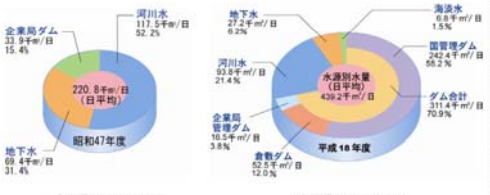
沖縄と地下水

1. 沖縄県の降水量

○年間降水量の平年値では、東京の平年値1,467mmに比べ、那覇の平年値2,037mmは、約1.4倍と多い。降水量は、梅雨期(5月6月)と台風期(8月9月)に多い

出典:沖縄総合事務局

2. 沖縄の水資別取水



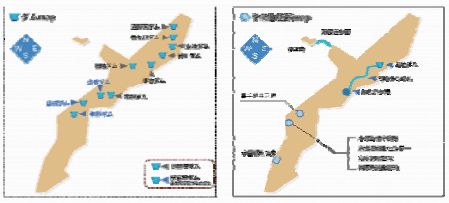
沖縄県の人口(S47)
959, 615人

沖縄県の人口(H18)
1, 368, 137人

○昭和47年度には地下水の利用が、全体の31%を占めていましたが、現在(平成18年度)では、全体の6.2%と減少
○しかし、今後の気候変動に伴う台風の経路の変化などから、安定的に供給可能な地下水の水資源としての重要性が見直されてきています

出典:沖縄県統計年鑑、企業局概要

3. 沖縄の水資と施設



○企業局の水源は、ダム、河川水、海水(海水淡水化)の4種類
○沖縄県の地理的要因等から、水源が小規模で北部地域に偏在している一方、人口が集中している中南部地域で水を多く消費
○企業局では、安定給水を図るため、主に北部地域の理解と協力のもと、水源開発を進め、貴重な水を取水

出典:沖縄県企業局ホームページより

4. 昔の地下水利用

○沖縄の村落には「村ガー」と呼ばれる湧水や井戸があります。この村ガーは、たいていその村に2、3カ所あって、長い間沖縄の人々の生活を支える重要な水源となってきました。
○これらの多くは、そこに人間が住みつき、にとびとの生活が始まった「村落の発生」と強い関係があります。琉球の先史時代(日本の縄文時代から奈良、平安時代に相当)、琉球列島では人々はまだ採貝、狩漁の生活を続けていたとみられています。この時代、人々は湧水を求めて移動し、泉がみつかるとその近くに移住したものと考えられています。
○糸満市米須海岸にある米須貝塚と「スーガー(潮川)」、玉城村百名海岸にある「浜川、受水走水(うきんじゅはいんじゅ)」を始め、宜野湾市や読谷村の海岸、具志川、元部、今帰仁、久米島、八重山、宮古などで多数みつかっています。

(出典:『写真集』水のいまむかしより)

スーガー(潮川)

・貝塚時代(約2000年前)にも利用されていたとみられる湧水です。万丁になると海水面に没してしまいますが、干潮になると勢い良く水が湧き出だします。潮に関係があるため「潮(スー)ガー」と呼ばれているものと思われます。
(出典:『写真集』水のいまむかしより)

浜川、受水走水(うきんじゅはいんじゅ)

・沖縄島に最初の人(アマミキヨ)が上陸した場所と伝えられる玉城村百名の浜の近くにある湧水です。
・浜川御嶽はこのマッミキヨが浜に上陸して、その後ミントングスクに移り住むまでの間、仮住していた場所といわれ、また、受水走水はその頃の古代人が初めて稲をうた場所と伝えられています。
(出典:『写真集』水のいまむかしより)

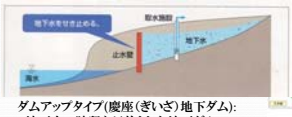
垣花樋川(かきのはなひーじゃー)

・昭和60年に環境省日本名水百選に選出された。
・右側から出る水を男(イキガ)川、左側から出る水を女(イナグ)川という。その下流の浅い水たまりが、馬浴(ウマアミシー)川で、馬に水を飲ませたり、体を洗ったりしていた。昔は水田を潤し、今は飲料水や生活用水に利用されている。

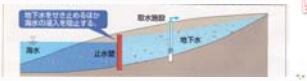
5. 現在の地下水利用

○IPCCの4次報告書によると、沖縄のような島嶼部では、気候変動に伴う脆弱性がきわめて高いとされており、今後、安定的に供給可能な水資源となる地下水の持続的な利用・開発が極めて重要であるとされています。
○常に水不足に悩まされてきた沖縄において、農業を営む上での水資源の確保は重要な課題でした。「水なし農業」から脱却し、安定した水の供給を実現するために、地下ダムが建設されました。
○主に、琉球石灰岩地域に施工され、沖縄本島南部地域においても地下ダム(米須・慶座地下ダム)が築造されており、農業用水として地下水が活用されています。

地下ダムの種類



ダムアップタイプ(慶座(ぎいざ)地下ダム):
地下水の貯留を目的とした地下ダム



塩水侵入防止タイプ(米須地下ダム):
塩水(海水)の侵入防止と地下水の貯留を目的とした地下ダム

沖縄県における地下ダム建設地

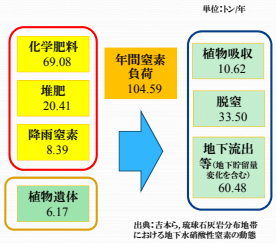
塩水侵入防止型
止水壁の長さ: 2,320m,
最大深度 -69.4m
止水壁の標高: 4m
貯水面積: 3.86 km2
貯水量: 3.5 million m3

ダムアップ型
止水壁の長さ: 969m,
止水壁の標高: 28m
貯水面積: 1.21km2
貯水量: 0.3 million m3

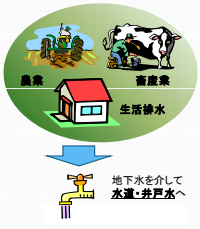
■ 沖縄本島南部地域(糸満市・八重瀬町)は、琉球石灰岩を表層地質とする段丘地形によって特徴づけられる畑地農業地帯(基幹作物:サトウキビ)
■ 国営沖縄本島南部水利事業(1992～2005年)の地下ダム築造(米須・慶座)等によって水資源開発が進められ、1,352haの畑地に地下水が灌漑用水として利用

6. 懸念されている課題点

1. 人間活動に伴い地下水の水質が汚染させているのでは？
2. 地下ダムに貯留された地下水の水質は悪化しているのか？
3. 地下水を浄化することは可能か？
4. 地下水が海域へ流出することによりサンゴなどの沿岸生態系への影響はないのか？
5. 気候変動に伴い降水量や地下水は減少するのか？
6. 海面上昇や降水量の減少に伴う地下水の塩水化の拡大？



出典:吉本5, 琉球石灰岩分布地帯における地下水硝酸性窒素の動態



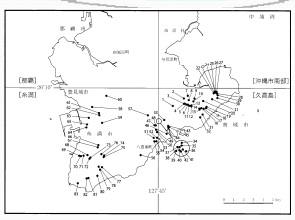
私たちの研究室では、これらの問いに答えを出すべく研究を行っています

沖縄本島南部地域における地下水の水量・水質に関する研究

1. 調査地域概要

沖縄本島南部地域に分布する湧水

沖縄本島南部の地質図



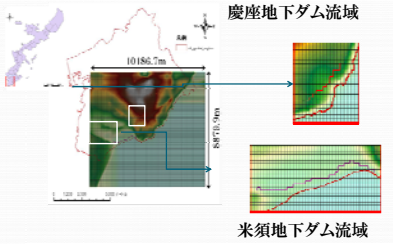
沖縄本島南部の鍾乳洞や空隙の分布

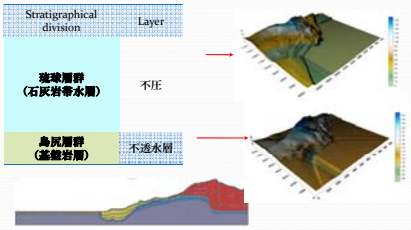
沖縄本島南部の空洞状況

- 沖縄本島南部地域には、琉球層群とよばれる石灰岩（琉球石灰岩）が分布するカルスト地形
- ケーブやシンクホールと呼ばれる大きな空隙が多数分布しているのが特徴
- カルスト帯水層における地下水の管理や保護を行うためには，複雑な地質構造や地下の間隙のネットワークを把握することが必要
- 層流と乱流が発生している場所や，それに伴う汚染物質等の湧水や井戸に向かう非常に速い輸送特性を十分に把握することが重要

2. 数値解析

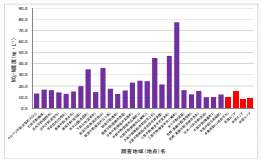
沖縄本島南部地域の地下ダム流域における地下水管理を適切に行うため、地下水流動場を把握することを目的





- 解析コード:MODFLOW-NWT，MODFLOW-2005
- グリッドサイズ: (x, y) 50m
- 地下ダムの効果は透水性の低い層(1.0×10^{-7}cm/sec)を挿入
- 地下水涵養量: 0.003m/day
- 帯水層を琉球層群に限定し，島尻層群を水理基盤岩（水を通さない層）

3. 地下水の水質（硝酸性窒素）調査



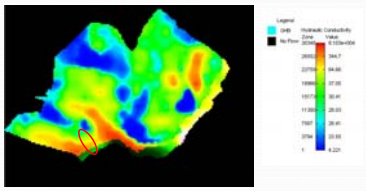
全国の地下水における硝酸性窒素（NO_3-N）濃度の状況

- 農業活動に伴う地下水汚染の代表的なものとしては，硝酸性窒素や亜硝酸性窒素による汚染があげられる．
- 硝酸性窒素を含んだ飲料水が体内に入ると，体内でメトヘモグロビン血症という，死にもつながる酸素欠乏状態を誘因するとされており(Featrell, 2004)，
- 世界保健機関(WHO: World Health Organization)とヨーロッパ連合(EU: European Union)では，飲料水の水質基準を50mg-NO3-/L(806μM-NO3-)，
- 我が国とアメリカ合衆国では10mg-N/L(714μM-NO3-)と定めている．
- 硝酸性窒素の供給源は，農業活動に伴う肥料成分や畜産系・生活系の排せつ物が主で，特に，上述したような発展途上国において，硝酸性窒素による地下水汚染が非常に深刻な問題。

○そこで、地下ダム流域内に存在する約200地点の井戸で、地下水中の硝酸性窒素濃度を、1992～2005年にかけて実施された調査結果を基に、沖縄本島南部地域における地下水中の硝酸性窒素濃度の変動特性について検討

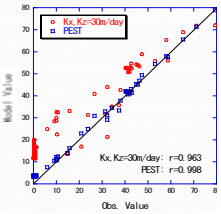
4. 結果及び考察

①PEST（Parameter ESTimation code）5th Edition（Doherty, 2002）を用いて推定した透水係数の分布

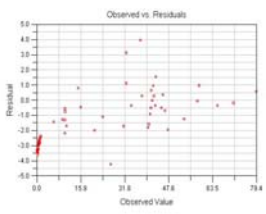


ケーブが分布

②地下水位の観測値 vs. 計算値との比較

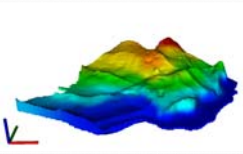


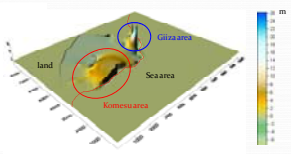
観測値と計算値の比較



計算誤差と観測値の比較

③地下水流動解析結果と地下ダム築造による地下水位への影響評価

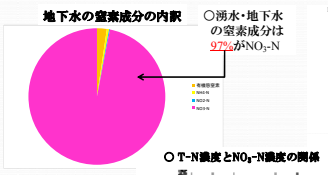


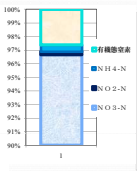


- 来須地下ダムの影響は比較的広範囲にわたり，地下水位変化は最大6m程度
- 慶座地下ダムの影響範囲は比較的小さいが，地下水位変化は最大20m程度
- 地下ダム建設前のモデル系外（海域に相当）への地下水流出量は約9,5000トン/日
- 地下ダム建設後のモデル系外（海域に相当）への地下水流出量は約8,4000トン/日
- 地下ダムによって約1,1000トン/日の地下水流出量が減少

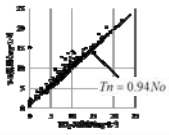
- 透水係数は，4.2m/day~8.1 x 10^{4}m/dayの範囲に分布しており，430,348種類
- 透水係数が高い西部沿岸域の来須，山城地区では，現場揚水試験により推定された透水係数がそれぞれ30m/day，100m/dayと比較的高く，ケーブ等の空洞の分布も確認されており，このことはPESTによる推定結果を支持
- 計算値と観測値の地下水位はよく対応しているが，海岸付近で誤差が大きくなる傾向

④地下水中の窒素成分の内訳

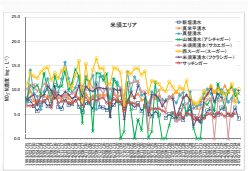




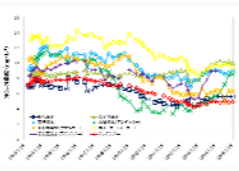
○ T-N濃度とNO_3-N濃度の関係



⑤地下水中の硝酸性窒素の経時変化

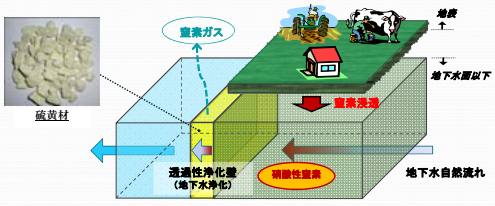


NO_3-Nの経時変化



NO_3-Nの長期的変化傾向

- 本地域の地下水中の窒素成分は，硝酸性窒素がほとんど
- 地下水中の硝酸性窒素の変動は，短期的に大きく変動する場所と比較的安定的は変動を示す場所が存在
- 地質構造の不均一性が原因か？
- 全体的には，一時減少傾向がみられたが，近年，横ばい又は上昇する傾向

5. 今後の対応

○ 硝酸同位体法を用いた汚濁負荷源の特定
○ 地下水の浄化技術の開発