施された場合の地下水への影響を作成した水収支モデルを用いて推定した。その結果、C 流域においては開発後、緑被率が減少することにより、湧水量が 100.0 万㎡/年まで減少し、開発後の供給量に対する現在需要量の割合は 83%と高い値を示すことが明らかとなった(次頁表 7)。更に、各湧水口別で供給量と需要量を比較すると(3)メンダカリヒーガー及び(6)アラナキガーにおいて需要量が供給量を上回る結果となった(次頁図 5 左側)。なお、D 流域においては、開発後も地表水が洞窟に伏流するため湧水量は増加する。

7-2. 流域別の湧水量を担保する基地跡地内緑地配置の提案

7-2-1. 水収支から見た流域別緑地量の計画条件の整理

6 章の分析結果より、現在の家庭用及び産業用における水需要量を考慮すると、開発後、最低限確保しなければならない湧水量は C 流域 123.1 万㎡/年、D 流域 472.1 万㎡/年、E 流域 172.8 万㎡/年(次頁表 9④)と水需要量と水収支結果より推計される^{注 13)}。

流域毎の雨水排水平面図から雨水排水特性では、D 流域は開発後も地表水が洞窟に伏流する可能性があり緑地による地下浸透のみによって供給量が作用される状況ではない。しかし、C 流域においては地表水の洞窟への伏流がないため、緑地による地下浸透を見込まなければならない。つまり C 流域では、開発後の緑地量の減少により、湧水量が減少し、産業に影響を及ぼす危険性が考えられるので配慮が求められる。

7-2-2. 中間とりまとめの流域別緑地量の計画条件の整理

中間とりまとめにおける緑地計画の方針として、①自然度が高い緑地の保全、②文化財周辺の緑地の保全、③地下水脈上の緑地の保全、④広場的緑地の創出がある。そのうち、①～③は樹林地を含めた重要植生として位置付けられており、配置の移動ができない緑地である(図 4～6 のドット)。重要植生は流域別に C 流域 11.9 万㎡、D 流域 39.7 万㎡、E 流域 12.8 万㎡である(表 9⑧)。重要植生を除いた再配分可能な広場的緑地は C 流域 19.4 万㎡、D 流域 41.3 万㎡、E 流域 11.0 万㎡(表 9⑨)である。

中間とりまとめの中で示された緑地計画の各流域の総量としての緑地量は、C 流域 31.3 万㎡、D 流域 81.0 万㎡、E 流域 23.8 万㎡(表 9⑧+⑨)となっており、これら地下水涵養としての緑地計画における湧水量は C 流域 100.0 万㎡/年、D 流域 478.2 万㎡/年、E 流域 172.8 万㎡/年(表 9⑩)と水収支結果より推計される。この結果より、7-2-1

図 4 現況の土地利用

図 5 中間とりまとめの土地利用計画

図 6 本研究室提案の緑地計画

表 6 現況土地利用における水収支

流域名	流域面積 万㎡	域内降水量 万㎡/年	蒸発散量 万㎡/年	土地利用	流出係数	各面積 万㎡	地表流出量 万㎡/年	地表流出量合計 万㎡/年	地下浸透量 万㎡/年	地下浸透率 %	湧水量 万㎡/年	需要量 万㎡/年
C流域	124.6	263.4	131.7	(1)舗装 (2)芝地 (3)樹林地	0.82 0.15 0.30	60.9 58.8 4.9	52.8 9.3 1.6	63.7	68.0	25.8	134.3	83.0 (62%)
CD 地下水 流域	43.7	92.4	46.2	(1)舗装 (2)芝地 (3)樹林地	0.82 0.15 0.30	29.1 14.6 0.0	25.2 2.3 0.0	27.5	18.7	20.2		
D流域	174.8	369.5	184.8	(1)舗装 (2)芝地 (3)樹林地	0.82 0.15 0.30	30.7 77.4 66.7	26.6 12.3 21.2	60.0	124.7	33.7	441.7	175.4 (40%)
DE 地下水 流域	91.7	193.9	96.9	(1)舗装 (2)芝地 (3)樹林地	0.82 0.15 0.30	23.9 23.8 44.0	20.7 3.8 14.0	38.4	58.5	30.2	220.0	15.0 (7%)
E流域	40.4	85.4	42.7	(1)舗装 (2)芝地 (3)樹林地	0.82 0.15 0.30	5.4 11.5 23.5	4.7 1.8 7.5	14.0	28.7	33.5		

需要量列の()内は供給量に対する需要量の割合

表 7 中間とりまとめにおける水収支

※土地利用欄()の番号は表3と通し番号となっているため、(1)舗装、(2)芝地、(3)樹林地、(4)畑地、(5)振興とした。

流域名	流域面積 万㎡	域内降水量 万㎡/年	蒸発散量 万㎡/年	土地利用	流出係数	各面積 万㎡	地表流出量 万㎡/年	地表流出量合計 万㎡/年	地下浸透量 万㎡/年	地下浸透率 %	湧水量 万㎡/年	需要量 万㎡/年
C流域	124.6	263.4	131.7	(1)舗装 (2)芝地 (3)樹林地 (5)振興	0.82 0.15 0.30 0.82	63.7 11.0 11.3 38.6	55.2 1.7 3.6 33.5	94.0	37.7	14.3	100.0 (※1)	83.0 (83%)
CD 地下水 流域	43.7	92.4	46.2	(1)舗装 (2)芝地 (3)樹林地 (5)振興	0.82 0.15 0.30 0.82	16.6 8.4 0.6 18.1	14.4 1.3 0.2 15.7	31.6	14.6	15.8		
D流域	174.8	369.5	184.8	(1)舗装 (2)芝地 (3)樹林地 (5)振興	0.82 0.15 0.30 0.82	58.3 41.3 39.7 35.5	50.5 6.5 12.6 30.8	100.4	84.3	22.8	478.2 (※2)	175.4 (37%)
DE 地下水 流域	91.7	193.9	96.9	(1)舗装 (2)芝地 (3)樹林地 (5)振興	0.82 0.15 0.30 0.82	73.4 10.0 2.8 5.5	63.6 1.6 0.9 4.8	70.9	26.1	13.4	172.8 (※3)	15.0 (9%)
E流域	40.4	85.4	42.7	(1)舗装 (2)芝地 (3)樹林地 (5)振興	0.82 0.15 0.30 0.82	28.2 1.0 10.0 1.2	24.4 0.2 3.2 1.0	28.8	13.9	16.3		

表 8 本研究室提案における水収支

流域名	流域面積 万㎡	域内降水量 万㎡/年	蒸発散量 万㎡/年	土地利用	流出係数	各面積 万㎡	地表流出量 万㎡/年	地表流出量合計 万㎡/年	地下浸透量 万㎡/年	地下浸透率 %	湧水量 万㎡/年	需要量 万㎡/年
C流域	124.6	263.4	131.7	(1)舗装 (2)芝地 (3)樹林地 (5)振興	0.82 0.15 0.30 0.82	61.7 35.0 11.3 16.6	53.5 5.5 3.6 14.4	77.0	54.7	20.8	123.1 (※1)	83.0 (67%)
CD 地下水 流域	43.7	92.4	46.2	(1)舗装 (2)芝地 (3)樹林地 (5)振興	0.82 0.15 0.30 0.82	16.6 17.0 0.6 9.5	14.4 2.7 0.2 8.2	25.5	20.7	22.4		
D流域	174.8	369.5	184.8	(1)舗装 (2)芝地 (3)樹林地 (5)振興	0.82 0.15 0.30 0.82	58.3 13.0 39.7 63.8	50.5 2.1 12.6 55.3	120.5	64.3	17.4	472.1 (※2)	175.4 (37%)
DE 地下水 流域	91.7	193.9	96.9	(1)舗装 (2)芝地 (3)樹林地 (5)振興	0.82 0.15 0.30 0.82	73.4 10.0 2.8 5.5	63.6 1.6 0.9 4.8	70.9	26.1	13.4	172.8 (※3)	15.0 (9%)
E流域	40.4	85.4	42.7	(1)舗装 (2)芝地 (3)樹林地 (5)振興	0.82 0.15 0.30 0.82	28.2 1.0 10.0 1.2	24.4 0.2 3.2 1.0	28.8	13.9	16.3		

※1、※2、※3については、それぞれ(※1 C-1、C-2流域)、(※2 D-1、D-2流域)、(※3 E-1流域)の地下浸透量を含み各流域の湧水量に加算して算出を行っている。

表 9 流域別の地下浸透量及び項目別緑地量

計画の条件	(A) 地下浸透量(万㎡/年)	C流域	D流域	E流域
中間とりまとめ	(B) 重要植生(万㎡)	11.9	39.7	12.8
	(C) 広場的緑地のみ(万㎡)	19.4	41.3	11.0
	(B)+(C)総緑地量(万㎡)	31.3	81.0	23.8
	(D) 地下浸透量(万㎡)	100.0	478.2	172.8
	(E) 広場的緑地のみ(万㎡)	52.0	13.0	11.0
研究室提案	(B)+(E)総緑地量(万㎡)	63.9	52.7	23.8
	(F) 地下浸透量(万㎡/年)	123.1	472.1	172.8
	(E)-(C)不足分の緑地量(万㎡)	32.6	—	—

※1 重要植生は樹林地含む ※2 C流域: C・CD地下水流域、D流域: D地下水流域、E流域: E・DE地下水流域

で述べた計画条件(表9⑤)と比較すると、C流域で湧水量が不足していることが明らかになった。

7-2-3. 流域別の湧水量を担保する緑地配置及び緑地量の提案

7-2-1 及び 7-2-2 より、本研究における緑地計画の提案条件として①開発後、C流域の水需要を満たす湧水量を確保しなければならないこと、②中間とりまとめの中で示された重要植生の保全が挙げられる。

提案条件①、②を踏まえた上で、流域別の確保しなければならない広場的緑地の緑地量は、C流域 52 万㎡、D流域 13 万㎡、E流域 11 万㎡(表9⑥)と水収支結果より推計される。

中間とりまとめの中で計画された広場的緑地の緑地量と比較するとC流域において約 33 万㎡(表9⑥-⑥)の緑地が不足することが明らかになった。

以上のことより、C流域の水需要を満たす地下水涵養を考慮した緑地計画として、重要植生を除いた再配分可能な広場的緑地について湧水量の豊富なD流域よりC及びCD地下水流域への緑地量の再配分を行う必要がある。

再配分緑地については、「中間とりまとめ」で示された緑地計画の内、配置を移動できる可能性が残る広場の利用を想定した緑地量の中から再配分量と配置を検討^{注14)}し、D流域より 28.3 万㎡の緑地をC及びCD地下水流域に再配分した。さらに、C及びCD地下水流域の土地利用用途別流出係数の高い振興ゾーン及び舗装・道路の 4.3 万㎡

を地下水涵養緑地(芝地)として整備し、合計でC流域に新たに約33万㎡の緑地を広場的緑地として整備した(図6)。

現状並みの利用をなんとか満たす量を確保できた^{注15)}ことから、開発前の現在でも取水をめぐりいさかいが確認されているC流域のメンダカリヒーガー及びアラナキガーについて、一定程度の計画配慮ができた。今後の長期的な紛争の未然防止として、本検討は有意義である。

8. 行政、地権者、市民、計画策定業務受注コンサルタントと大学研究室内のアクションリサーチの経緯と成果

本研究では、まず初めに研究室で既存研究及び基礎調査の整理を行った。その後は、独自の調査を進めながら県及び市の行政機関や地権者(地主会)、市民代表(以下 NBM ^{注16)})と意見交換を行いながら、①～⑨のプロセスで本研究を進めてきた(表 10)。①研究室から現在の地下水・湧水について市に共同調査の打診を行ったが、体制が整わなかったため、研究室独自で流量実測調査及び地下水・湧水需要量算出のためのヒアリングを行った(H27.8)。②著者らと NBM とで意見交換を行い、宜野湾市の産業の維持及び文化財である湧水の保全の必要性について NBM の方向性と一致することを確認した(H27.9)。③第 1 回若手地主会との意見交換を行い、需要面から見た緑地計画の必要性について理解と評価を得た(H27.10)。④協議及び意見交換会と並行して進めてきた需要量ヒアリング調査より途中段階としての、水需要の概算を行い、平成 27 年度普天間飛行場跡地利用計画策定有識者検討会議第 1 回文化財・自然環境部会(以下、委員会)において水需要から見た水源涵養としての総緑地量の妥当性を検証する必要性について提案を行った(H27.11)。⑤第 2 回若手地主会との意見交換会を行った。参加者した農業者からの指摘により、大山水田での水需要量の算出では、立地・栽培方法・取水源で場合分けを行い、算出する必要があることがわかった(H27.11)。⑥速報値で計算し始めた大山水田での水需要量が相当量となることから、水源涵養のためには基地跡地内の総量としての緑地量の確保の検討ではなく、より具体的に基地跡地内の各流域別及び各湧水口別の緑地量の算出が必要であることが予測された。流域別の湧水量の確保を目的とした場合、基地跡地内の緑地配置計画と連動するため、行政の検討計画の進捗に遅れることなく、調査結果の早急な還元が求められた。そこで、県・市・コンサルタント及び研究室で事前学習の場の設置を要請した(H27.12)。⑦水需要及び開発前後における水収支モデルによる試算結果より、流域毎の水需要の検討が必要であることが明らかになった。これらの結果については県及び市、コンサルタントと流域別の水収支及び流出係数の妥当性についての検討勉強会を行い、独自調査から得られた結果に理解と評価が得られた(H28.1)。⑧第 2 回委員会では、研究室の独自調査と作成した水収支モデル試算結果より、供給量に需要量が逼迫することから流域毎の緑地量の検討及び緑地量の再配分の必要性について主張し、正式な委員会参考資料として分析結果の提供を行い、委員会の場でも審議として取り上げられた。⑨その結果、今後の跡地計画の検討事項として水収支から見た流域別の緑地量及び緑地配置の検討の方針が文言として明記された。

本研究のアクションリサーチとしての成果は、行政の跡地利用計画の基本構想の段階で、土地利用計画に対して水収支という合理的な指標を持って開発前後の土地利用変化による影響を考慮することの必要性を示せたこと、及び県や市と協調的な関係を保ちながら調

査結果を還元することにより、それを公的な計画方針の中に位置づけることができたことである。更に地域の資源である湧水の保全や今後の地域産業の継続の可能性を担保できたことは、大学での研究の地域還元として大きな成果である。

表 10 水収支モデル検討プロセス

9. 総括：本研究の成果と今後の課題

本研究の成果は以下の点である。①本研究の調査により湧水量と降水量の関係について統計的に有意な回帰式が組めた事、②①で観測された湧水量を用いた流域湧水量の母平均推定の精度が上がった事及び水収支モデルで得られた理論値と適合した事から開発後の土地利用変化により流域湧水量がどのように変化するかについて土地利用計画と連動して分析する事が可能になった事、③田芋農家の水利用が明らかになった事、それにより、湧水口の中でも需要量が供給量に逼迫している湧水口があり、基地跡地の開発で現在の利用が大きく妨げられる危険性がある事を示せた事、④③の課題に対して「中間とりまとめ」までの検討経緯を踏まえながら実現可能な範囲で緑

地を再配分することにより保全の手だてを提案できた事、⑤行政や地権者・市民及びコンサルタントと建設的な関係性を保って研究を進め、調査結果を報告し、改善の提案をしながらともに議論する場をもうけた事により、今後の跡地利用計画の重要な検討事項として位置づけられた事、があげられる。

今後の課題として、流域別に水収支を算出するにあたり、E 流域における米軍基地内(キャンプ瑞慶覧内)の立入が困難な為、主な湧水地点の流量調査が実施できていない。E 流域の水収支モデルの妥当性について検討を行うためにも公的な調査が望まれる。また、大山水田の水需要量については、本研究対象の専業農家だけでなく、兼業農家を含めてヒアリング対象を増やし、栽培方法及び取水口を明確にすることで、各湧水口で賄える範囲を明らかにし、より実態に近づけることが求められる。

謝辞

本研究は、行政や地権者をはじめ調査対象となった多くの方々の御協力により研究を遂行することができました。この場を借りて、深く感謝申し上げます。なお、本研究は JSPS 科研費・若手研究 B (課題名：亜熱帯型環境共生住宅地の土地利用規制に関する研究―沖縄らしい基地跡地開発に向けて、課題番号 24710168) の助成を受けたものです。

参考文献

1) 沖縄県、宜野湾市：全体計画の中間とりまとめ，2013. 3
2) 宜野湾市史編集委員：宜野湾市史第 9 巻資料編 8 自然，沖縄県宜野湾市教育委員会文化課，2000. 3
3) 宜野湾市：平成 18 年度宜野湾市自然環境調査報告書，2007. 3
4) 宜野湾市：平成 22 年度宜野湾市自然環境調査報告書，2011. 3
5) 宜野湾市：平成 24 年度宜野湾市自然環境調査報告書，2013. 3
6) 宜野湾市：平成 25 年度宜野湾市自然環境調査報告書，2014. 3
7) 高里良政・古川博恭・黒田登美雄：人工的構造物による琉球石灰岩地域の地下水収支の変化―那覇市首里の琉球石灰岩ブロックを例として―，琉球大学理学部紀要(47)，p159-177, 1989. 3
8) 近藤純正：蒸発散量と降水量の気候学的関係-研究の指針-，天気，vol145-4，日本気象学会 pp23-31, 1998

注

- 注 1) 既存の行政の調査報告書では、月に 1 回短時間の流量調査結果を日換算し、さらに日換算値を当月湧水量として月換算値を算出し、その後各月の月流量を総和して年間湧水量として推計している。測定時間の短さ及び換算の回数の多さから、測定日の変動誤差を受けやすい手法である。また、湧水口によっては月別の湧水量に大きな差が記録されているものもあった。そのため、より精度を高めるために、過去の調査報告書の月湧水量測定日と測定日直前から 5 日前までの降水量を気象庁のデータで確認し、直前降水量との相関関係から補正が行えないか検討したが、有意な相関が見られなかった。現地調査では、降雨後に湧水量が増えることがいくつかの湧水の現地調査で確認されている事、及び過去の調査日直前にも降水量の多い日があった事が確認された事から、既存の調査データではなく独自に湧水量の計測を行う必要性が確認された。
- 注 2) フルチンガーは現在も水田での利用が高いが、地下の雨水排水溝と連結したボックスカルバート内に存在する湧水であり、通常施設されており立ち入りできない。さらに、降雨後は急速に水量が増し、過去に死亡事故等もあったことから立ち入りの調査が不可能である。
- 注 3) 気象庁が公表する過去のアメダスデータより、それぞれの調査日において 5 日前までの降水量を 1～5 日間累計に分類し、流量と比較して相関関係の分析を行った。有意な相関が見られたものについて、回帰分析を行ったが、決定係数が 0.6 を超えているのはウーシヌハナガーとヒャーカーガーの 2 地点のみであった。相関が見られなかったものは、湧水量の母平均を求めるために信頼区間 95%で流量を算出し、ウーシヌハナガーとヒャーカーガー

に関しては降水量も考慮して年間の流量の補正を行った(図補 1,2)。ヒャーカーガーは現地調査でも降雨後の湧水量増大が確認されており、より実態に近い。

図 補 1 ウーシヌハナガーの散布図と線形近似式

図 補 2 ヒャーカーガーの散布図と線形近似式

- 注 4) 年間降水量については、沖縄気象台のデータを用いて、過去 30 年分の沖縄市胡屋の気象データから平均値及び 95%信頼区間を用いた。その結果は、 $\bar{X}$ 平均=2114 mm で、95%信頼区間は $1934\text{mm} \leq \mu \leq 2294\text{mm}$ である。
- 注 5) 蒸発散量については実測調査が難いため、高里ら (1989) の研究で行われた那覇市首里儀保と宮古島の蒸発散量を用いている (参考文献 7))。両地区は亜熱帯性気候という気候条件および琉球石灰岩台地という地層構造が一致しており、50%とした。
- 注 6) 蒸発散量については地表面の土地利用によって異なるものの、気候学的もしくは水資源学的な見地からは、参考文献 8) 近藤 (1998) によって「気候学的あるいは水資源的な観点からすると、ポテンシャル蒸発量は地表面の種類によらず、地域の気候に固有な値であることが適当である」と整理されており、既存研究でもそのように取り扱われている。そのため、本研究では沖縄の既存調査、参考文献 7) 高里ら (1989) を参考に、沖縄地方の気候に即した地域固有値として 0.5 を用いている。
- 注 7) 平成 18 年度宜野湾市自然環境調査 p3-3 では、各地表面の流出係数(1)宅地・舗装道路 0.95～0.70、(2)草地・荒地 0.17～0.13、(3)森林地帯 0.40～0.20、(4)畑地・裸地 0.30～0.10 とある。本研究では土地利用用途別の各地表面の流出係数は最大値と最小値の中間値を用いる。
- 注 8) E 流域は現在立ち入りが困難な米軍基地内(キャンプ瑞慶覧内)に主要な湧水が含まれており、独自の追加調査ができなかった。そのため、E 流域の水収支モデルの妥当性について検討ができないままである。
- 注 9) 地下水・湧水の家庭用の利用として喜友名自治区及び伊佐自治区それぞれ 160 世帯、80 世帯、計 240 世帯の利用が確認されている。その内 38 世帯に使用状況及び用途についてヒアリングを行った。
- 注 10) 大山水田における水需要算定にあたり、専業及び兼業農家にヒアリングを行った。その結果、土地の乾湿状況より、水の利用方法は大きく上流部と下流部の 2 つに分類される。また、地下水の取水源(メンダカリヒーガー、アラナキガー、フルチンガー)および田芋の栽培方法(A、B、C、D、E)において水の利用方法がいくつかのケースに分類される。メンダカリヒーガーについては、個人で所有する水田で上流の水田で使用した湧水を下流の水田でも使用していることが確認された。そこで上流と下流で同時に使用している水田については一つの単位として計算した。ヒアリングで得られた典型的な栽培方法を模式図で表すと下記のようになっており、植え付けからおおむね月単位で(v)常時水を入れる、(w)3 日に 1 回水を入れる、(X)週 1 回水を入れる、(Y)天水のみ、(Z)作業時のみと利用方法を変化させて栽培している事がわかった。水田に引き込んでいる水路からの取水口の時間あたり水量を容積法により計測し、単位時間の水量と水田の水の入れ替え状況から水量を算出した(図補 3)。

(ヶ月)	植え付け												収穫期
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
栽培A(上流部水田)		V				W						X	
栽培B(上流部畑地)					V					W			
栽培C(下流部水田)		V				W	Z				Y		
栽培D(下流部水田)		V				W	Z				Y		
栽培E(下流部畑地)		V				W	Z				X	Z	

図 補 3 田芋の育成過程と水の利用方法

- 注 11) A 社 B 社 C 社の水需要量については、ヒアリングを行い使用状況及び用途について確認した。各社とも地下水や湧水の取水状況はメーターで管理しており、各月毎に 1 年分もしくは年間での利用量の回答であったが、汲み上げた水の濾過装置の稼働状況や濾過を請け負う会社との契約状況の確認から数値は真正であると判断した。また、地下水や湧水の取水は企業内部で行われているが排水に関しては工業下水道を使っているため、宜野湾市の下水道管理者にも内容を照会したところ、おおむね企業から回答された数値が妥当である事が確認された。
- 注 12) 喜友名自治区では、チュンナーガーより湧水を取水し、ポンプアップにより共同の水タンク（1958 年に設置）に貯水したのち、自然流下によって各家庭への給水を行っている。水タンクの容量は、2 万ガロン(1 ガロン=3.785ℓより 2 万ガロン=75.70 m³)で 1 日 2 回ポンプアップによって貯水していることがヒアリングより得られた。また、ポンプアップ前には、自治区低地部に立地する家庭で水が出にくい状況にあるとの証言があったため、毎回くみ上げた量をほぼ使い切っているような状況であると判断できたため、下記の式で求めた。
- $$75.70 \text{ m}^3 \times 2 \text{ 回/日} \times 365 \text{ 日} = 55,261 \text{ m}^3/\text{年}$$
- 以上より、喜友名自治区において、55,261 m³/年使用していると推測した。伊佐自治区では、喜友名自治区の約半数世帯であることから 27,630 m³/年と推計した。両自治区での推計が合計で約 8.3 万 m³/年程度になるため、家庭での利用量は多くても 10 万 m³/年を超えない量と判断した。
- 注 13) C 流域の 123.1 万 m³/年は、個々の湧水の需要を満たす最低値である。D 流域の 472.1 万 m³/年及び E 流域の 172.8 万 m³/年については、現状並みの湧水量を確保することとした。
- 注 14) 「中間とりまとめ」の中での緑地配置計画では、在来種である重要植生及び地下水脈上、遺跡や文化財周辺の緑地については保全の方針が緑地の配置と関連して示されており、これは計画的な合理性があるため同じ基地跡地内の緑地でも再配置可能な緑地としては検討を行わなかった。広場の利用を想定した緑地分について、流域毎の需要量から緑地の再配分が可能なものとして扱った。
- 注 15) 研究室提案では、D 流域より 28.3 万 m³の緑地を C 及び CD 地下水流域に再配分し、更に、C 及び CD 地下水流域の土地利用用途別流出係数の高い振興ゾーン及び舗装・道路で 4.3 万 m³縮小して地下水涵養緑地(芝地)として整備した。本研究で行った提案としては、4.3 万 m³分の土地利用用途の変更を行ったが、そのまま D 流域より 33 万 m³の緑地の再配分(総量で見た用途の割合の変更を要しない再配分)を行っても、D 流域の水収支には影響を与えない。
- 注 16) NBM は、ねたてのまちベースミーティングの略称で、普天間飛行場跡地計画について市民が参加し考える会。

A PROPOSAL-BASED RESEARCH ABOUT THE OPEN SPACE PLANNING OF
THE REUSE FUNDAMENTAL PLAN OF THE MARINE CORPS AIR STATION
FUTENMA IN OKINAWA PREF., JAPAN

– An action research for discussing the necessity of the watershed-based open space plan under
the consideration of the water supply demand structure in *Ginowan* Area –

Yuya ENOKAWA * and *Hiroko ONO* **

* Under Graduate Student, Architecture Course, Faculty of Civil Engineering, University of Ryukyus

** Assoc. Prof., Faculty of Civil Engineering, University of Ryukyus, Ph.D.

After the Special Action Committee on Okinawa (SACO) agreement in 1996, Okinawa Prefecture and multiparty have been developing fundamental reuse plan with landowners and citizen. It was changed several times through expert investigations and discussions among them. 2013 plan has come to the halfway point of it. In the plan, some points, especially preservation policy of green, under ground water, and historical heritage in the base were reached consensus among parties. Despite some preservation policy of green and underground water, it has been missing throughout the water balance model study of this area. When people want to save the under ground water to reply the water demand, generally it needs an investigation of current water balance model and water use. So we started a proposal-based study about this research issues.

This study aimed to clarify two study objectives. The 1st goal is to calculate exact a water balance model about approx. 1617ha of the 5 watershed areas, A,B,C,D and E, in *Ginowan* City where the *Futenma* Air Station is located in. At first, we calculate each land use ratio by GIS to simulate the amount of underground seepage of the rainfall in these 5 watershed areas. It is as for theoretical value. And the other hands, we also researched the amount of several water springs to calculate the amount of underground seepage of the rainfall in these areas as an observation value. The field surveys were held 60 times at each spring waters by flow speed measurement and positive displacement flowmeter. The observation value is in agreement with the theoretical value that we simulate. The finding and the fixed water balance model will contribute to the huge area planning like *Futenma*.

The 2nd goal is to review the open space plan in *Futenma* reuse plan to fit water demands in these areas by using our water balance model. Because the today's 70% of *Futenma* Air Station is covered green, it functions as like watershed protection forest. But according to contemporary Reuse plan, after the developing, the green area will decrease than today's area. According to our data gathered by interviewing to farmers and industrial officers who use under ground water and spring water, today's water demand reaches almost 5-62% per supply from the natural condition. We analyzed the demand-supply water balance after the development, it will show over demand at some springs. And the worse more, there are some struggles between farmers in the dry season by the lack of water supply. This result is very important. Before our research, there is no report of the amount of water demand. It means that the demand-supply balance had not been paying little attention. Thus, we proposed to Prefecture Office and City Office to review the open space plan with considering water demands. We explained our analysis in detail at the closed meeting of them. Then almost of our concepts was accepted in the public plan.

This study's consequences and contribution are three points. 1) The water balance model of this area is established. 2) The under ground water and spring water demand of this area are calculated. 3) Through continuing discussion with parties, our proposal-based study is accepted in the public reuse plan of *Futenma*.

This work was supported by JSPS KAKENHI Grant Number JP24710168.

(2016年2月10日原稿受理, 2016年8月12日採用決定)