

# サンゴ礁生態系に及ぼす 陸由来物質の影響 -とくに化学肥料による富栄養化と酸性化-

東京農業大学 中西康博

環境省主催「サンゴ大規模白化緊急対策会議」

@沖縄科学技術大学院大学

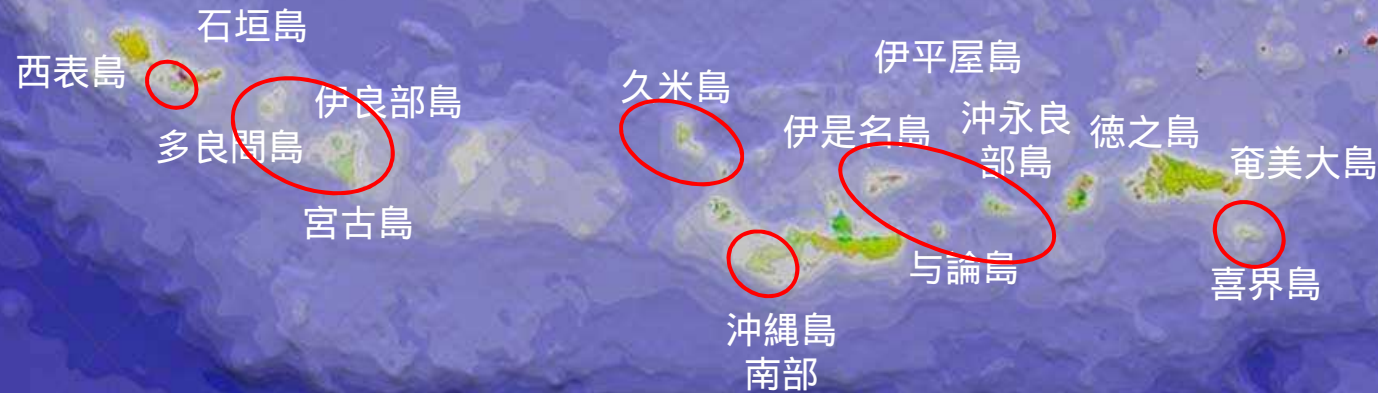
2017年4月23日

# サンゴ礁生態系に及ぼす陸由来物質の影響

## -とくに化学肥料による富栄養化と酸性化-

- \* 「サンゴの島」の環境特性
  - \* 水環境(地下水, サンゴ礁海域)は人間活動の影響を受けやすい
- \* 「サンゴの島」の基幹作物, サトウキビの栽培における問題点
  - \* 不適切な時期に施肥をしている
- \* 「サンゴの島」における地下水の富栄養化と, サンゴ礁生態系へのインパクト
  - \* 不適切な施肥は, 結果的にサンゴ礁海域の富栄養化と酸性化を促進する
- \* 対策は？

	島の成因	地形	地質	土壌	水文	土地利用
高島	大陸性 火山性	山地 大起伏	古期岩 火山岩	低pH	河川水	局所的 沿岸・台地
低島	サンゴ礁 大陸性	平坦 小起伏	琉球石灰岩 島尻層群	高pH	地下水	全域的



「低島」では土地利用・人口密度が高い→人間活動由来栄養物質の高負荷化→地下水汚染→サンゴ礁海域汚染

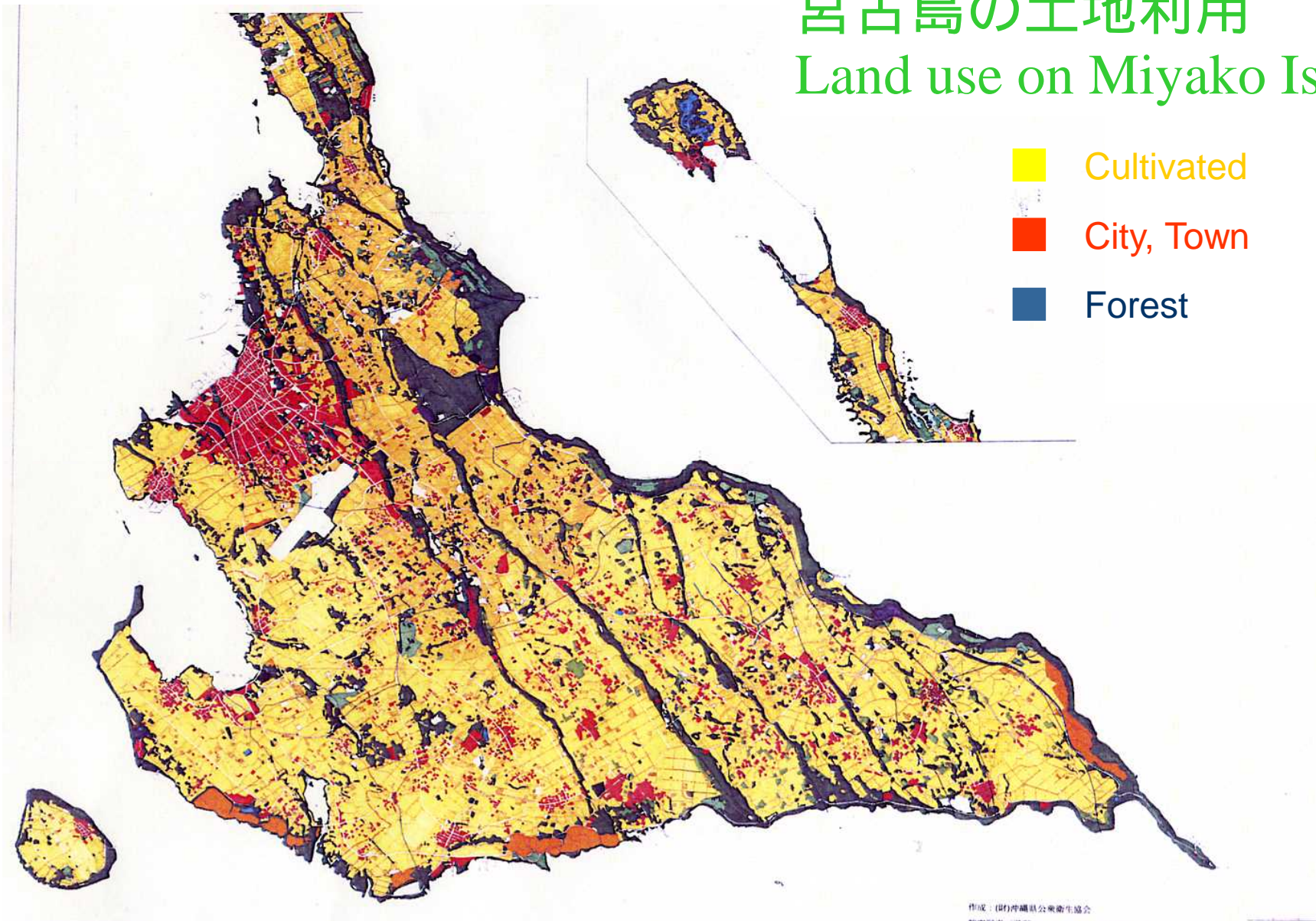
表2 南西諸島の高島と低島における耕地率と人口密度の違い  
(中西、2012)

	市町村名	面積 (km <sup>2</sup> )	耕地率 (%)	人口密度 (人/km <sup>2</sup> )	主な島嶼名
高島	奄美市	308.2	8.8	149.7	奄美大島
	竹富町	334.0	5.0	11.6	西表島
低島	喜界町	56.9	38.3	143.5	喜界島
	宮古島市	204.6	53.8	254.4	宮古島

資料出所：奄美市は2012年市勢要覧資料編、竹富町と宮古島市は沖縄県統計年鑑(平成23年度版)、喜界町は町勢要覧資料編(平成22年度版)。



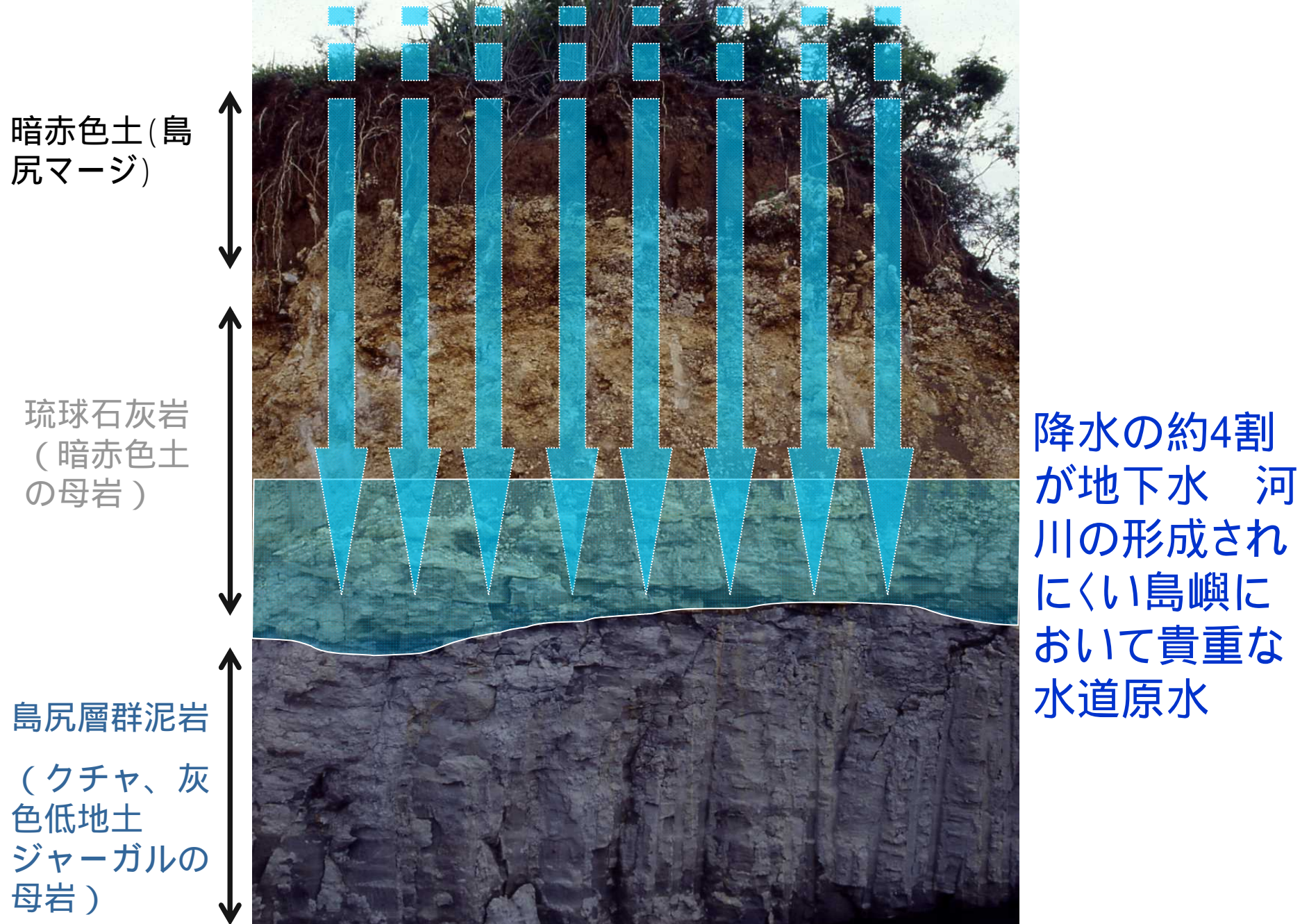
# 宮古島の土地利用 Land use on Miyako Is.

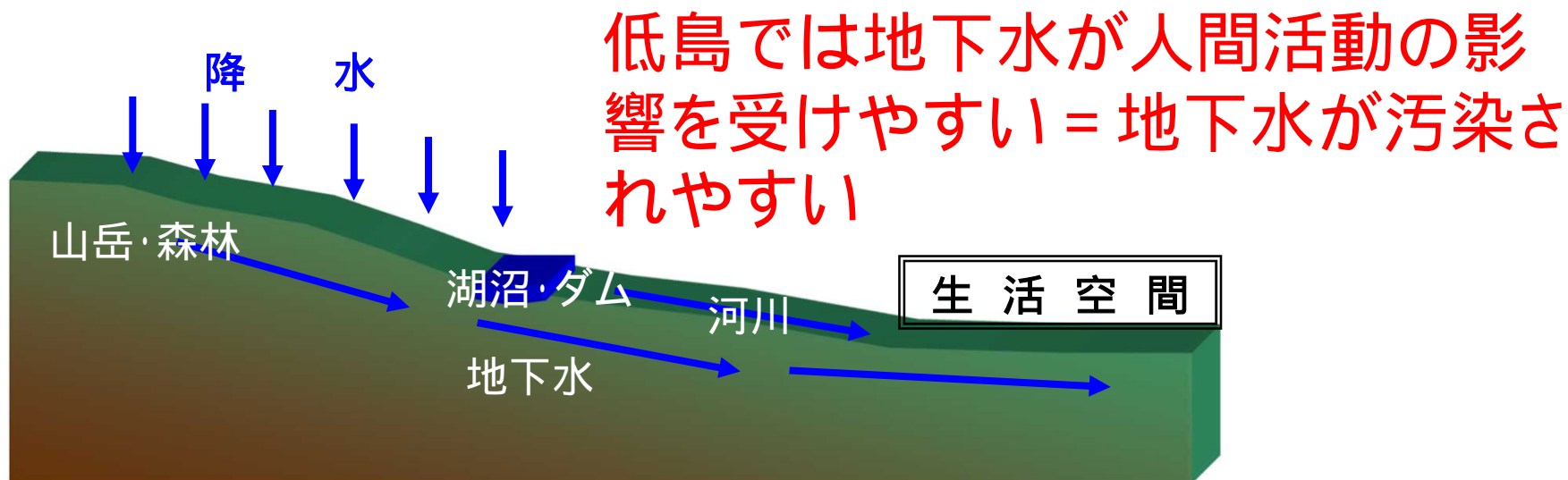


宮古島の森林率はわずか15% 広域的な土地開発の進展

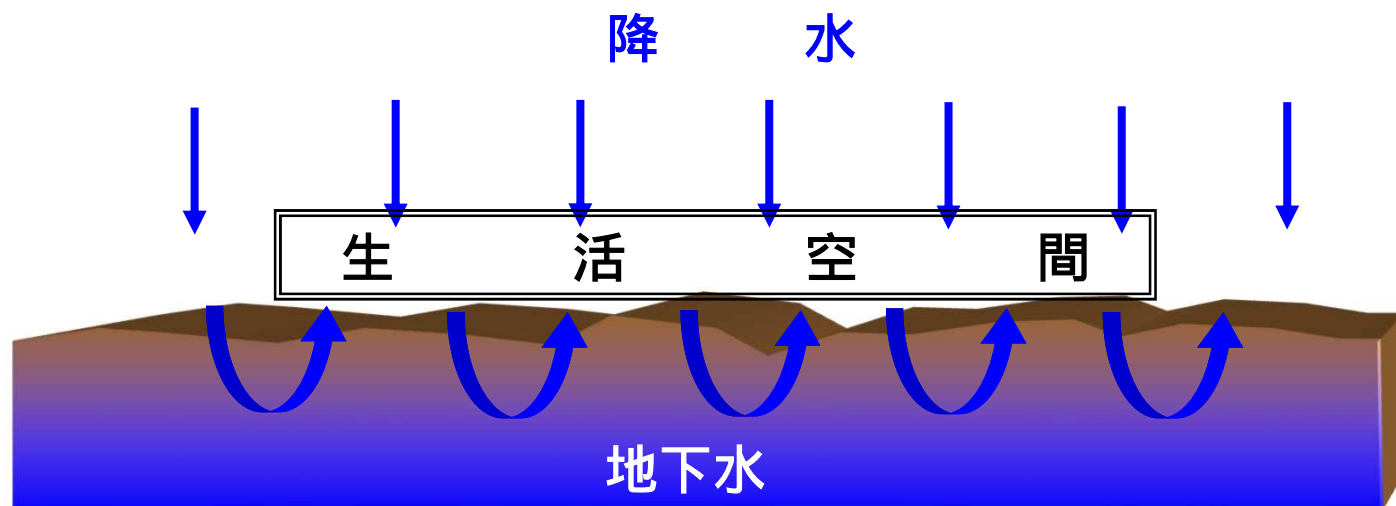


図 宮古島の典型的な地質断面と地下水涵養機作

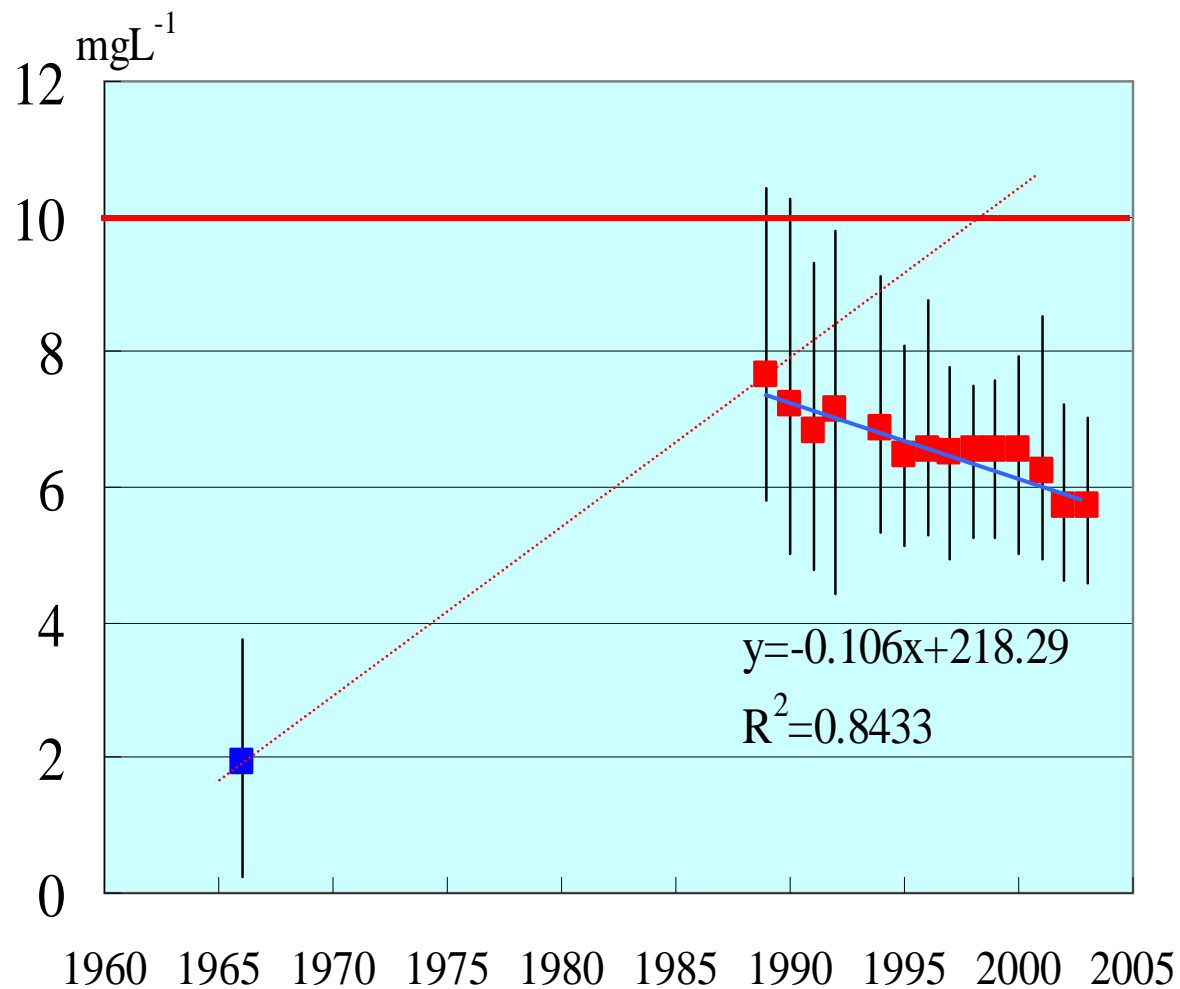




後背山地のある地域：集水域 ≠ 生活空間



低平な島嶼地域：集水域 = 生活空間



## 図 宮古島における地下水の硝酸態窒素濃度の推移

1966年の値は琉球政府の調べた21地点の分析結果を示した。1989年以降(1993年を除く)は宮古島全域の13地点から毎月採水された地下水中の硝酸態窒素濃度の年度別平均値を示した。たて棒は13地点中の最大・最小平均値。



## 地下水の硝酸態窒素濃度が高くなっている例(沖縄県多良間島)

### 多良間島

面積: 19.7km<sup>2</sup>

人口: 約1,400人

年降水量: 約2,000mm

年平均気温: 23.8

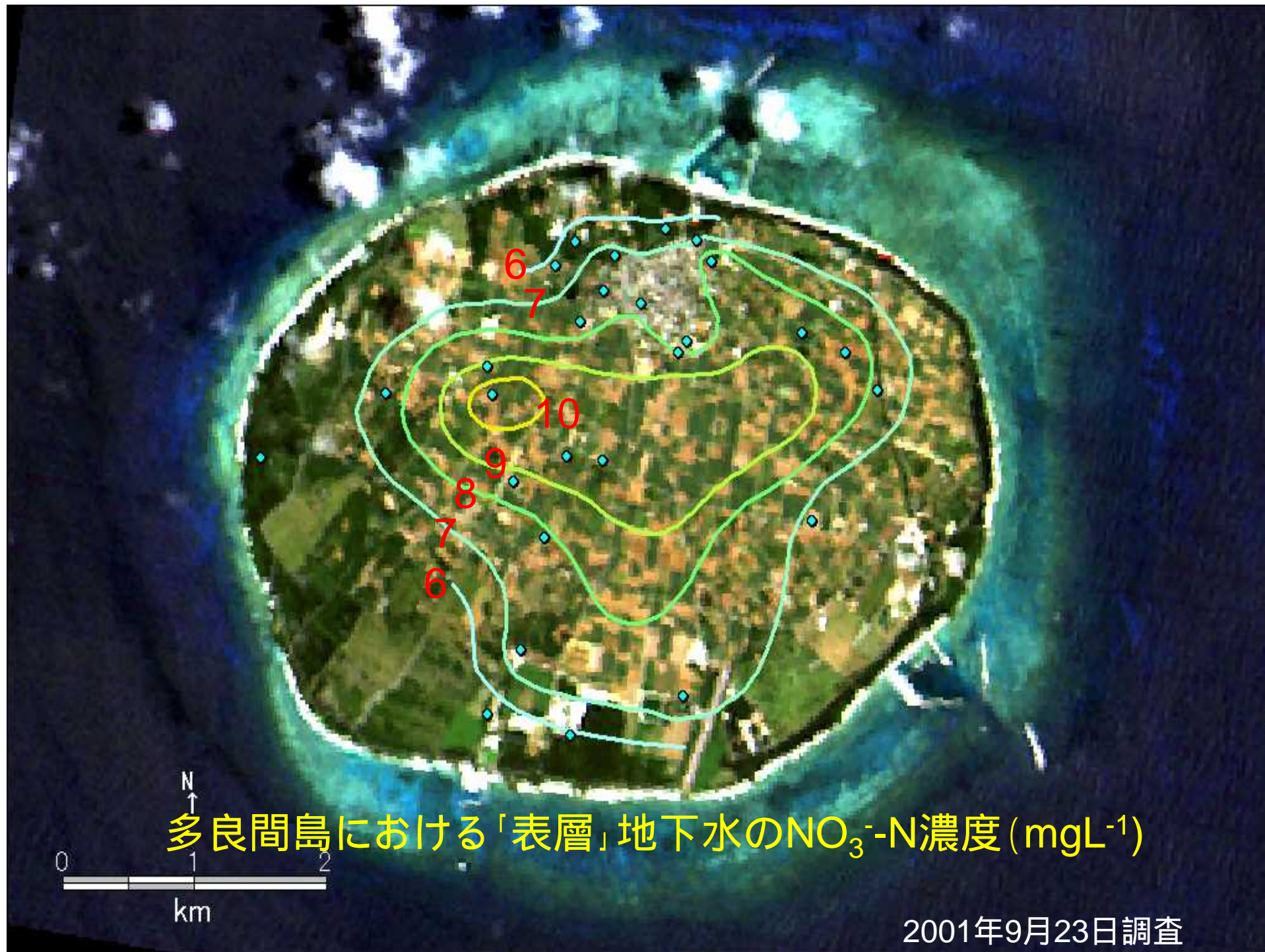
(最高標高: 34m)

サトウキビ栽培面積: 約5.3km<sup>2</sup>

牛飼養数: 約3,700頭



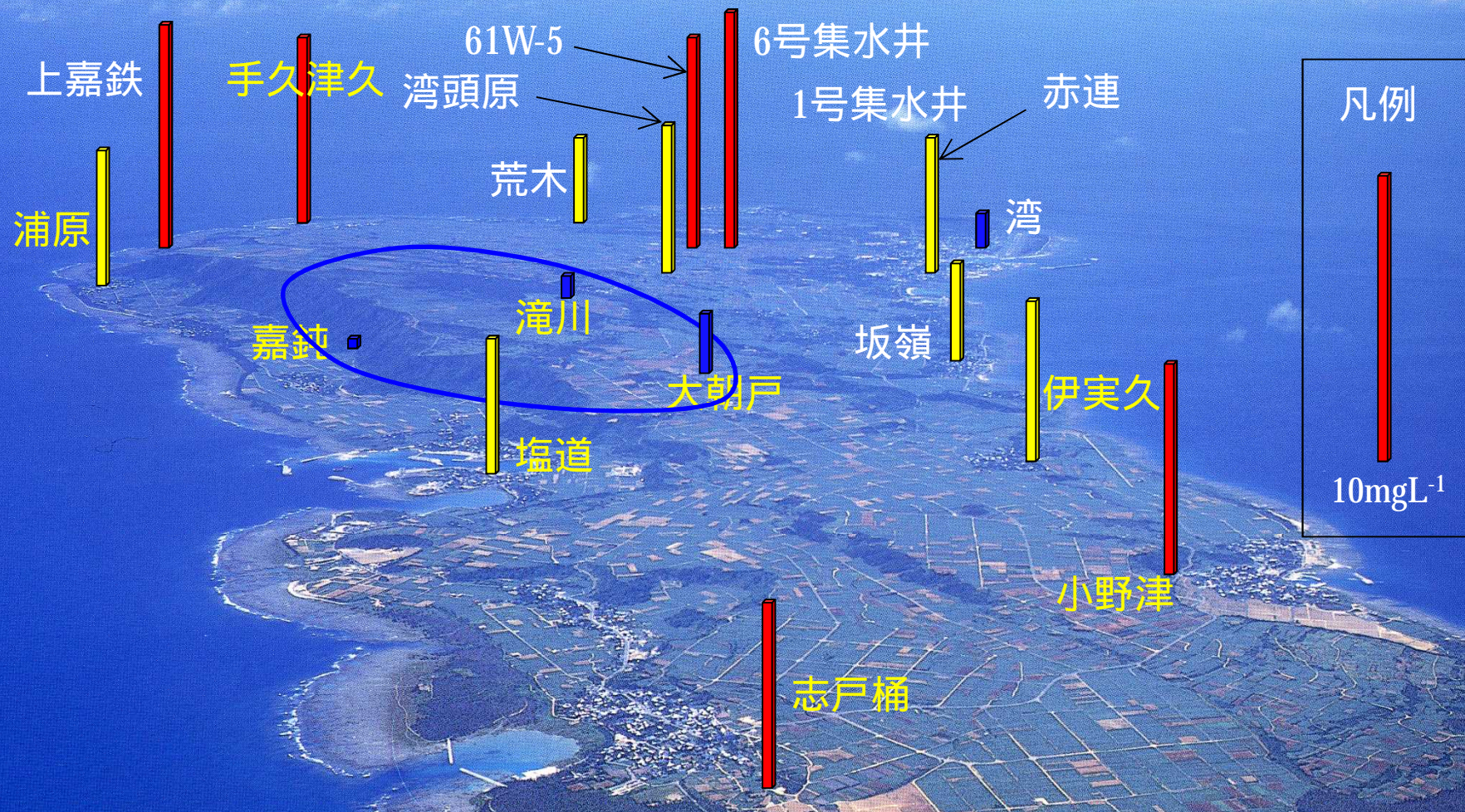




多良間島における「表層」地下水のNO<sub>3</sub>-N濃度 (mgL<sup>-1</sup>)

2001年9月23日調査





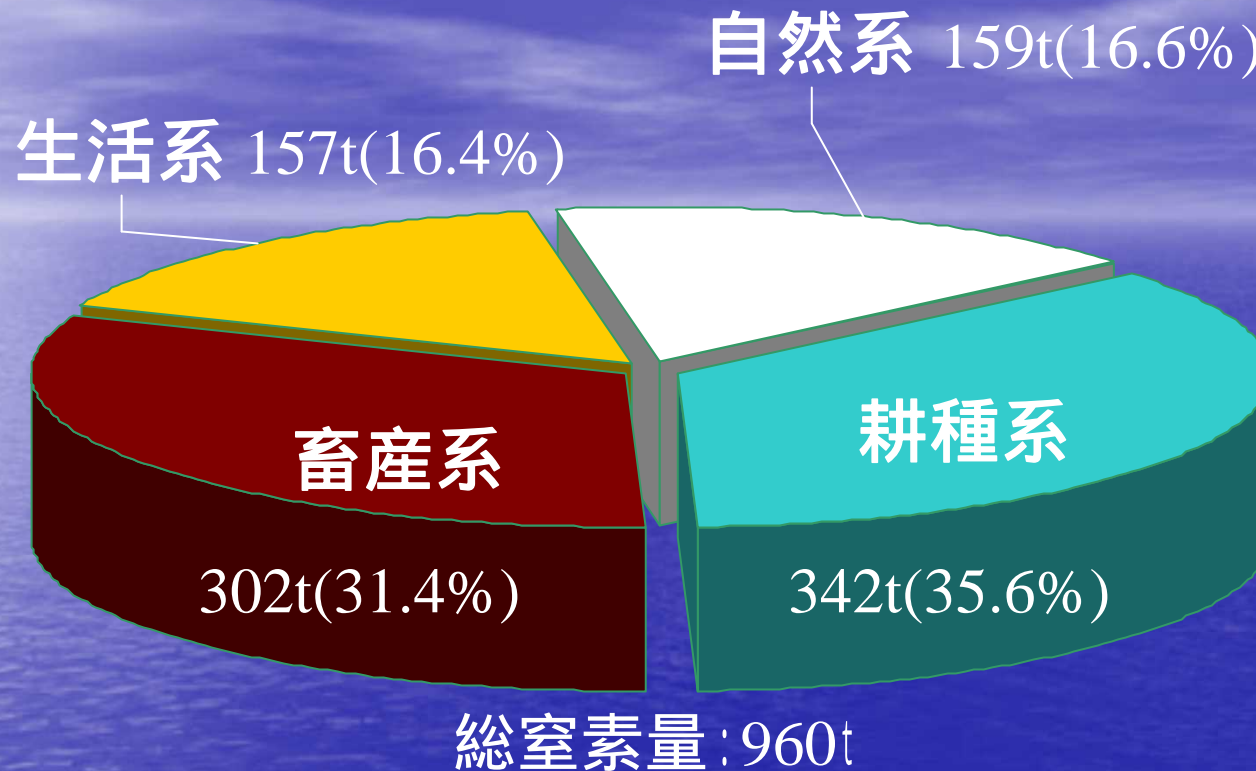
## 喜界島における地下水の硝酸態窒素濃度

2000年5月～2010年1月の月1回の測定平均値を示した。

便宜的に、6mgL<sup>-1</sup>以上を赤、2～6mgL<sup>-1</sup>を黄、2mgL<sup>-1</sup>以下を青色の棒で示した。



# 地下水に含まれる硝酸態窒素の起源は？



宮古島の地下水に負荷された年窒素量 -  
1998年度

地下水に含まれる窒素の大半は  
農業活動に由来する

# 与論町における サトウキビの施肥等に関するアンケート調査

主な目的:

使用されている化学肥料の種類  
施肥室素量  
施肥時期

を明らかにし、現行における施肥効率の評価とその改善案を考える

実施時期: 2010年末 ~ 2011年初頭

回答数: 388

協力: 与論町

同様の調査を宮古島と喜界島でも実施

サトウキビの施肥等に関するアンケート調査

調査者名:	_____	受理番号	—
-------	-------	------	---

このアンケート調査は、与論島で栽培されるサトウキビの増収と地下水をきれいにすることを目的とした調査・研究の一部です。この調査で得た情報については、個人が特定されるような公表は一切致しませんので、ご協力をよろしくお願い致します。

1. おたくでサトウキビ栽培を中心に行っている方の氏名、性別、年齢、住所、職業をおしえて下さい。

氏名:	_____	男・女	年齢:	才	職業:(専業・第1種兼業・第2種兼業)
住所: 与論町 大字	_____	番地の	_____	_____	_____

2. 現在、おたくで栽培しているサトウキビの植付時期、栽培型、栽培面積をおしえて下さい。

注: 栽培面積の単位は反(107㎡)で答えて下さい。

植付時期	栽培型	栽培面積(反)	植付時期	栽培型	栽培面積(反)
平成 年 月	春植・夏植・秋植・株出	反	平成 年 月	春植・夏植・秋植・株出	反
平成 年 月	春植・夏植・秋植・株出	反	平成 年 月	春植・夏植・秋植・株出	反

3. おたくのサトウキビ栽培で行っている施肥について、通常の施肥時期、肥料の種類、施肥量を、栽培型別におしえて下さい。

注: 施肥時期の回答欄には、月の数字と、(上・中・下)旬のいずれかを○でかこんで下さい。(例: 8月上旬)  
注: 化学肥料の施肥量は反(107㎡)当りの量を、「kg」か「肥料袋の数」のどちらかで答えて下さい(回答欄のkg・袋のどちらかに○)

春植の場合	施肥時期	化学肥料の種類	施肥量(107㎡当り)
植付する前(基肥)	月(上・中・下)旬	BB538・NK80・硫安・BB880・BB880DX・その他( )	kg・袋
植付時	月(上・中・下)旬	BB538・NK80・硫安・BB880・BB880DX・その他( )	kg・袋
平培土時	月(上・中・下)旬	BB538・NK80・硫安・BB880・BB880DX・その他( )	kg・袋
高培土時	月(上・中・下)旬	BB538・NK80・硫安・BB880・BB880DX・その他( )	kg・袋
その他の時期	月(上・中・下)旬	BB538・NK80・硫安・BB880・BB880DX・その他( )	kg・袋

夏植の場合	施肥時期	化学肥料の種類	施肥量(107㎡当り)
植付する前(基肥)	月(上・中・下)旬	BB538・NK80・硫安・BB880・BB880DX・その他( )	kg・袋
植付時	月(上・中・下)旬	BB538・NK80・硫安・BB880・BB880DX・その他( )	kg・袋
平培土時	月(上・中・下)旬	BB538・NK80・硫安・BB880・BB880DX・その他( )	kg・袋
高培土時	月(上・中・下)旬	BB538・NK80・硫安・BB880・BB880DX・その他( )	kg・袋
その他の時期	月(上・中・下)旬	BB538・NK80・硫安・BB880・BB880DX・その他( )	kg・袋

秋植の場合	施肥時期	化学肥料の種類	施肥量(107㎡当り)
植付する前(基肥)	月(上・中・下)旬	BB538・NK80・硫安・BB880・BB880DX・その他( )	kg・袋
植付時	月(上・中・下)旬	BB538・NK80・硫安・BB880・BB880DX・その他( )	kg・袋
平培土時	月(上・中・下)旬	BB538・NK80・硫安・BB880・BB880DX・その他( )	kg・袋
高培土時	月(上・中・下)旬	BB538・NK80・硫安・BB880・BB880DX・その他( )	kg・袋
その他の時期	月(上・中・下)旬	BB538・NK80・硫安・BB880・BB880DX・その他( )	kg・袋

株出の場合	施肥時期	化学肥料の種類	施肥量(107㎡当り)
植付する前(基肥)	月(上・中・下)旬	BB538・NK80・硫安・BB880・BB880DX・その他( )	kg・袋
植付時	月(上・中・下)旬	BB538・NK80・硫安・BB880・BB880DX・その他( )	kg・袋
平培土時	月(上・中・下)旬	BB538・NK80・硫安・BB880・BB880DX・その他( )	kg・袋
高培土時	月(上・中・下)旬	BB538・NK80・硫安・BB880・BB880DX・その他( )	kg・袋
その他の時期	月(上・中・下)旬	BB538・NK80・硫安・BB880・BB880DX・その他( )	kg・袋

4. 先回の収穫期(平成22年1月から3月)に、おたくで収穫したサトウキビの総面積と収穫量および平均糖度をおしえて下さい。

総収穫面積	総収穫量(トン)	平均糖度(%)
_____	_____ トン	_____ %

5. サトウキビに用いる肥料には、ゆっくりと効く緩効性肥料(BB880、BB880DXなど)という肥料があります。

この緩効性肥料について、次のうちあてはまるものすべてに○をしておしえて下さい。

緩効性肥料を(現在使っている・以前は使っていたが現在は使っていない・使ったことがない・一度使ってみたいと思う・知らない)  
緩効性肥料を使って、(サトウキビの収穫量が増えた・収穫量は変わらない・収穫量が減った)  
緩効性肥料は高いので使わない・緩効性肥料は使い方がわからないので使わない  
その他(緩効性肥料について何かご意見があれば自由にお答え下さい。)

6. 与論町の水道水には全て地下水が使われていますが、その地下水の水質にサトウキビの肥料が影響することを知っていますか?

知っている ・ 知らない

7. 与論町の地下水やサンゴ礁などの環境を保全することに関する自由なご意見をお聞かせください。(紙面が不足する場合には裏面に記入して下さい)

ご協力どうもありがとうございました。与論町役場

# 夏植サトウキビは、窒素をいつ吸収・利用するのか？

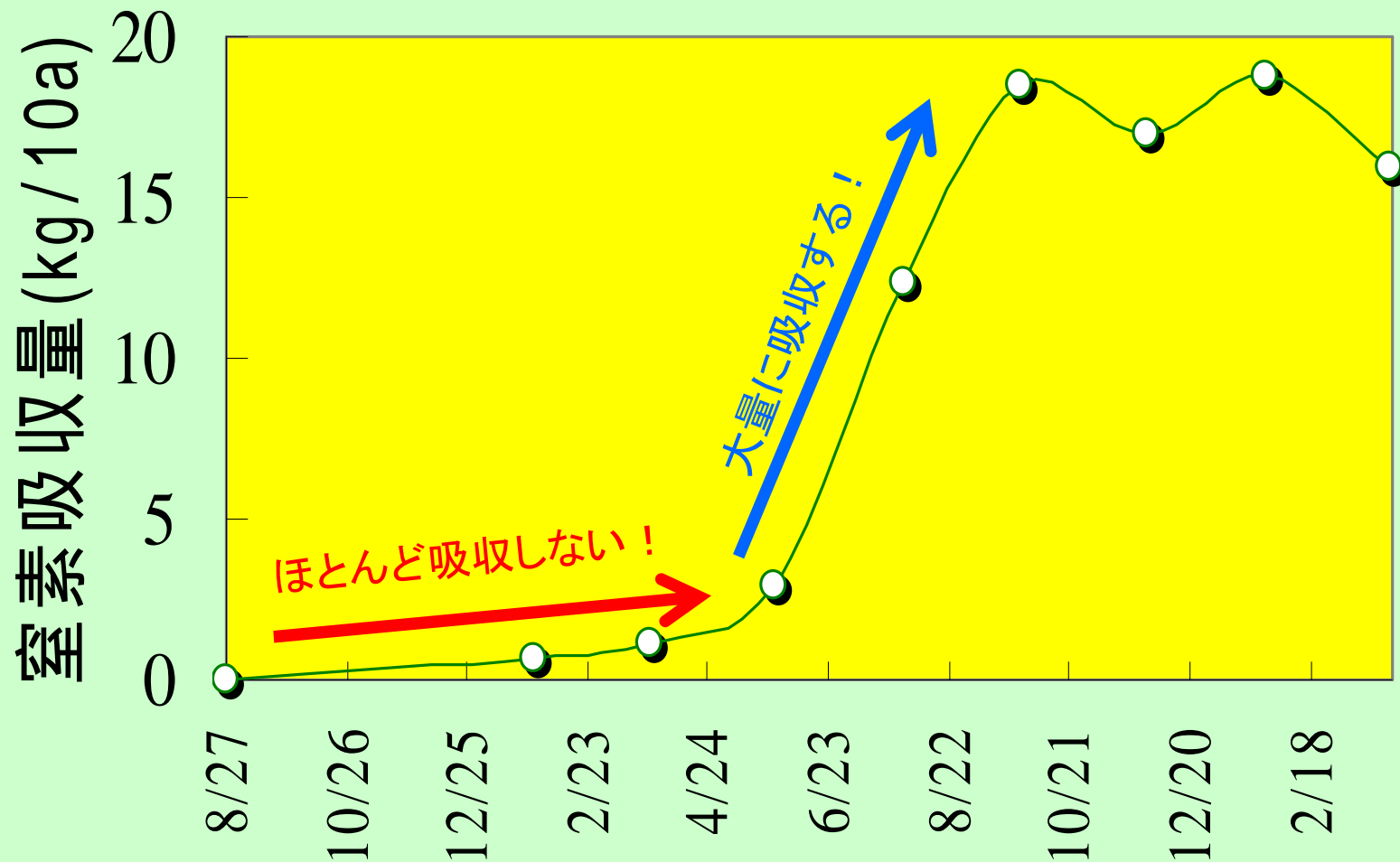
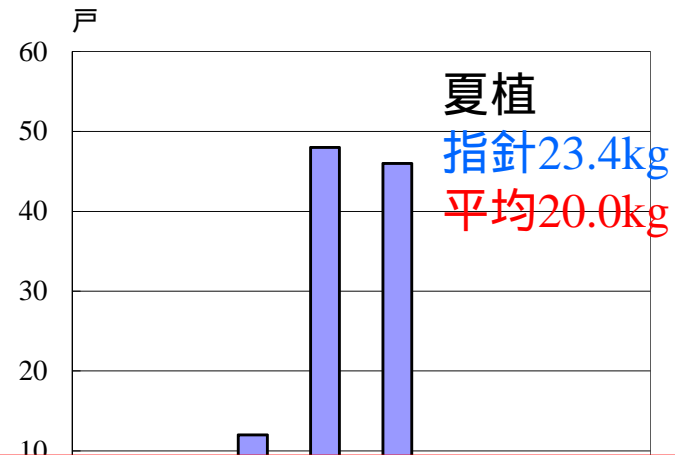
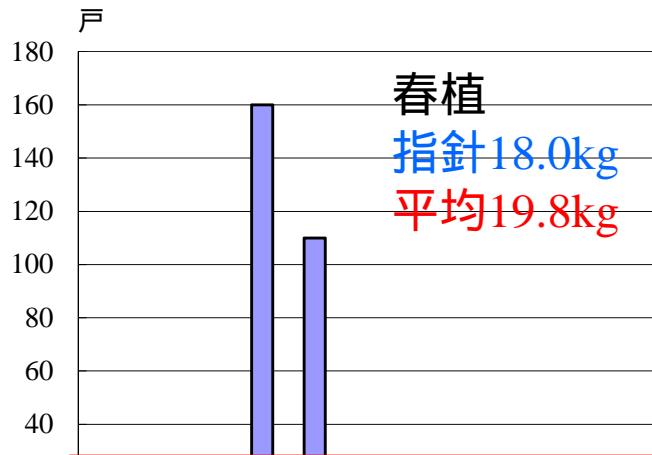


図10 夏植サトウキビの窒素吸収パターンと施肥時期

注：窒素の吸収パターンは、伊東、1966のデータ(宮里清松、サトウキビとその栽培、1986所収)によった。





サトウキビ栽培において、  
施肥量には問題は見られない

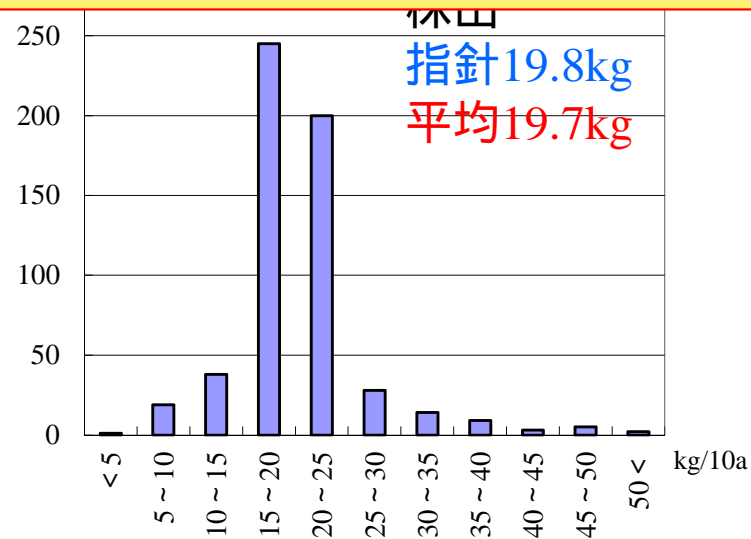
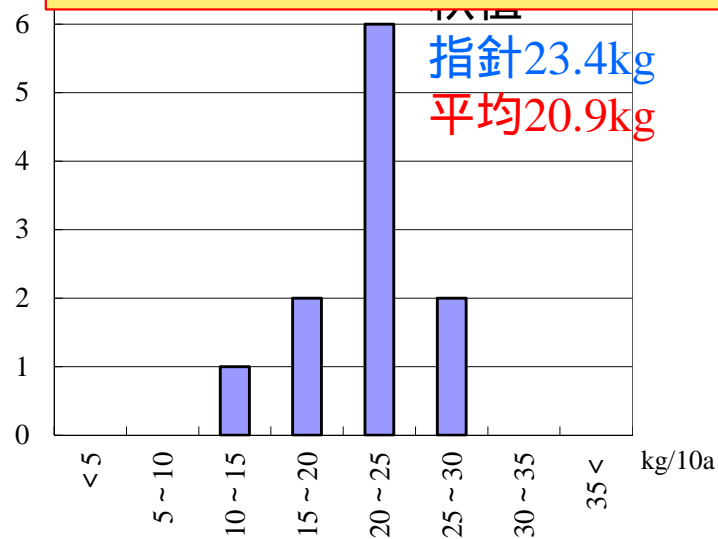


図 与論島のサトウキビ栽培における化学肥料中施肥窒素量の頻度分布

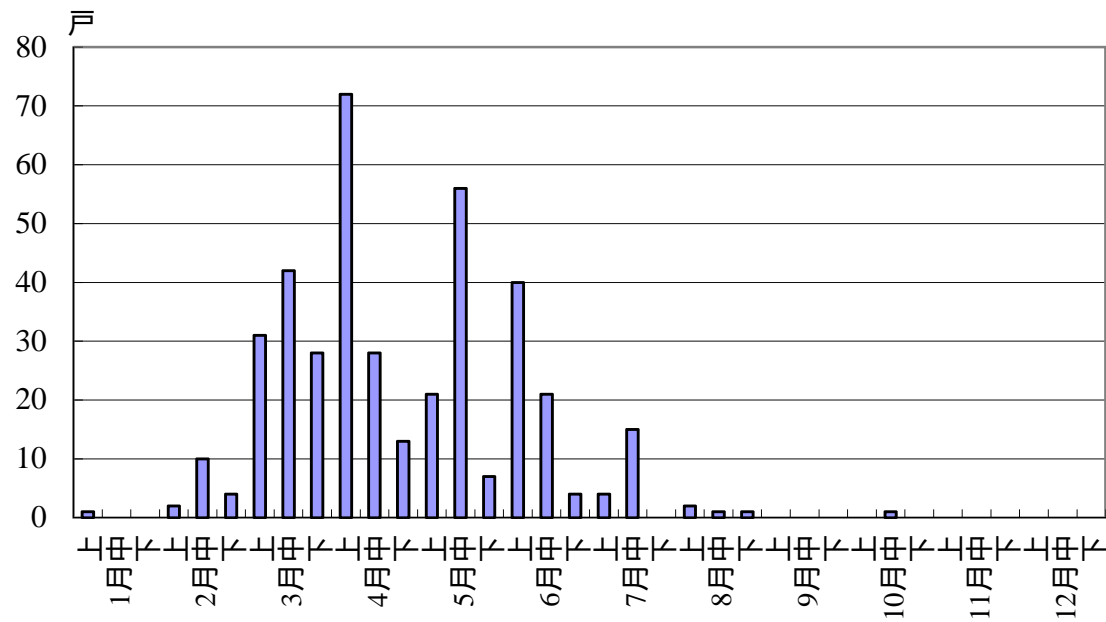


図 サトウキビ栽培における化学肥料施肥時期の頻度分布  
(n=404; 与論島、春植)

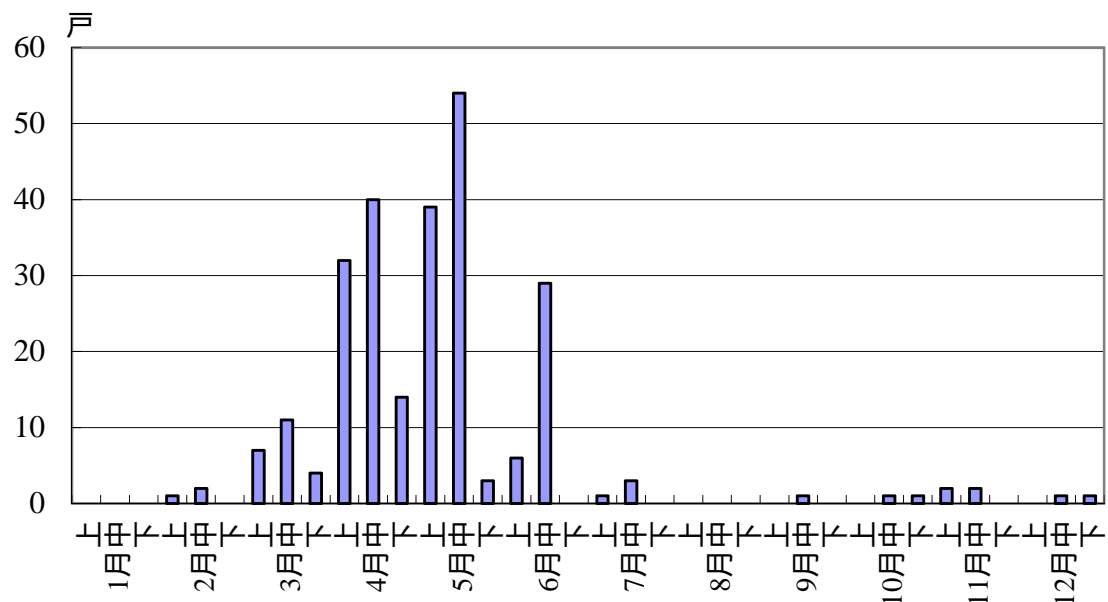


図 サトウキビ栽培における化学肥料施肥時期の頻度分布  
(n=255; 与論島、株出)



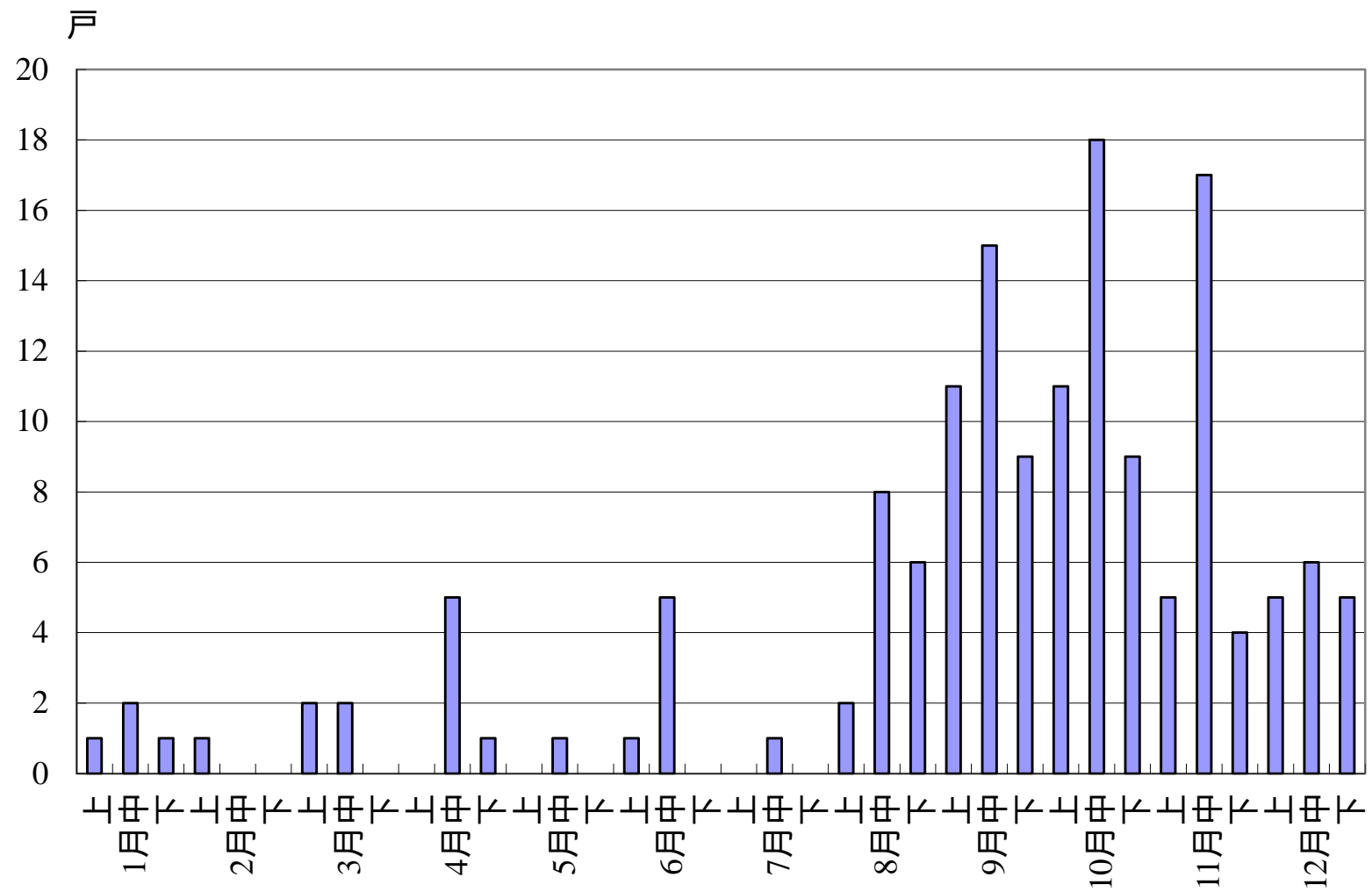
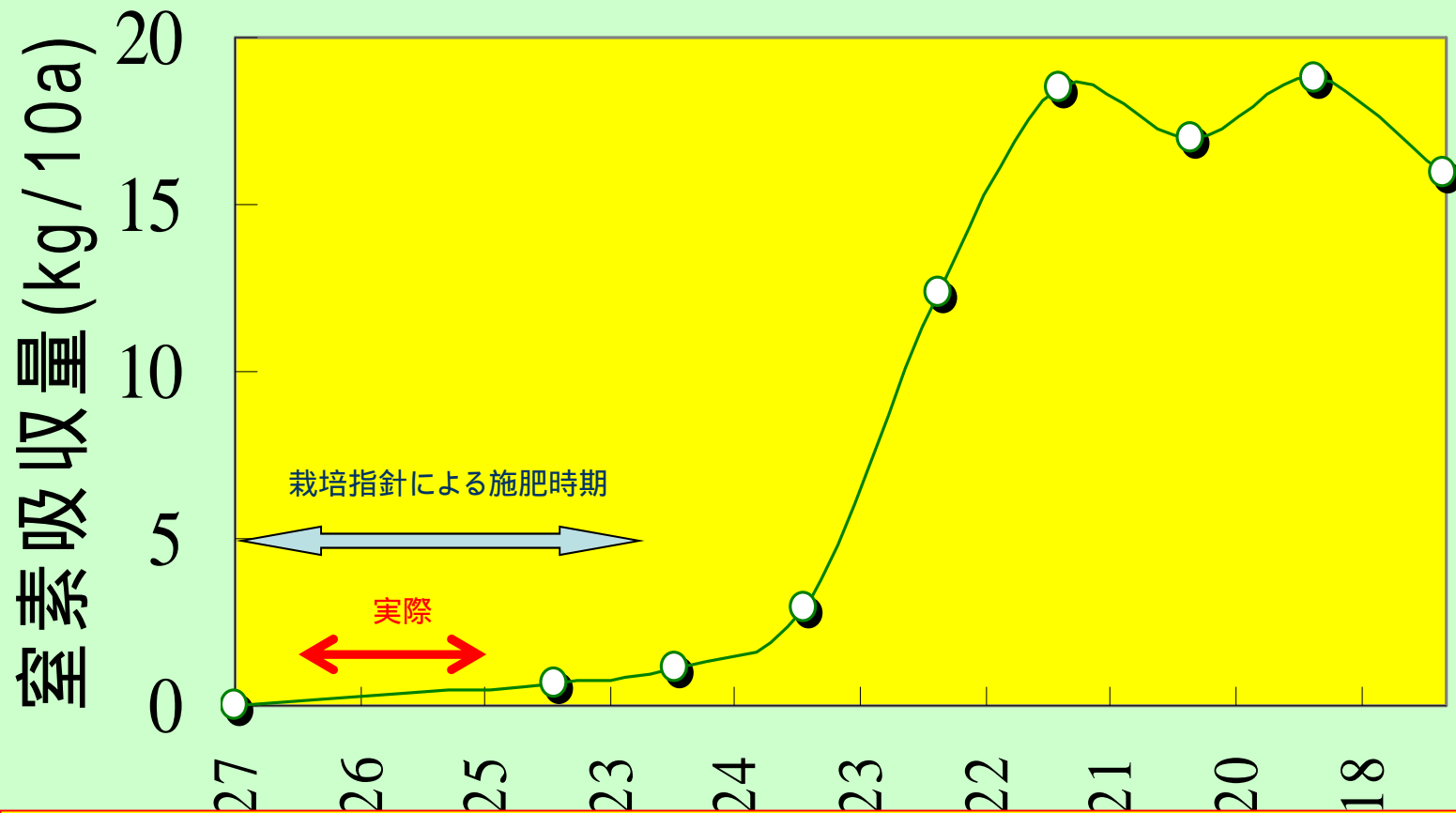


図 サトウキビ栽培における化学肥料施肥時期の頻度分布  
(n=154; 与論島、夏植)







サトウキビ栽培(特に夏植栽培)において、

- ・施肥時期が生育初期の短期間に集中
- ・植え付け時に化学肥料は必要か？

注：  
の栽培...





サトウキビの植付状況: 茎(根も葉も出ていない状態)を切断して5cm程度の深さに埋める



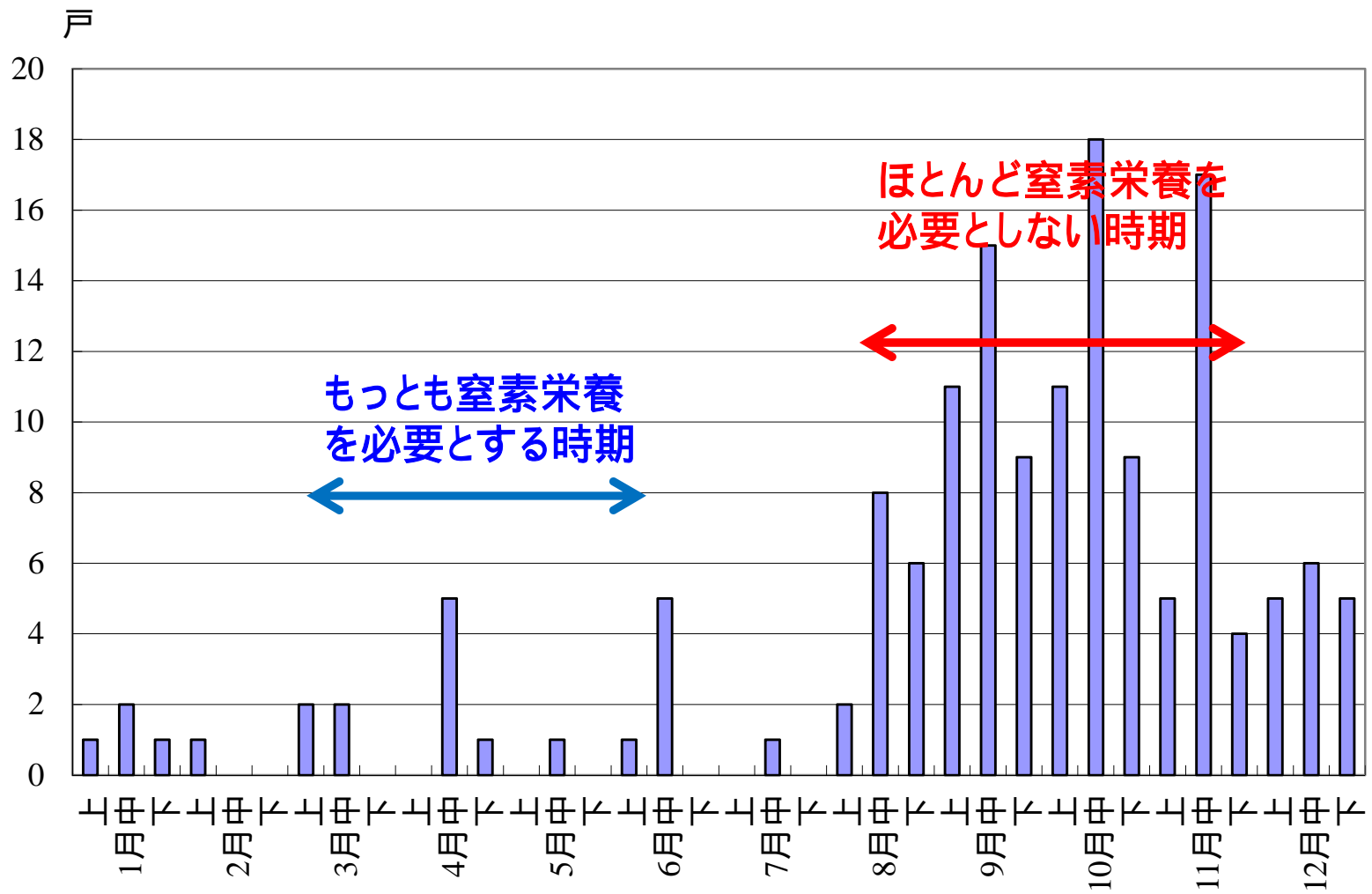
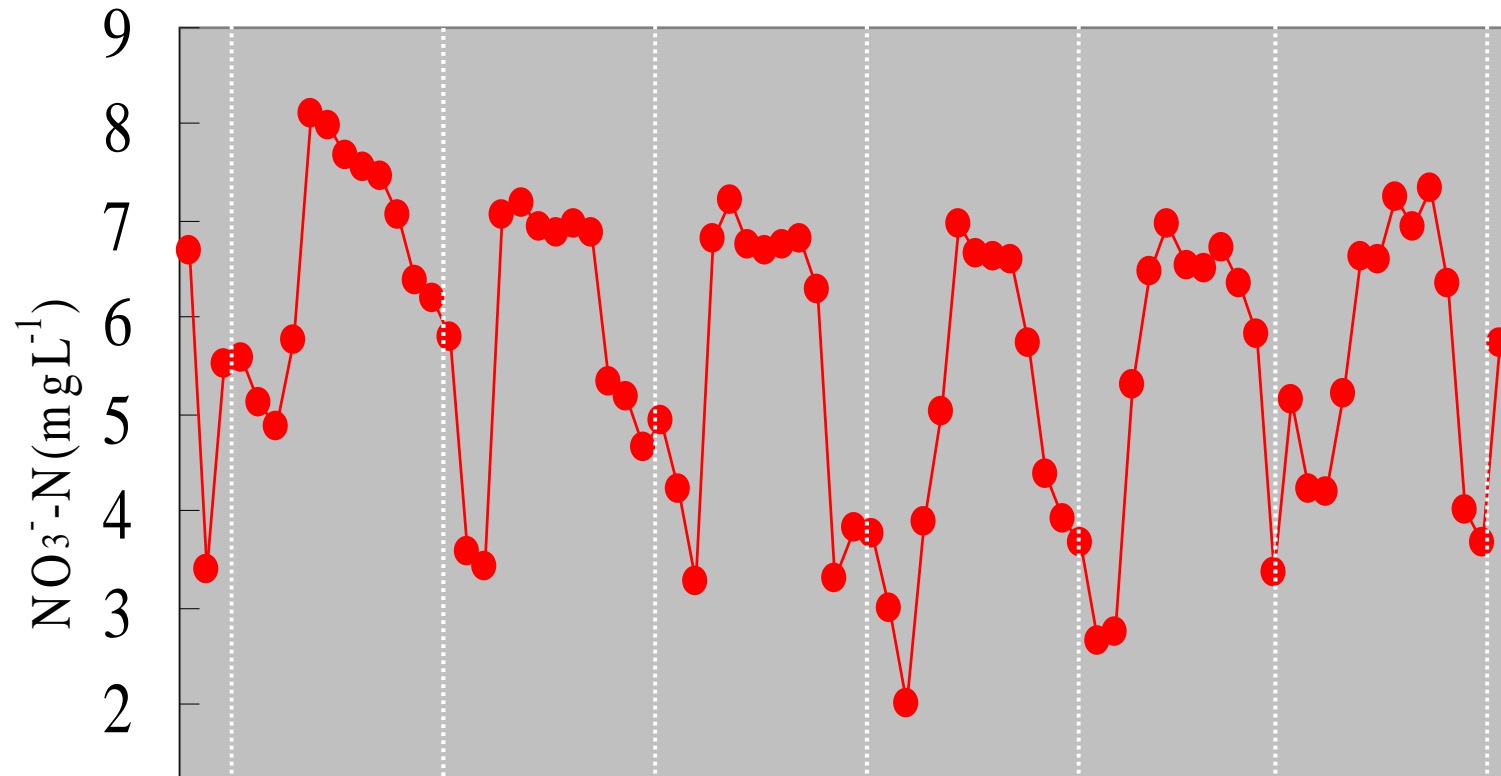


図 サトウキビ栽培における化学肥料施肥時期の頻度分布  
(n=154; 与論島、夏植)





地下水の硝酸態窒素濃度は夏植サトウキビの植付直後に急上昇するという変化が、毎年観察されている(2mg→8mg)。

図 喜界島のA地点(農業地域)における地下水硝酸態窒素濃度の季節的変動



## 硝酸・亜硝酸態窒素に関する水質基準(日本)

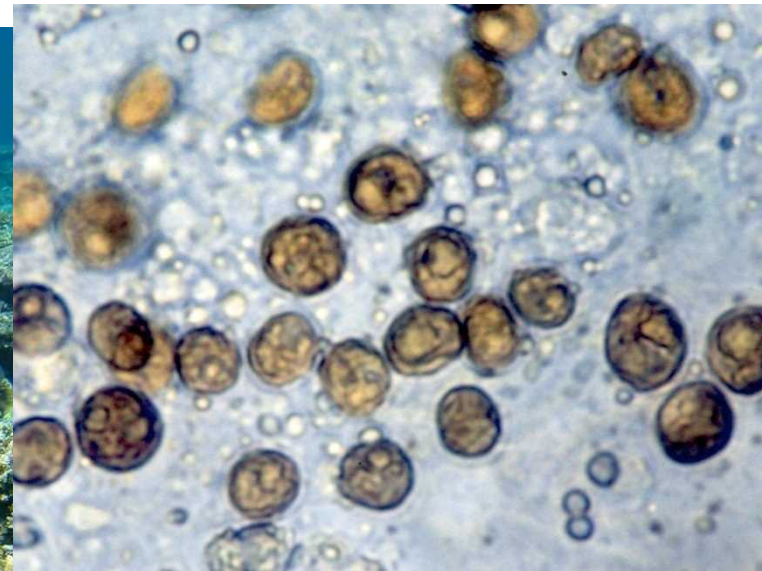
	項目	基準値
水道法 (平成27年4月1日施行)	硝酸態窒素及び 亜硝酸態窒素	10mgL <sup>1</sup> 以下
	亜硝酸態窒素	0.04mgL <sup>1</sup> 以下
環境基本法 (昭和46年12月28日施行)	硝酸態窒素及び 亜硝酸態窒素	10mgL <sup>1</sup> 以下

地下水の硝酸態窒素濃度が高濃度化した場合、  
水道法に照らすと、地下水を水道原水としている地域では、  
浄化処理コスト(施設, ラニング)にはねかえり、最悪の場合、  
水道原水として利用不可となる。

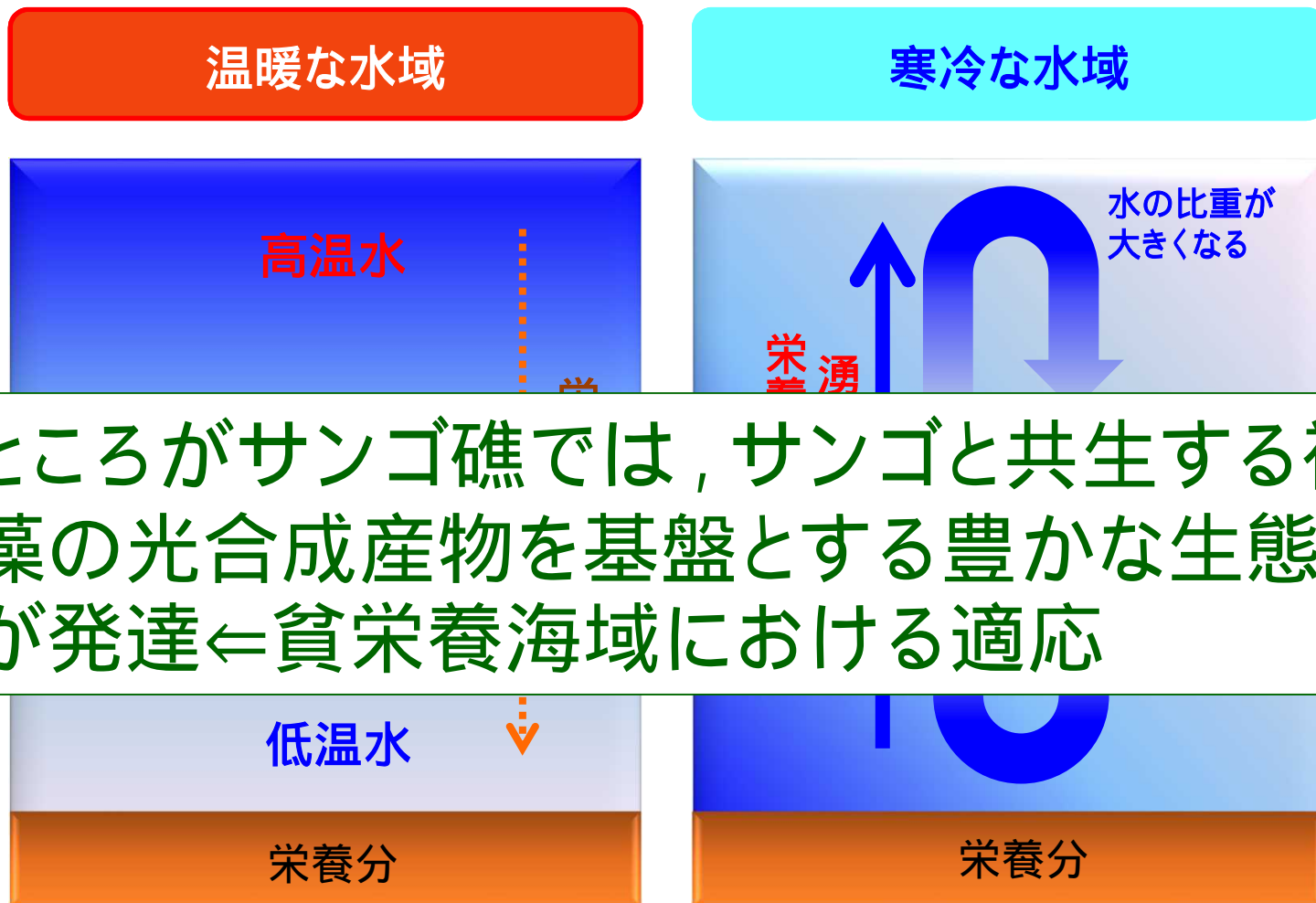
他方、環境基本法に照らすと？



# 貧栄養海域に適応・成立するサンゴ礁生態系への影響は？



# 寒暖による水域栄養循環の基本的な違い： 温暖な水域の表層は原則的に貧栄養

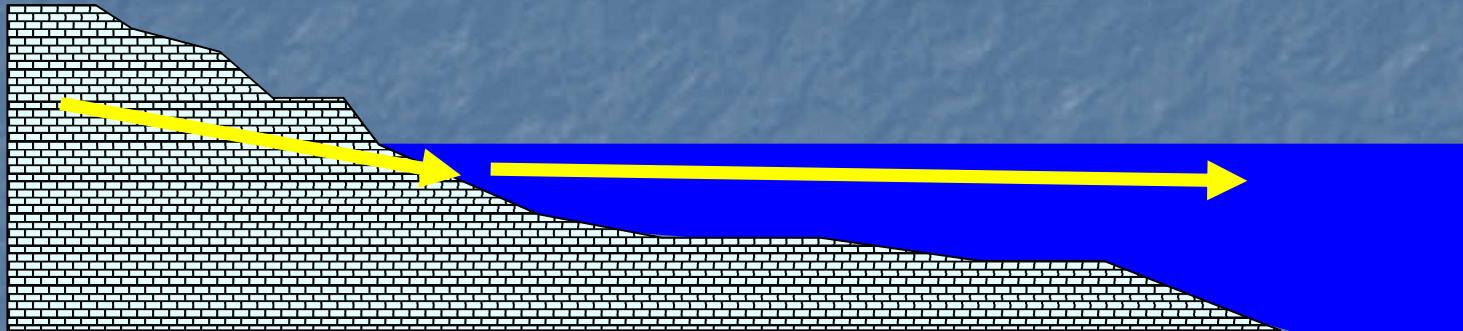


ところがサンゴ礁では、サンゴと共生する褐虫藻の光合成産物を基盤とする豊かな生態系が発達←貧栄養海域における適応

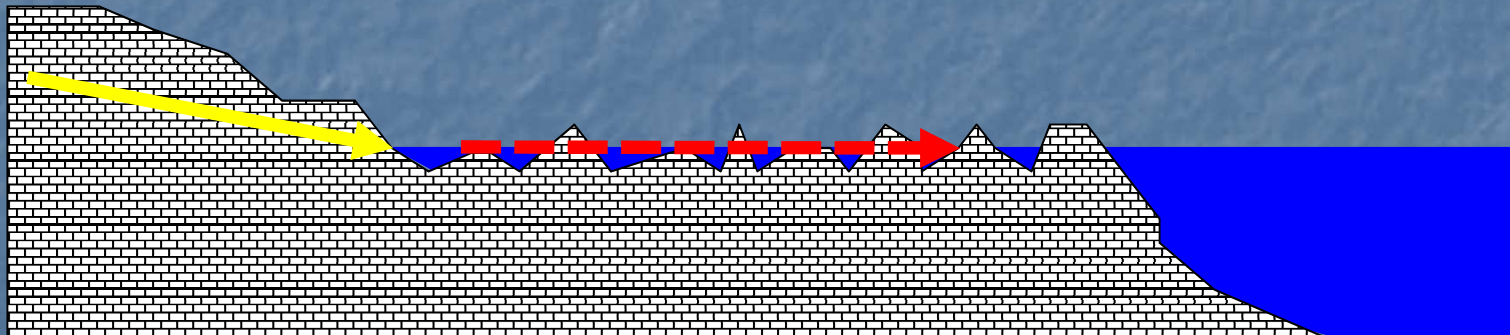
注：温暖な水域でも赤道地帯（赤道湧昇）、米大陸西岸（沿岸湧昇）、海洋島などでも、湧昇流が発生する地域がある。



地下水が外洋に直接流出する場合→富栄養化物質等は拡散・移動しやすい



サンゴ礁が発達している場合→礁池に富栄養化物質等が残留しやすい(サンゴ礁は閉鎖性が高い)







礁池に富栄養化  
物質等が残留

表 与論島の概況

位置	北緯	27° 2' 40"	
	東経	128° 25' 2"	
面積	20.49km <sup>2</sup>		
耕地面積	9.49km <sup>2</sup>	(H17)	
最高標高	97.08		
周囲延長	23.65km		
平均気温	22.7		
年降水量	2155mm		
人口	5327人	(H22)	
人口密度	260人/km <sup>2</sup>		

撮影:野島 哲

サンゴ礁生態系には富栄養化  
物質等が残留しやすいという  
「宿命」がある

# サンゴ礁生態系に対する富栄養化のインパクト

富栄養化



藻類の増殖



オニヒトデ幼生の増殖



オニヒトデ成体数の増加



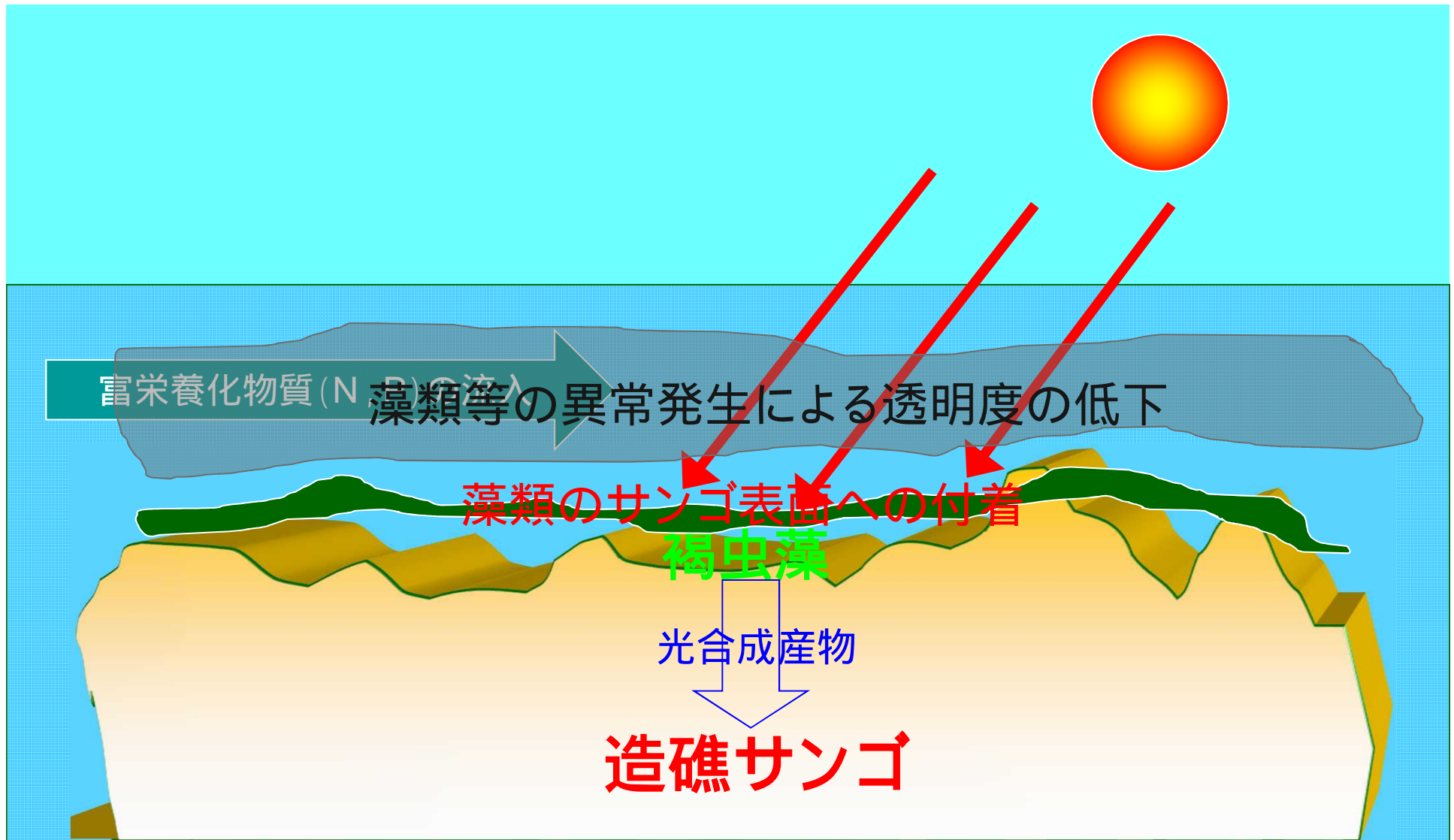
オニヒトデによるサンゴ食害の増大



オニヒトデ *Acanthaster planci* によるサンゴの食害







サンゴ礁生態系の健全な発達には  
十分な太陽光の入射が必要



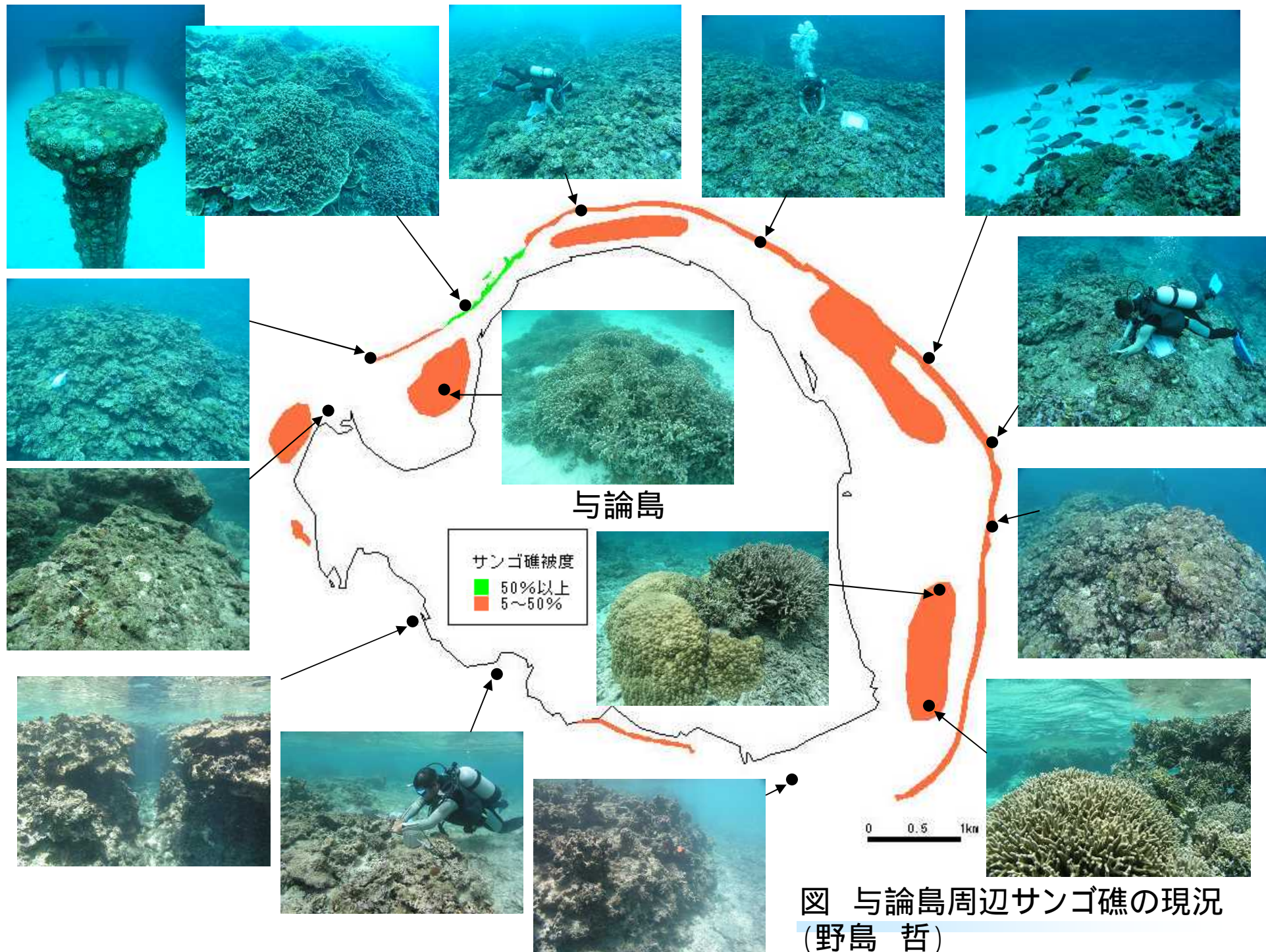


図 与論島周辺サンゴ礁の現況  
 (野島 哲)





健全なサンゴ礁の原風景(1960年代の与論島)

窒素質化学肥料の不適切な施用は、炭酸塩岩(石灰岩)の溶解を促進する結果、CO<sub>2</sub>放出量を増大させるとともに、地下水の水素イオン濃度を増加させる(中西ら, 2016)

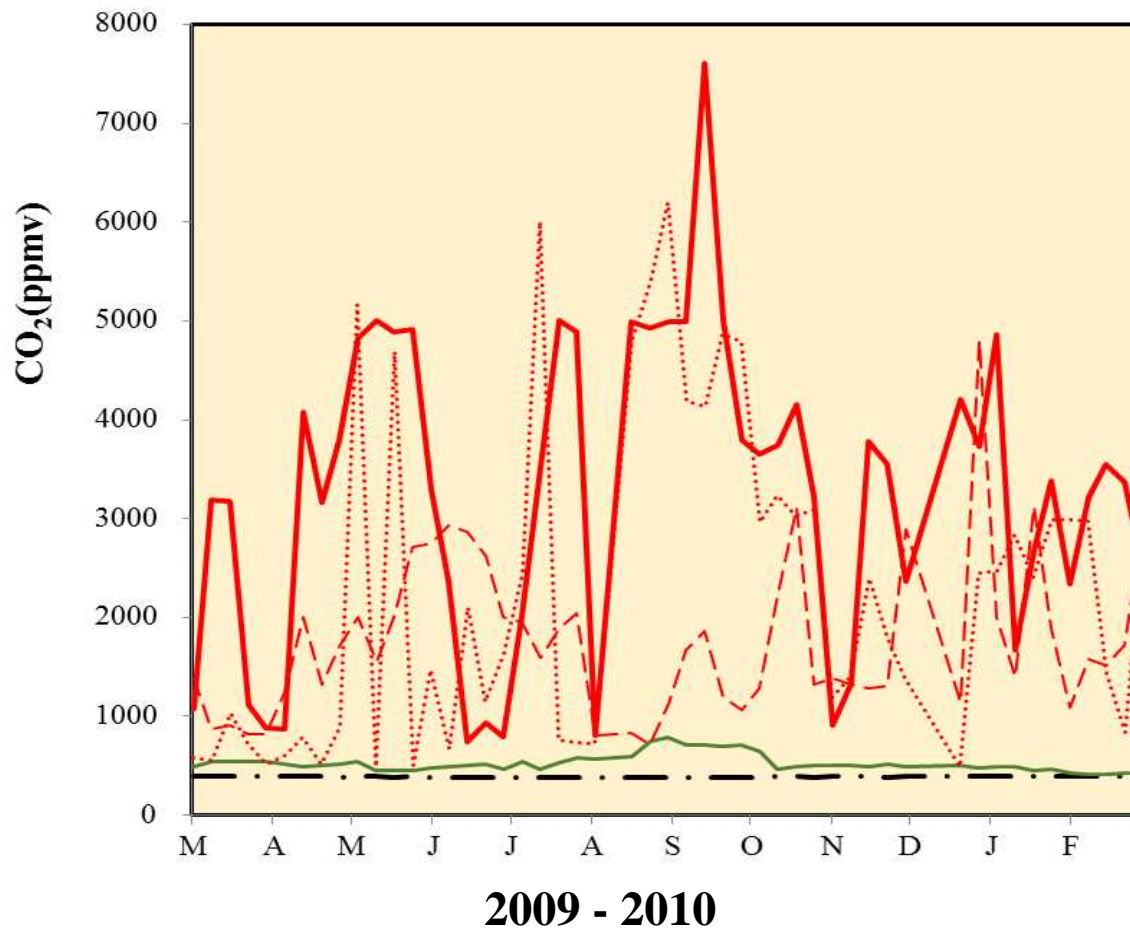
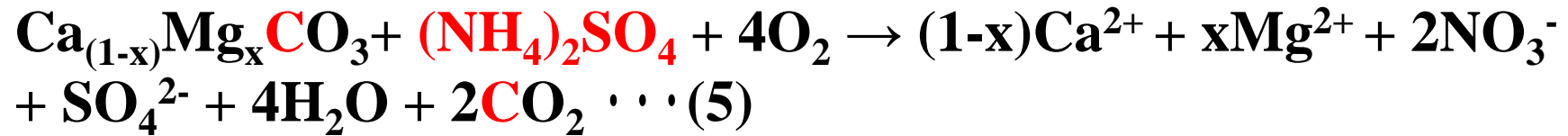


図 宮古島の地下水湧水口におけるCO<sub>2</sub>濃度の変化

東平安名岬: 黒  
森林地域: 緑  
農業地域: 赤



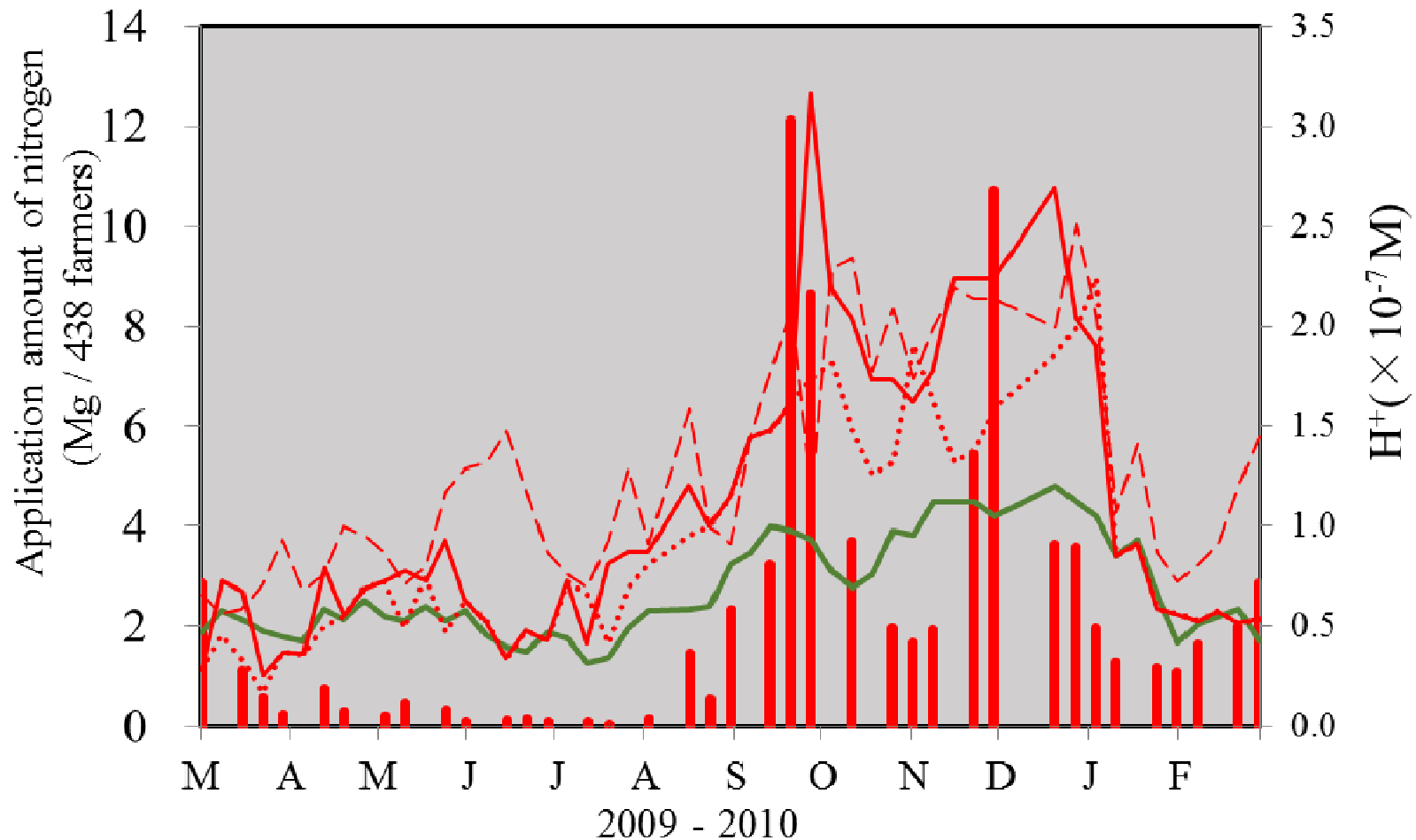


図 サトウキビ栽培における化学肥料窒素施肥量(棒グラフ)と地下水の水素イオン濃度(折れ線グラフ赤:農業地域;同緑:森林地域)との関係(野村ら, 2011)

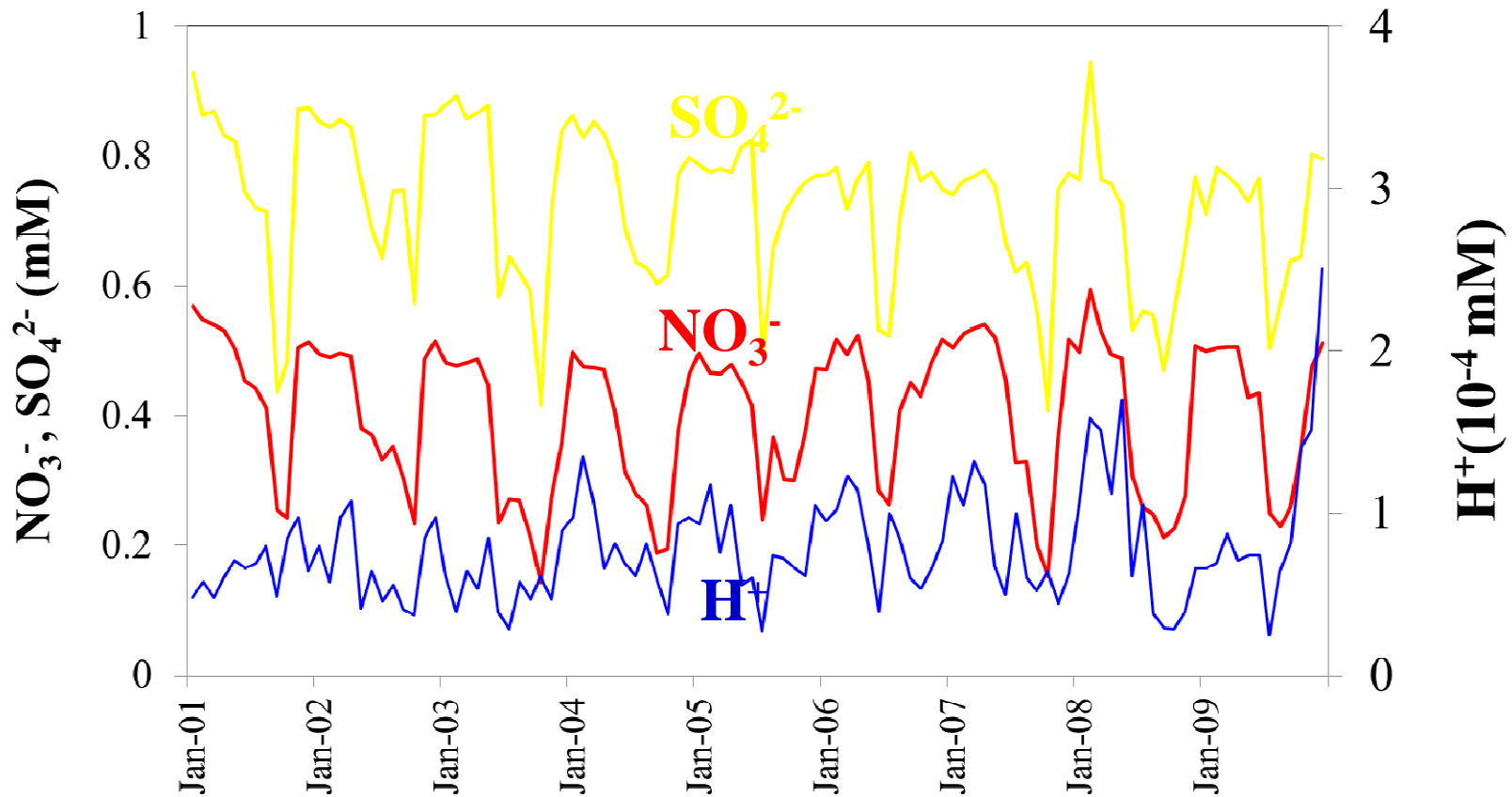


図 喜界島のA地点(農業地域)における地下水の硝酸イオン, 硫酸イオン, ならびに水素イオン濃度の変動

地下水中水素イオン濃度の変化は, 硝酸イオンおよび硫酸イオン濃度の変化とシンクロする。→窒素質化学肥料の不適切な使用は地下水を酸性化する。→地下水の流出先であるサンゴ礁海域を酸性化する。



# 陸域由来の富栄養化物質等による サンゴの白化に対する改善策

## 1) 営農における施肥効率の向上

とくにサトウキビ栽培における施肥時期の改善, 緩効性肥料の利用促進, 等

## 2) 家畜ふん尿の適切な管理・還元利用

## 3) 生活排水の適切な管理・処理

4) 上記対策の徹底による, 地域水環境(地下水, サンゴ礁海域)への富栄養化物質等の流出量軽減