

機関番号：82111
 研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2008～2010
 課題番号：20780179
 研究課題名(和文) 亜熱帯の離島における農業活動が地下水・ため池の水質環境に及ぼす影響の解明
 研究課題名(英文) The effect of agriculture on water environment in a subtropical island
 研究代表者
 吉永 育生 (YOSHINAGA IKUO)
 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究所・企画管理部・業務推進室・企画チーム長
 研究者番号：50414220

研究成果の概要(和文)：沖縄県伊江島内の主要なため池では、生活系及び畜産系の負荷により富栄養化が進行していた。また、亜熱帯であるため冬季の気温が高く、*Microcystis*等の藻類が過剰に増殖しやすい環境であった。ため池の水質環境形成機構を明らかにし、水質改善対策手法を提示した。地下水の硝酸性窒素濃度の平均値は低下する傾向であった。農地の肥料と畜舎が主要な負荷源と推測された。流域内の発生窒素負荷量の22%が地下水へ溶脱していると推定された。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to analyze the effect of agriculture on water environment in a water-starved subtropical island. Most irrigation ponds were categorized as in eutrophic states and water blooms were observed. It is suggested that runoff from livestock is the main nutrient source. Rainfall runoff from farmland had few eutrophying effects on inflowing loads, because the runoff mainly consisted of roadway discharge and so relevant concentrations were low. Nitrate nitrogen concentrations of groundwater were high, assuming that the nitrate contamination originated from fertilizer and manure. The values and trends of nitrate concentrations at monitoring wells varied greatly. These results imply horizontal groundwater flow is not uniformly distributed and the each well gathers water from vicinal area. It was estimated that around 22% nitrogen output from human activity leached to the groundwater.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業土木学・農村計画学

キーワード：水質汚濁・水環境

1. 研究開始当初の背景

亜熱帯島嶼部では、水資源に乏しいことからため池が数多く築造され、農業用水源として利用されている。一般に、これらのため池

の窒素濃度は高く、藻類も増殖しやすいことから、かんがいによる作物への影響及び、かんがい利用後の浸透水による地下水汚染が懸念される。しかし、地下水・ため池の水質

環境と集水域内の農業活動の関連は不明な部分が多く、乾性降水物、降雨のみならず、生活排水や農畜産系排水なども含め、集水域内の水利用・土地利用を考慮した詳細な水文・水質環境調査が必要とされている。

畑作地帯や畜産地帯では、過剰な肥料の溶脱・流亡や、畜産排泄物の地下浸透によって、地下水の硝酸態窒素濃度の上昇や、周辺のため池等の栄養塩濃度の上昇が報告されており、ため池の集水域や水質環境の関係を扱った研究は増加傾向にある。しかしながら、これらの調査研究は温帯の本土において実施されており、亜熱帯島嶼部を対象とした研究は少ない。宮古島において土地利用と地下水の硝酸態窒素濃度との関係について報告がなされているが、定性的な分析であり詳細な解析には至っていない。

2. 研究の目的

亜熱帯島嶼部を対象として、集水域内の農業活動と地下水・ため池の水質との関係を明らかにし、持続的な水資源管理手法と最適な水利用方法を提案する。本研究で対象とする伊江島は23km²の島内に約20のため池があり、建設中の伊江地下ダムが集水域周辺には50を超える観測用井戸があり、それぞれの集水域が小さいため、集水域内の特徴が水質環境に反映されやすい。また、表面流去水の集まりであるため池と、地下浸透水の集まりである地下水の2系統の流出水の観測が可能である。このような伊江島の特徴を生かして、集水域内の土地利用や農業活動と地下水・ため池の水質環境の関係を把握し、持続的な水資源管理手法を提案する。

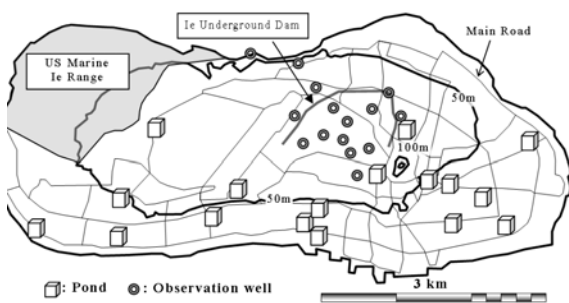


図1：対象とした沖縄県伊江島

3. 研究の方法

沖縄本島の属島である伊江島において、農業活動が周辺の水質環境に及ぼす影響を解明する。水質環境については、地下水とため池を対象として原則として6週間に1回の頻度で現地観測を行い、水質濃度の変動だけでなく、存在する負荷量の季節変動を把握する。また、ため池にて、出現する藻類種を把握する。ため池、地下水の集水域における農業活動については、現地踏査等により、集水域界

の確認を行うとともに、作目、営農時期、施肥量等の情報を収集し、それぞれの土地利用からの発生負荷量を整理する。また、地下水・ため池の調査地点のうち、代表的な地点、もしくは際だった特徴を有する地点を選定し、重点的な調査を実施する。

水質環境にかかる観測項目のうち、水温、pH、EC、DOは現地にてセンサーを用いた観測を実施し、各態の栄養塩類と有機物濃度、出現する藻類種等については、サンプルを持ち帰って分析を実施する。特定のため池については、流出入水量を推測できるよう、水位、ポンプ運転時間等の連続観測を実施する。

4. 研究成果

2008年4月から2010年2月の間に全17回（原則6週間に1回）の現地観測により、ため池と地下水の水質環境にかかる詳細なデータを収集し、データ解析を実施した。得られた結果を要約すると以下のとおりである。

(1) 島内の主要な17箇所のため池を詳細に観測したところ、それぞれの貯水量、集水域面積、滞留時間、栄養塩類濃度の平均値等の水質環境にかかる条件は、ため池毎に大きく異なっていた（表1）。17箇所のTOC（全有機炭素）の平均値は3~6mgL⁻¹であるが、最大値が10mgL⁻¹を超えるため池が7ヶ所あり全体的な傾向として有機汚濁が進行していることが確認された。ただし、栄養塩類濃度については、はT-Nで0.4~5.0mgL⁻¹で、T-Pで0.01~0.33mgL⁻¹であり、高濃度の値を示したのは少数のため池だけであった。

栄養塩濃度が低いにも関わらず、有機汚濁濃度が高い要因として、亜熱帯地域特有の豊富な日射環境、高い気温条件を背景とした*Microcystis*を主とした植物プランクトンの増殖が主因であることが明らかになった。

また、唐小堀ため池において実施した水位の連続観測結果と気象データを利用して、水収支と負荷収支にかかるモデル計算を実施した。負荷の発生過程をLQ式、堆積流送モデルのいずれかで再現しても、実測値と一致しなかった。この要因として、畜舎から排出される栄養塩が不定期に流出していることが考えられる。

表 1：ため池の水質環境の特徴

	集水域 (ha)	滞留時間 (日)	T-N 濃度 (mg・L ⁻¹)	TP 濃度 (mg・L ⁻¹)
アマギ	2.2	363	1.71	0.09
グスク	1.7	467	1.25	0.05
寺前 1号	33.1*	135	0.79	0.03
寺前 2号	0.8	905**	0.41	0.01
渡り地	0.8	583	1.50	0.08
復帰 1号	1.6	75	5.02	0.33
東江前	1.5	294**	1.62	0.06
ウミカ	3.3	265	2.66	0.17
ナガラ	2.7	137	1.71	0.11
ミースイ	4.5	276	2.10	0.15
下原	5.3*	107	2.38	0.14
カヤ	2.7	115	1.33	0.10
唐小堀	2.4	110	1.69	0.19
真謝	1.0	291	0.90	0.04
マタ	1.7	69	1.26	0.15
浜崎	2.8	171**	0.91	0.06
ウカバ	3.5	281	1.35	0.05

*集水域踏査が不可能のため、既存計測値。
**隣接するため池から水の供給があり、実際の滞留時間は、より短いと推測される。

(2) ため池への流入栄養塩の主な負荷源は、生活系と畜産系の排水であった。ため池への流入水の栄養塩類は、窒素濃度が 3.8～45.7mgL⁻¹、リン濃度が 0.31～2.25mgL⁻¹ であり、生活系と畜産系の排水が道路側溝を流れて流れ込むため池の多くでは、富栄養状態となっていた。一方、農地からの表面流出水がため池に到達する可能性は極めて低かった。これは、土壌の浸透性が高いことに加えて、道路のほうが農地よりも高い位置に敷設してあり、道路側溝へ流入する可能性が低いからである。これらを考慮して、それぞれのため池毎の水質改善対策を提示した(表 2)。

表 2：有効と考えられる水質改善対策手法

	有効と考えられる水質改善対策
アマギ	栄養塩濃度は比較的低く、対策は不要。
グスク	通信所周辺の雨水の導入による希釈。
寺前 1号	栄養塩濃度は比較的低く、対策は不要。
寺前 2号	栄養塩濃度は低いですが、北西側の畜舎排水の流入が懸念される。
渡り地	北西流域の畜舎排水の流入抑制。
復帰 1号	上水道の処理余剰水の流入抑制。
東江前	生活排水の流入抑制。復帰 1号ため池の余剰水が流入するため、復帰 1号の水質改善。
ウミカ	生活排水の流入抑制。
ナガラ	北側流域の畜産排水の流入抑制。
ミースイ	生活排水の流入抑制。隣接するカヤため池の集水域を変更し、雨水の導入による希釈。
下原	生活排水が不可避免的に流入する状況であるため、水質改善は難しい。
カヤ	栄養塩濃度は比較的低く、対策は不要。
唐小堀	畜舎排水と生活排水の流入抑制。
真謝	栄養塩濃度は比較的低く、対策は不要。
マタ	栄養塩濃度は比較的低く、対策は不要。
浜崎	栄養塩濃度は比較的低く、対策は不要。
ウカバ	栄養塩濃度は比較的低く、対策は不要。

(3) 建設中の地下ダム集水域内の硝酸態窒素濃度は平均 7.8mgL⁻¹であった。また、調査期間内では平均値は低下する傾向を示した(図 2)。ただし、必ずしも一様の傾向を示したわけではなく、局所的に窒素濃度が高いところ、逆に低いところが観測された(図 3)。地質構造は一様に多孔質の石灰岩であるものの、地下水の流下傾向が一様ではなく、亀裂等を介した卓越する流れが存在することが考えられた。

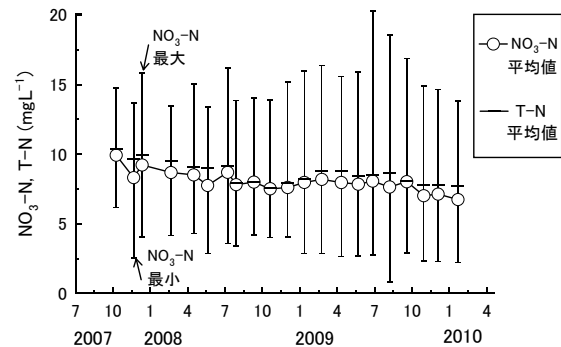


図 2：地下水の窒素濃度の推移

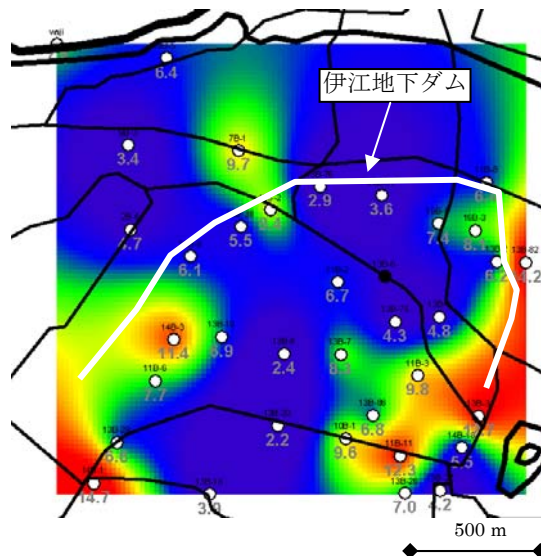


図 3：地下水の硝酸態窒素濃度 (mgL⁻¹) (2009 年 1 月)

(4) 地下ダム集水域を対象とした現地踏査により、集水域内に約 400 の区画が存在し、主にサトウキビ、葉たばこ、牧草が栽培され、牛は 97 頭が飼養されていた。集水域内の発生窒素負荷量は、原単位法を適用して年間 32.7t と算定された(表 3)。降雨の地下浸透率(40%、農水省地下ダム計画値)を用いて試算すると、発生窒素負荷の地下水への溶脱率は 22%と推定された。

表3：集水域内の作付と発生負荷量

作付など	面積 (ha)	施肥量 (kg/10a)	発生負荷量 (t)
サトウキビ	32.4	24.0	7.8
葉たばこ	25.5	12.0	3.1
牧草	21.1	25.0	5.3
鳥らつきょう	5.3	28.8	1.5
その他野菜	13.6	29.7*	4.0
降雨負荷	—	—	0.8
牛	97頭	105.9kg/頭	10.2
合計			32.7 t

*芋、菊、トウガンの平均値。

(5) 地下ダム集水域内における発生窒素負荷量は、ほぼ一様であり、地下水の硝酸態窒素濃度の空間的分布との間に明確な相関は認められなかった。また、畜舎からの負荷排出経路を特定するため、複数の観測井戸にて窒素同位体比を観測したものの、窒素濃度及び畜舎の位置関係の間に明確な相関は見いだせなかった。

(6) 現在の地下水の硝酸性窒素濃度は、環境基準を満たしており、かつ漸減傾向を示している。しかし、今後地下ダムの供用等を契機とした新規作物の導入が予想される。その場合、特に地下ダムの集水域においては、窒素投入量の約2割が地下へ流亡することを考慮して、営農指導を実施することが望まれる。

謝辞：本研究の実施において、伊江村役場、沖縄総合事務局伊江農業水利事業所の関係者にご協力頂いた。ここに記して感謝の意を表します

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

- ① 吉永育生、原貴洋、原口暢朗、山口典子、生駒泰基：伊江島での調査研究と研究発表会「ソバ栽培と水質について」報告、沖縄農業、43(1)、2009.08、pp.79-84、査読有

〔学会発表〕(計8件)

- ① YOSHINAGA Ikuo, SHIMA Takeo, & IKOMA Hiroki: Water quality environment of irrigation ponds and groundwater in the subtropical Ie island, 2010 International Joint Symposium between NIRE, CERI (Japan) and IEGS (Korea), 2010年11月1日、沖縄県那覇市
- ② YOSHINAGA Ikuo, SUMI Hidekazu, HAMADA Koji, SHIMA Takeo, & IKOMA Hiroki: Nitrate contamination of

groundwater in a limestone Island, *International Conference on Diffuse Pollution and Integrated Watershed Management (IWA)*, 2009年10月14日、韓国ソウル市

- ③ YOSHINAGA Ikuo, SUMI Hidekazu, SHIMA Takeo, & IKOMA Hiroki: Nitrate Contamination of Irrigation Ponds in a Limestone Island, *International Conference on Diffuse Pollution and Integrated Watershed Management (IWA)*, 2009年10月13日、韓国ソウル市

- ④ 吉永育生、住秀和、原口暢朗、生駒泰基：琉球石灰岩地域における地下水の硝酸態窒素濃度、農業農村工学会全国大会、pp.278-279、2009年8月5日、茨城県つくば市

- ⑤ 吉永育生、住秀和、小笠原敬、原口暢朗、生駒泰基：伊江島の農業用ため池の水質環境の特徴、沖縄農業研究会第47回大会、2008年8月8日、沖縄県糸満市

- ⑥ YOSHINAGA Ikuo, SUMI Hidekazu, KUBOTA Tomijiro, HARAGUCHI Noburo, & IKOMA Hiroki: Water quality environment of ponds and groundwater in subtropical island, *12th International conference on integrated diffuse pollution management (IWA DIPCON 2008)*, 2008年8月26日、タイ国コンケン

- ⑦ 吉永育生、住秀和、小笠原敬、原口暢朗、生駒泰基：伊江島のため池の水質環境と降雨時の流入負荷、第89回農業農村工学会九州支部講演会、2008年10月30日、沖縄県那覇市

- ⑧ 吉永育生、住秀和、久保田富次郎、原口暢朗、生駒泰基：亜熱帯離島におけるため池と地下水の水質環境、平成20年度農業農村工学会大会講演要旨集、pp.958-959、2008年8月27日、秋田市

6. 研究組織

(1)研究代表者

吉永 育生 (YOSHINAGA IKUO)

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究所・企画管理部・業務推進室・企画チーム長

研究者番号：50414220