

3) 2005 年 1 月 14 日(金)

サンゴ礁に棲息する有孔虫の生態 と堆積物生産力

藤田 和彦
(琉球大・理・物質地球科学)



サンゴ礁に棲息する有孔虫の 生態と堆積物生産力

藤田和彦

(琉球大学理学部物質地球科学科)



レクチャーの流れ

- サンゴ礁に棲息する有孔虫の特徴
 - なぜ大きいのか？
- 棲息分布と密度
 - 分布や密度を制限する要因は？
- 堆積物生産力
 - 生産力を決める要因は？



有孔虫とは

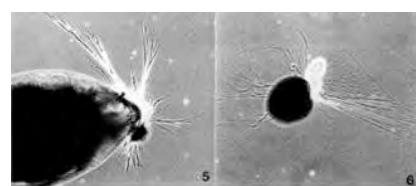
- 原生生物界顆粒根足虫門有孔虫綱

- 生物的特徴

- 顆粒質網状仮足をもつ
- 世代交代を行う

- 形態的特徴

- 殻(膜)をもつ
- 室を形成する(主に炭酸塩)
- 各室には口孔がある



口孔から仮足を伸ばす有孔虫 (Kitazato, 1992) 代表的な有孔虫 (スケールは0.1 mm)

サンゴ礁に棲息する有孔虫 —さまざまな分類群—



Baculogypsina *Calcarina* *Neorotalia* *Amphistegina* *Alveolinella* *Peneroplis*

↔ Calcarinidae



Heterostegina *Operculina* *Cycloclypeus* *Amphisorus* *Marginopora* *Parasorites*

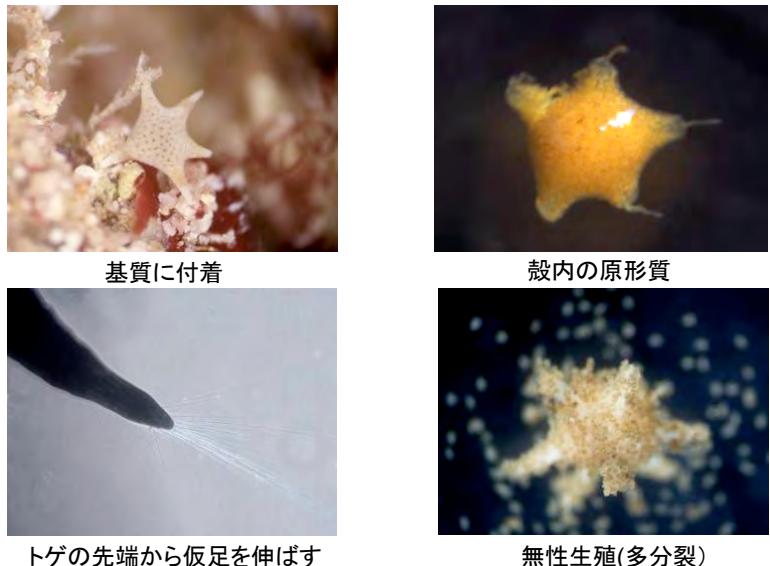
↔ Nummulitidae

↔ Soritidae

サンゴ礁に棲息する有孔虫 —さまざまな共生藻—



サンゴ礁に棲息する有孔虫 —ホシズナの生態—



サンゴ礁に棲息する有孔虫の特徴1 —サイズが大きい—

- 成体の大きさが**1 mm以上**

0.5 1 2 4 8 (mm)



- 通称**“大型有孔虫”**

- K戦略者(長生き・遅い成長)



- 餌の少ない、安定した環境
(サンゴ礁海域)で有利な戦略



現世最大の有孔虫Cycloclypeus

サンゴ礁に棲息する有孔虫の特徴2 —微細藻類との細胞内共生—

- 分類群により異なる微細藻類と
細胞内共生

- 渦鞭毛藻・緑藻・珪藻・紅藻

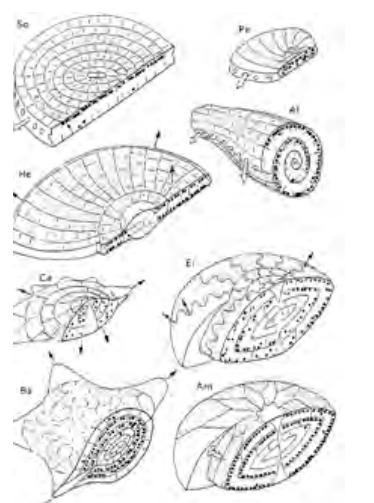


- 有孔虫の利益

- 共生藻の光合成から有機物供給
- 共生藻による有孔虫の代謝物の吸収
- 共生藻の光合成に伴う石灰化の促進



- 貧栄養で、光が十分な環境(サンゴ礁海域)で有利な戦略



Leutenegger (1984)

サンゴ礁生態系における有孔虫の役割

- 消費者

餌: 微細藻・バクテリア

- 大型有孔虫-微細藻共生系

⇒ 基礎生産者

- 共生藻への依存性は分類群により異なる

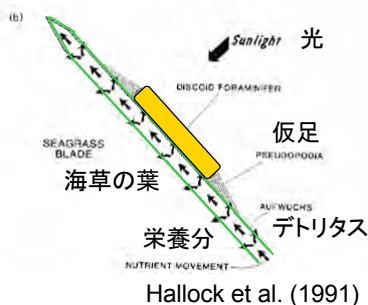


- 海草表面に付着する有孔虫→

- 上から光を吸収
- 下から栄養分を吸収
- 側面から餌を摂取

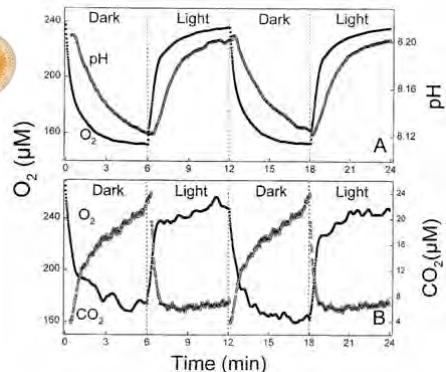
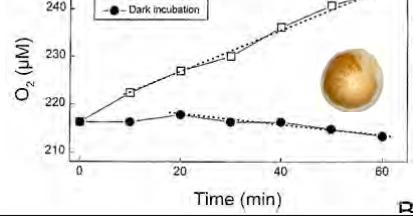
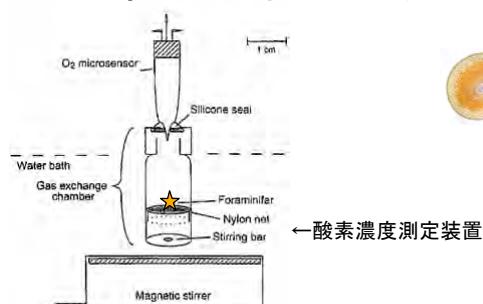


クロレラを食べているゼニイシ



Hallock et al. (1991)

微小酸素電極を用いた大型有孔虫-微細藻共生系の基礎生産に関する研究例



↑ 有孔虫殻表面におけるpH, CO₂, O₂の時間変化 (A. hemprichii)

← 明瓶と暗瓶の酸素濃度の変化 (A. lobifera)

Köhler-Rink and Kühl (2001)

大型有孔虫—微細藻共生系の 有機物純生産量(個体レベル)

Host	Algal symbiont type	Method	Net Production (ng C/foram/hr)	Net Production (ng C/foram/hr)	Respiration
Perforate taxa					
<i>Amphistegina lobifera</i>	Diatom	¹⁴ C tracer DO ?	2.91 x 10 ⁻⁶ (ng C/foram/hr) 13.12±7.31 (nmol O ₂ /foram/hr) 3.4 x 10 ⁻⁶ (mol O ₂ /l g protein/hr)	29.1 157.44	8.79±3.87 (nmol O ₂ /foram/hr)
<i>Amphistegina lessonii</i>	Diatom	¹⁴ C tracer	1.95 x 10 ⁻⁶ (ng C/foram/hr)	19.5	
Imperforate taxa					
<i>Archaias angulatus</i>	Chlorophyte	¹⁴ C tracer ¹⁴ C tracer ¹⁴ C tracer DO	55.3 (ng C/host cell/hr) 70 (ng C/mg dry wt./h) 8.2 x 10 ⁻⁷ (mol O ₂ /mg dry org. wt/hr) 13 (nmol O ₂ /foram/hr)	55.3 42 6.6 x 10 ⁻⁷ (mol O ₂ /mg dry org. wt/hr) 156	
<i>Amphisorus hemprichii</i>	Dinoflagellate	¹⁴ C tracer ?	4.9 x 10 ⁻⁶ (mol O ₂ /l g protein/hr)	9.90 (nmol O ₂ /foram/hr)	
<i>Marginopora vertebralis</i>	Dinoflagellate	¹⁴ C tracer	0.05 (ng C/min)	3	
<i>Sorites marginalis</i>	Dinoflagellate	¹⁴ C tracer ¹⁴ C tracer	2.2 x 10 ⁻⁶ (mol O ₂ /mg dry org. wt/hr) 210 (ng C/mg dry wt/h)	1.6 x 10 ⁻⁶ (mol O ₂ /mg dry org. wt/hr) 210	
Planktonic taxa					
<i>Globigerinoides ruber</i>	Dinoflagellate	¹⁴ C tracer	7.8 (ng C/host cell/hr)	7.8	
<i>G. sacculifer</i>	Dinoflagellate	DO	217.2 (ng C/host cell/hr)	217.2	
<i>Orbulina universa</i>	Dinoflagellate	¹⁴ C tracer DO	57.8 (ng C/host cell/hr) 5.3±2.7 (nmol O ₂ /hr)	57.8 63.6	3.9±1.9 (nmol O ₂ /hr)

* assuming a mean dry weight of 0.6 mg per specimen for *A. angulatus*

** assuming a mean dry weight of 1 mg per specimen for *S. orbicularis*

昼間(光合成+呼吸) : 1-10² (ng C/foram/hr) x 12 (hr/day) x 10⁶ (indi./m²) = **0.12-1.2** (g C/m²/day)

夜間(呼吸のみ) : 3/4 x 1-10² (ng C/foram/hr) x 12 (hr/day) x 10⁶ (indi./m²) = **0.09-0.9** (g C/m²/day)

一日当たりの光合成純生産量 = **0.03-0.3** (g C/m²/day)

サンゴ礁に棲息する有孔虫の特徴

サイズが大きい

→餌の少ない、安定した環境で有利な戦略

+

微細藻類との共生

→貧栄養で、光が十分な環境で有利な戦略



サンゴ礁海域で有利な戦略

大型有孔虫 ≒ 共生藻をもつ有孔虫

大型有孔虫の棲息分布と密度

- 地理的分布(太平洋海域)
- 水平分布(礁原の環境勾配)
- 水深分布(礁斜面の水深勾配)
- 微小分布
 - 海藻(草)類の種類による違い
 - サンゴ瓦礫上の分布
- 移入
 - ニヶ月間設置した人工基質上の棲息密度

太平洋のサンゴ礁に特徴的な有孔虫の地理的分布

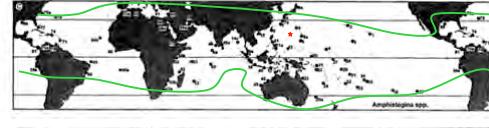
Baculogypsina
→西太平洋



Calcarina spp.
→西太平洋



Amphistegina spp.
→コスモポリタン

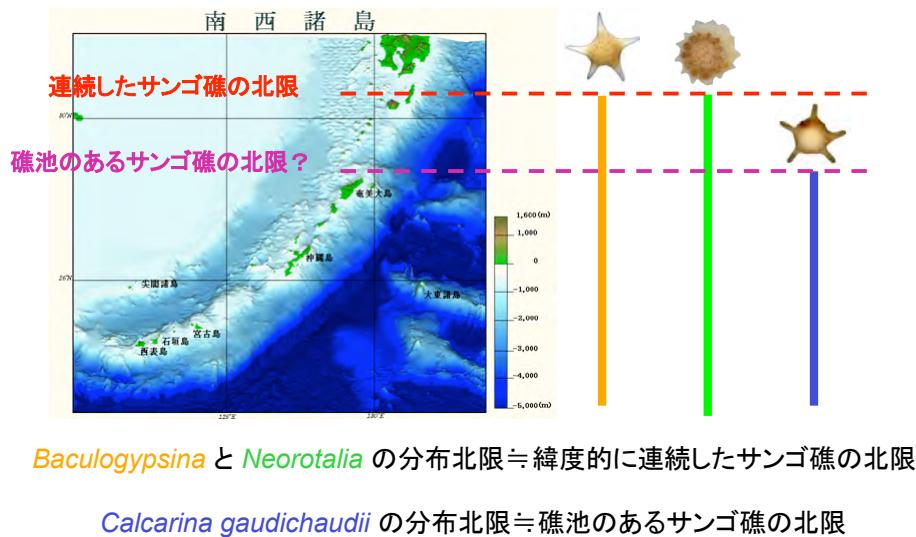


Marginopora spp.
→インド洋
～中央太平洋



(Langer and Hottinger, 2000)

琉球列島における分布北限

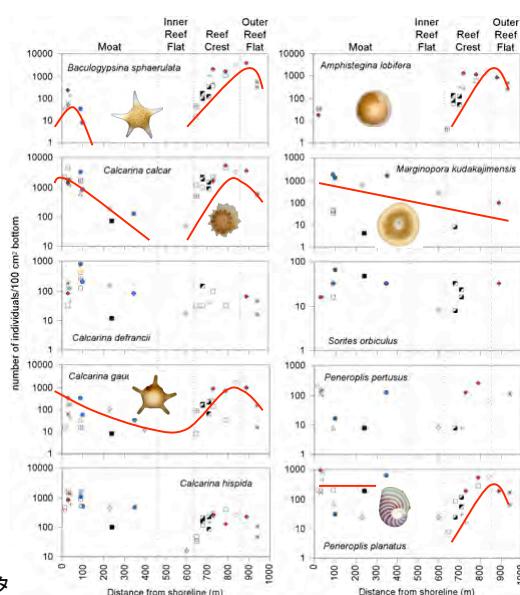


礁原に棲息する有孔虫の水平分布

- 石垣島川平の礁原
- 水平分布を制限する要因
 - 水深(潮間帯・潮下帯)
 - 水流の強さ(礁嶺・礁池)
 - 底質(礁岩・砂地・藻場)
 - 海藻(草)の分布や種類
 - 海岸環境の違い
 - 川平→礁岩が露出

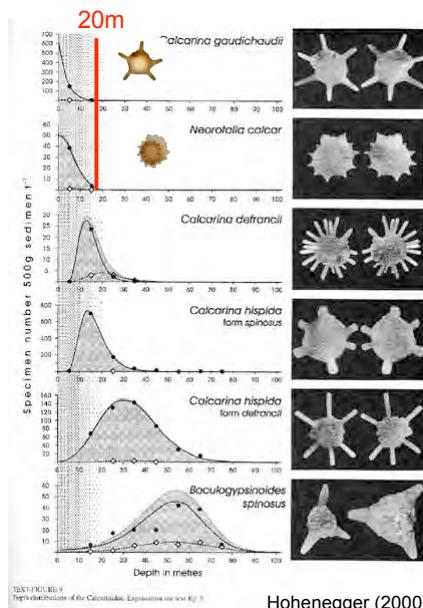
- ◆ シマテングサ
 ● ガラガラ
 □ ホンダワラ

屋良 (1995MS) 未公表データ

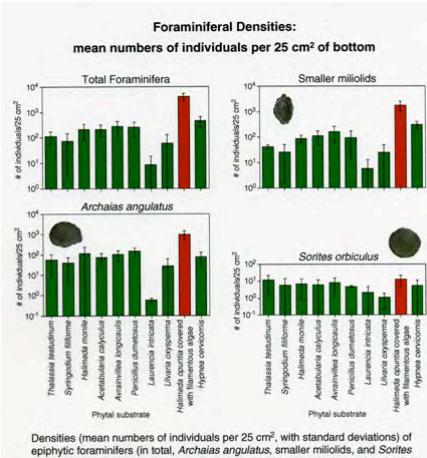
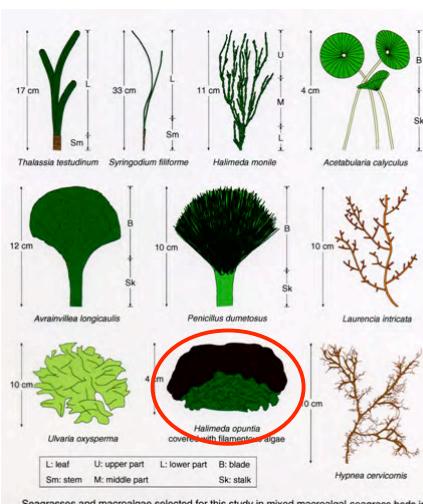


礁原に棲息する有孔虫の水深分布

- 礁原に特徴的な有孔虫
→ 水深分布が浅く、狭い
 - <10 m
 - <30 m
- 水深分布を制限する要因
 - 光(波長分布・光量)
 - 波浪
 - 水温
 - 底質の分布(瓦礫・砂地)



有孔虫の微小分布—海草藻場—

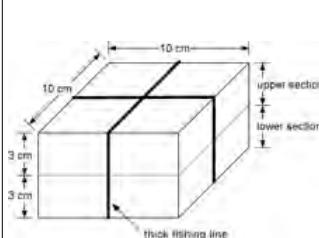


同じ場所における海藻(草)の底面積当たりの密度
織維状海藻が絡み合った海藻に多い

検討した10種の海藻(草)類(フロリダキーズの海草藻場)

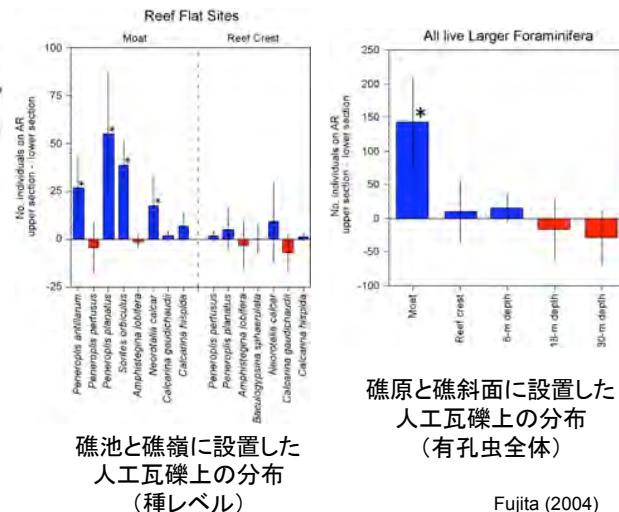
Fujita and Hallock (1999)

有孔虫の微小分布 —ガレキ上の上下分布—



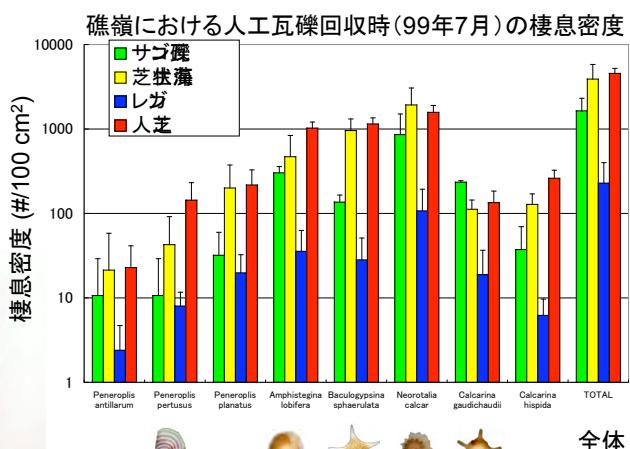
耐火性レンガを上下に重ねた人工瓦礫

- ・瓦礫上の上下分布を制限する要因
 - 光明暗反応
 - 強光への形態的適応
 - 付着能力



有孔虫の移入

棲息密度: 自然 対 人工ガレキ



2ヶ月経過した人工芝の棲息密度は芝生状海藻の棲息密度と匹敵する！

有孔虫の分布を決める要因

- 地理的分布
⇒水温・栄養塩・日射量・炭酸塩飽和度
 - 水平分布
⇒水深・水流・底質の分布・海藻(草)の分布や種類・海岸環境
 - 水深分布
⇒光(波長分布・強さ)・水温・波浪・底質の分布
 - 微小分布
⇒基質の種類(構造)・光明暗反応・光への適応・付着能力
- ↓
- 分布と環境因子との対応関係に基づく
⇒実験的に検証されていない
- 移入
⇒供給源からの距離・基質の構造

なぜ礁嶺の芝生状海藻に多いのか?

- 礁嶺という過酷な環境
 - 強い波浪
 - 干潮時の干出
 - 日光直射
 - 水温・塩分の上昇
- 芝生状海藻の利点
 - 3次元的構造→波浪・日光直射に対する隠れ家
 - 豊富な餌→微細藻類・バクテリア
 - 干出時の水分保持



大型有孔虫の堆積物生産力

サンゴ礁海域の有孔虫はサイズが大きい
↓
炭酸塩の遺骸殻は砂礫径堆積物となる

- ・サンゴ礁の炭酸塩生産における貢献
- ・炭酸塩生産量の測定方法
- ・これまでの研究結果
- ・炭酸塩生産量を決める生態的要因
- ・今後の課題
- ・生産量を高めるためには



サンゴ礁の炭酸塩生産における 大型有孔虫の貢献

- ・造礁サンゴ・石灰藻類に次いで3番目の生産力
- ・遺骸殻は砂～礫サイズのサンゴ礁堆積物の主要構成成分
- ・Global Scaleにおける貢献 (Langer et al., 1997)
 - サンゴ礁の炭酸塩生産における 4.8 %
 - 全海洋の炭酸塩生産における 0.76 %
- ・Local Scaleで特に重要
 - 環礁洲島や砂浜の形成・維持



サンゴ礁の礁原に分布する砂粒堆積物

有孔虫の炭酸塩生産量の測定方法

炭酸塩生産量に関する見積もり式

Equation

Production estimate by growth increments

$$P = \sum \Delta W_i$$

Production estimate from size-specific mortality and mass weights

$$P = \sum (\sum N_i, t, D_i) W_i$$

$$P = \sum \sum [(N_{i,t} - N_{i+g,t+1}) (W_{i+g} - W_i) / 2] C$$

$$P = \sum (D_i W_i)$$

$$P = \int (D(t) \times W(t)) dt$$

Short-cut methods for production estimate

$$P^* = N \times 3.4 \times 10^{-6}$$

$$P = N_{\text{adult}} \times W_{\text{adult}} \times (\text{turnover rate})$$

$$P = N_{\text{mean}} \times W_{\text{mean}} \times (\text{turnover rate}) \times C$$

$$P = (\text{accumulation rate}) \times (\text{carbonate sediment density}) \times (\% \text{ forams})$$

$$P = (\% \text{ forams}) / 100 \times (600 \text{ or } 120)$$

$$P = (\% \text{ forams}) / 100 \times [(W_{\text{forams}}) / (4000 \text{ or } 800)] \times (4000 \text{ or } 800)$$

* applicable only for the genus *Amphistegina*

- 種個体群レベル

- 成長量逐次計算法
- 死亡量累計法
- 簡便法 (Harney et al., 1999)

- 群集レベル

- Σ (種個体群の生産量)
- (堆積速度) \times (堆積物密度) \times (有孔虫含有率)
- 簡便法 (Langer et al., 1997)

大型有孔虫の年間炭酸塩生産量に関するこれまでの研究結果

Scale considered	Carbonate Production (g/m ² /yr)	Environment	Depth (m)	Location	Reference
Species level	60-600				
<i>Calcarina spengleri</i>	1978	Reef flat	<5	Palau	Hallock (1981)
<i>Marginopora kudakajimensis</i>	5,000	Moat	1	Okinawa	Fujita et al. (2000)
Assemblage level	1,22800				
Reef foraminiferal assemblage	30-1000	Reef flat		Worldwide	Langer et al. (1997)
	1,2-120	Lagoon		Worldwide	Langer et al. (1997)
Larger rotaliine foraminiferal assemblage	100-2800	Reef flat & lagoon	<5	Palau	Hallock (1981)
	50-600	Reef slope	5-20	Palau	Hallock (1981)
Benthic foraminiferal assemblage	40	Shelf	20-90	GBR	Tudhope and Scoffin (1988)
Coral reef community	4,000	Seaward reef flat	1		Smith and Kinsey (1976)
	800	Protected lagoon	5		Smith and Kinsey (1976)

- 種個体群レベル 60~600 g CaCO₃/m²/yr

- 幼生時期の生産量を考慮すると倍近くになる

- 群集レベル 1.2~2800 g CaCO₃/m²/yr

- 考慮する環境による

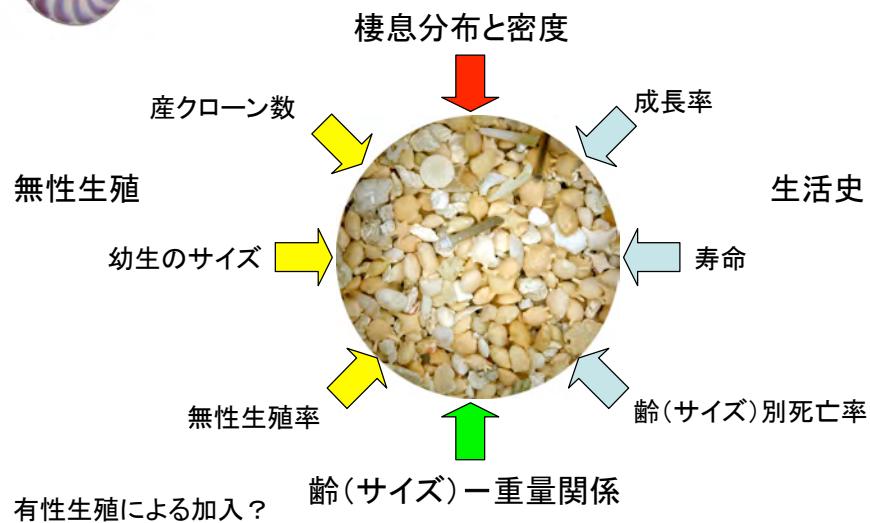
- 礁原: 30~1000 g CaCO₃/m²/yr

- 礁湖: 1.2~120 g CaCO₃/m²/yr (Langer et al., 1997)





大型有孔虫の炭酸塩生産量を 決める個体群特性



大型有孔虫の棲息密度と 環境との関係



- Hallock et al. (1986)によるレビュー
 - **>10⁶ individuals/m²**
 - ・礁嶺付近
 - *Calcarina* spp. and *Baculogypsina* (Hallock, 1981, 1984; Sakai and Nishihira, 1981)
 - ・海草藻場
 - *Amphistegina* (Hallock, 1981, 1984), *Archaias* (Hallock et al., 1986)
 - **10⁴-10⁵ individuals/m²**
 - ・海草藻場
 - *Amphistegina* (Hallock, 1984; Lutze et al., 1971; Larsen, 1976)
 - ・礁斜面の、葉上性藻類に覆われた瓦礫や死んだサンゴの表面
 - ・礁原や礁湖(外洋に近い塩分・低い有機物集積量)
 - **10³-10⁴ individuals/m²**
 - ・礁斜面の水深10~30 m
 - *Amphistegina*, *Heterostegina* (Lutze et al., 1971), *Amphisorus* (Zohary et al. 1980), *Cyclorbiculina* (Lutze and Wefer, 1981), *Archaias* (Duguay, 1983)

生活史・成長率と寿命

- 成長率: 200-1200 $\mu\text{m}/\text{mo}$
 - 熱帯海域(季節変化が少ない): 400-1200 $\mu\text{m}/\text{mo}$
 - 亜熱帯海域: 200-400 $\mu\text{m}/\text{mo}$
 - 飼育実験: 300-500 $\mu\text{m}/\text{mo}$
- 寿命: 成長率に影響を受ける
 - 3-4 mo: *Amphistegina* (Palau), *Heterostegina*
 - 1 yr: *Amphisorus*, *M. kudakajimensis*, *Amphistegina* (Hawaii)
 - >1 yr: *M. vertebralis*, *Baculogypsina*
- 同種の緯度による違い(*Amphistegina lobifera* の例)



	Palau	Hawaii
mean size (μm)	8 3 4	7 4 4
generation length (mo)	4	1 2
carbonate production (g $\text{CaCO}_3/\text{m}^2/\text{yr}$)	307	103

年間炭酸塩生産量が3倍異なる！

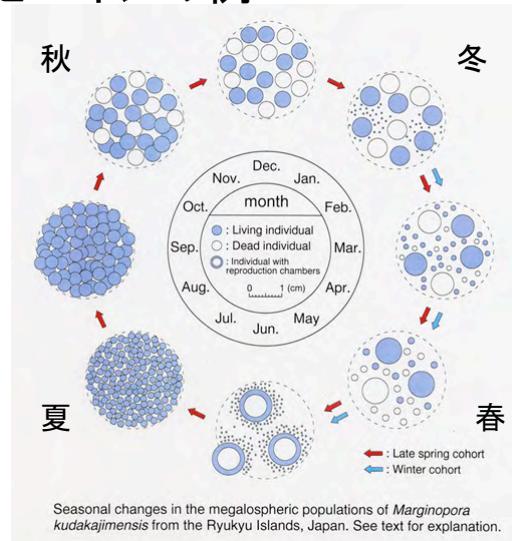
季節性一ゼニイシの例一



Figure 9a. Site 2. Note *Marginopora kudakajimensis* (mean 0.5 cm in diameter) adhering to *Gelazaura* sp.



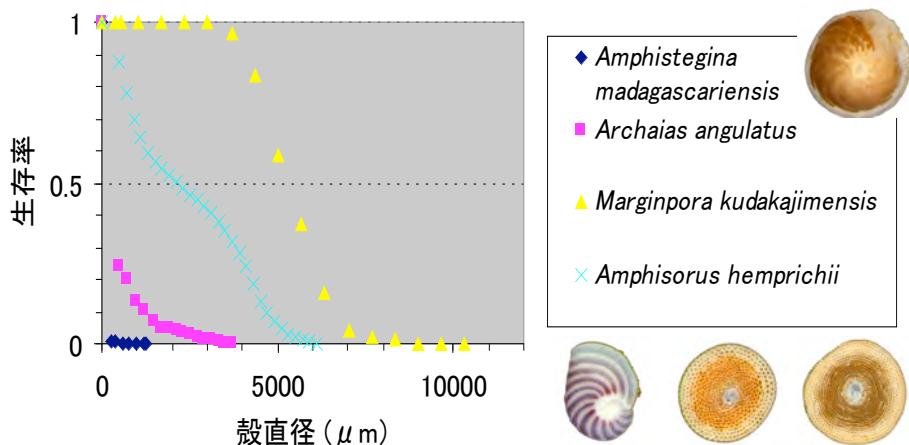
Figure 9b. continued. Enlarged photograph showing *M. kudakajimensis* population adhering to *Gelazaura* sp.



ゼニイシ個体群の季節変化 (Fujita et al., 2000)

密集したゼニイシ個体群(伊良部島)

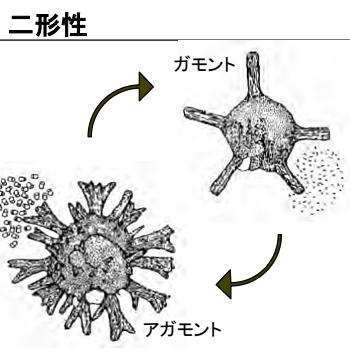
大型有孔虫の生存曲線



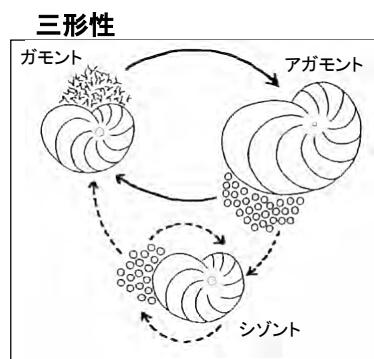
“初期死亡率が高い”と必ずしも仮定できない！

有孔虫の生活環

池田 (2005MS) より



- ・アガモント → 小さな初室（微球型） 無性生殖を行う
- ・ガモント → 大きな初室（顕球型） 有性生殖を行う
- ・有孔虫一般にみられる。



- ・アガモント
- ・ガモント
- ・シゾント → 大きな初室（顕球型） 無性生殖を繰り返す
- ・サンゴ礁海域に生息する大型有孔虫の一部の種が行う。

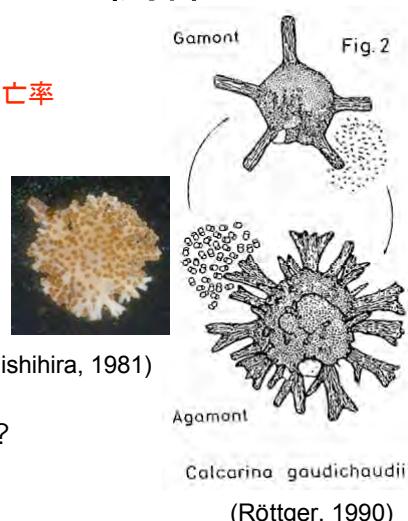
大型有孔虫の生殖生態と 炭酸塩生産量との関係

- 無性生殖(多分裂)

- 多分裂様式→産クローン数や初期死亡率
 - ・ 2種類: 裸殻内多分裂と殻外多分裂
- 幼生サイズ→初期死亡率(捕食率)
- 産クローン数→初期値
 - ・ 産クローン数を決める要因は?
 - 親サイズとの関係
 - 幼形サイズとの関係
- 無性生殖率→初期値
 - ・ 不明(ねずみ算式に増えるのか?)
 - ・ <1%: *Baculogypsina* (Sakai and Nishihira, 1981)

- 有性生殖(配偶子放出)

- どれくらい新規加入しているのか?
- 分散による加入とともに未知数



殻外多分裂を行う大型有孔虫 —*Cycloclepeus* の例—

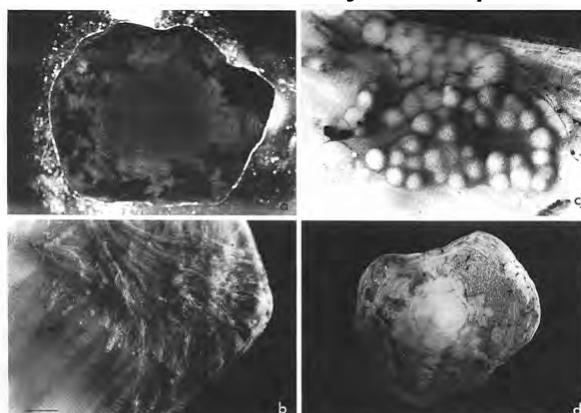


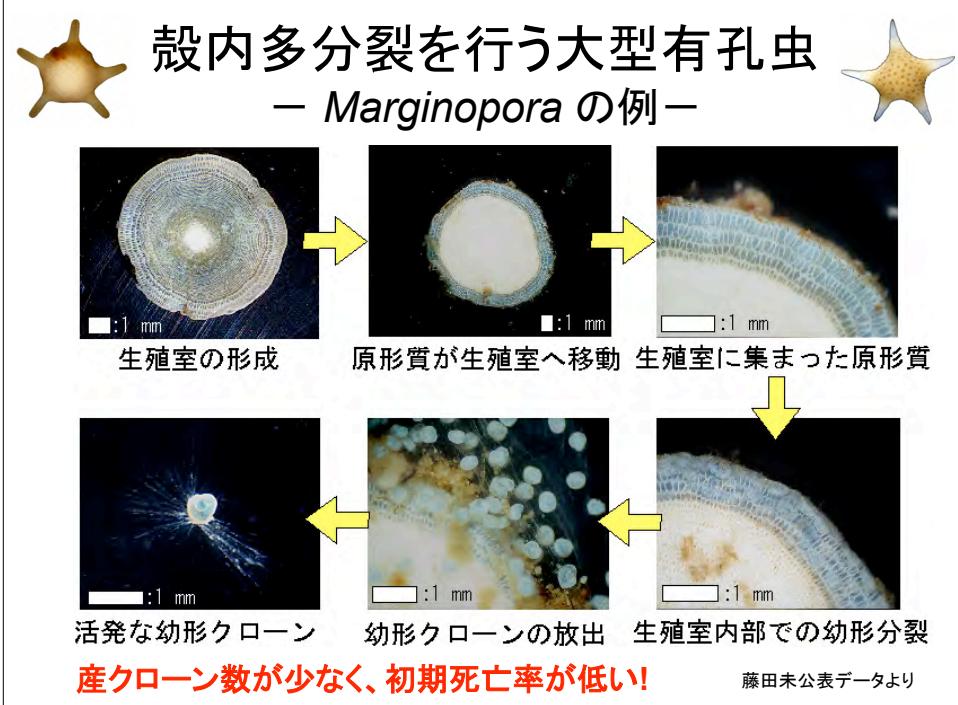
Fig. 6. *Cycloclepeus carpenteri*. Multiple fission of agamonts. (a) The entire symbiont-containing protoplasm (dark areas) has emerged from the agamont and is located on top of the now colourless test (test size 3.5 cm). (b) Close-up of (a). Streams of protoplasm of varying width flow in all directions for several hours before daughter cells, that is the young gamonts, differentiate from it. Scale bar: 1 mm. (c) The spherical anlagen of the daughter cells (size about 250 µm) have been formed. In this early stage they are devoid of symbionts and are thus colourless but they are surrounded by symbiont-containing residual protoplasm. (d) During the formation of the anlage of the second chamber, the symbionts are transferred to the daughter cells from the residual protoplasm. The two-chambered anlagen spend many hours on top (and often also underneath) the now inanimate mother test (size 3.6 cm) while they form their first calcareous tests.

Krüger et al. (1996/97) より引用

- 原形質が殻外へ排出される。
- 殻外で多数のクローンを形成する。
- 形成直後は石灰質の殻に覆われていない。



産クローン数が多く、
初期死亡率が高い！



大型有孔虫の無性生殖様式と
産クローン数との関係

Foraminiferal species	mode of multiple fission	#offspring		References
		range	mean	
Amphisteginidae				
<i>Amphistegina lessonii</i>	external	<1000		Muller (1977)
<i>Amphistegina lobifera</i>	external	<2000		Muller (1977)
<i>Amphistegina madagascariensis</i>	external	500-1800	1100	Muller (1974)
Nummulitidae				
<i>Cycloclepus carpenteri</i>	external	400-2540	1214	Krüger et al. (1996/97)
<i>Heterostegina depressa</i>	external	1000-3000		Röttger et al. (1986)
Soritidae				
<i>Archaias angulatus</i>	internal	300-1000*		Hallock et al. (1986)
<i>Cyclorbiculina compressa</i>	internal	500-1000		Lütze and Wefer (1980)
<i>Marginopora kudakajmensis</i>	internal	107-331	188	Fujita (unpublished data)
<i>Marginopora vertebralis</i>	internal	60-150		Ross (1972)
<i>Sorites orbicularis</i>	internal	18-207		Kloos and MacGillivray (1978), Kloos (1984)
Calcarinidae				
<i>Baculogypsina sphaerulata</i>	internal	568-979	769	Sakai and Nishihira (1981)
<i>Calcarina gaudichaudii</i>	internal	1000-3000		Krüger (1990)
<i>Calcarina gaudichaudii</i>	internal		280	Röttger et al. (1990)

* not directly observed modified from Lee et al. (1990)

Calcarinidaeは殻内多分裂かつ産クローン数が比較的多い！

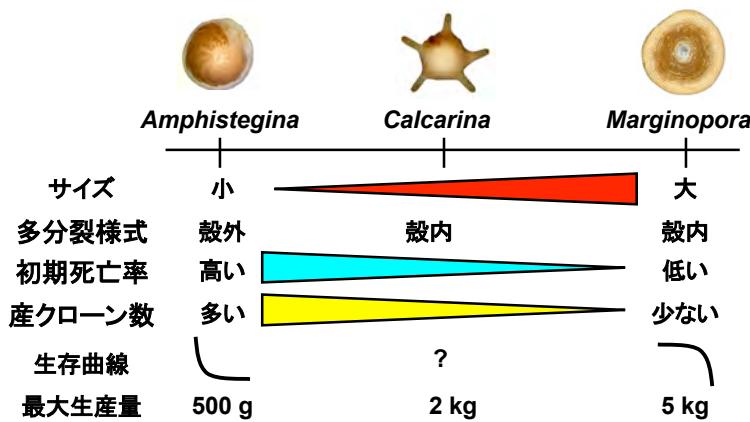
生産量に関する今後の課題

- 大型有孔虫の生活史・生活環の解明
 - 特にCalcarinidae
 - 西太平洋サンゴ礁海域の堆積物生産を考える上で重要
- 生活史形質と環境因子との関係
 - 寿命・成長率 vs 水温・光量
- 生産量の時空間変動
 - 時間: 10–10³年単位
 - 空間: local → Regional → Global
- 共通性から相違性(多様性)の解析へ

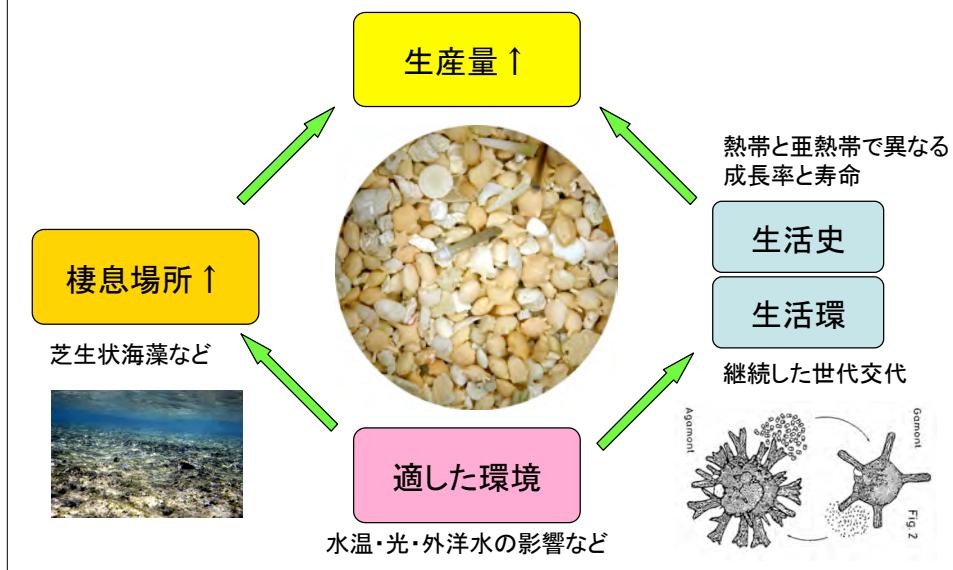


大型有孔虫の炭酸塩生産力を決める要因は？

- 第一に棲息密度
 - 最適な棲息場所の存在
- 第二に生活史形質の違い
 - 2種類の生活史戦略が認められる



有孔虫の生産量を高めるためには



沖ノ鳥島の堆積物中の有孔虫

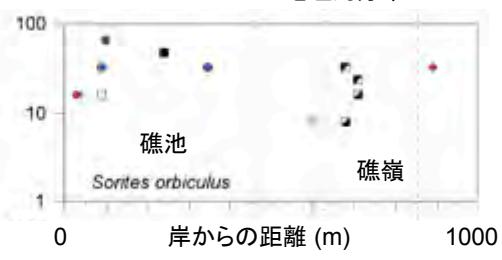
大森先生提供サンプル中の有孔虫

Foraminifera	A	B
<i>Sorites orbiculus</i>	3	3 (live 1)
<i>Cymbaloporella</i> spp.	4	1 (live 1)
<i>Bolivina</i> sp.	1	
<i>Clavulina pacifica</i>	1	
<i>Homotrema rubrum</i>	2	common
<i>Textularia crenata</i>	1	1
<i>Sphaerogypsina globulus</i>	1	
<i>Siphoniferoides siphonifera</i>		1
<i>Eponides</i> sp.		1

- 全て熱帯浅海域に特徴的な有孔虫で構成
- 生きていたと思われる個体もある
- 保存の良い殻もある→死後まもないか？
- Sorites*以外共生藻をもたない有孔虫
- Sorites*を含めて生産量は期待できないか？



S. orbiculus の地理的分布



沖ノ鳥島近辺の島々に棲息する有孔虫

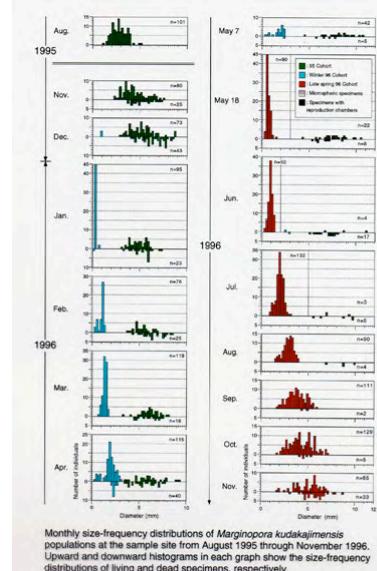
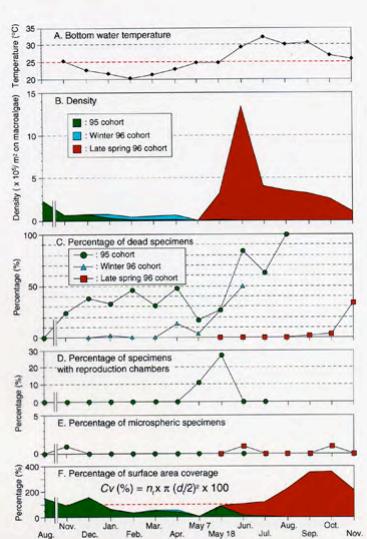
- 小笠原諸島

- サンプル数少ないため信頼性低い
- Baculogypsina*はない
- Calcarina*の分布は信頼性低いか？

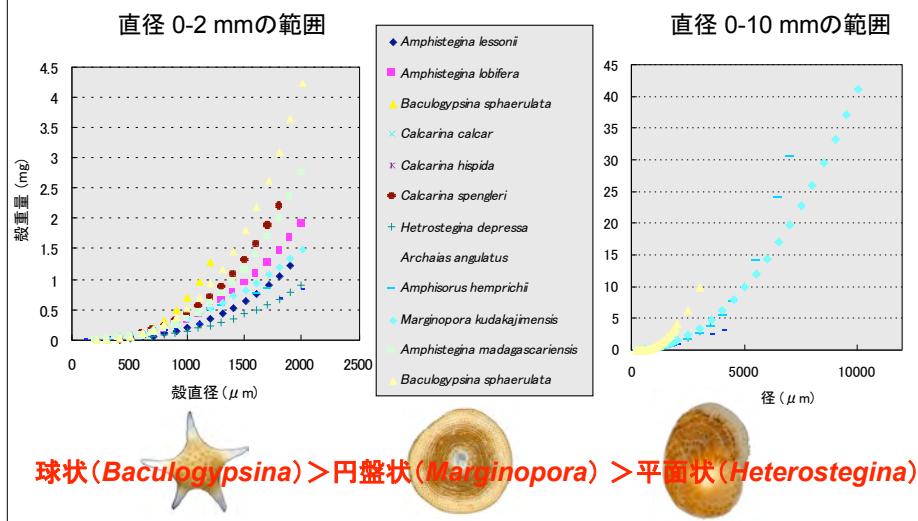


- マリアナ諸島

- グアム島以外サンプル数が少ない
- 琉球列島の有孔虫相と大差なし



サイズ(殻直径)と殻重量との関係



産クローン数と親サイズとの関係

有意な比例関係がある
殻外多分裂(*Amphistegina*)

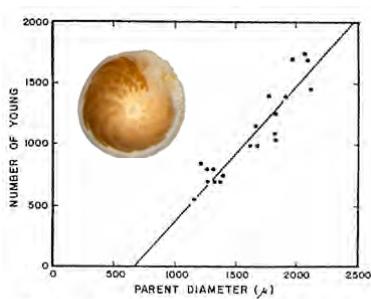
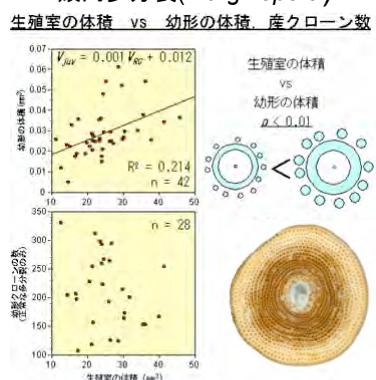


Fig. 4. Size-specific fecundity in culture specimens (equation 10).
Muller (1974) より引用

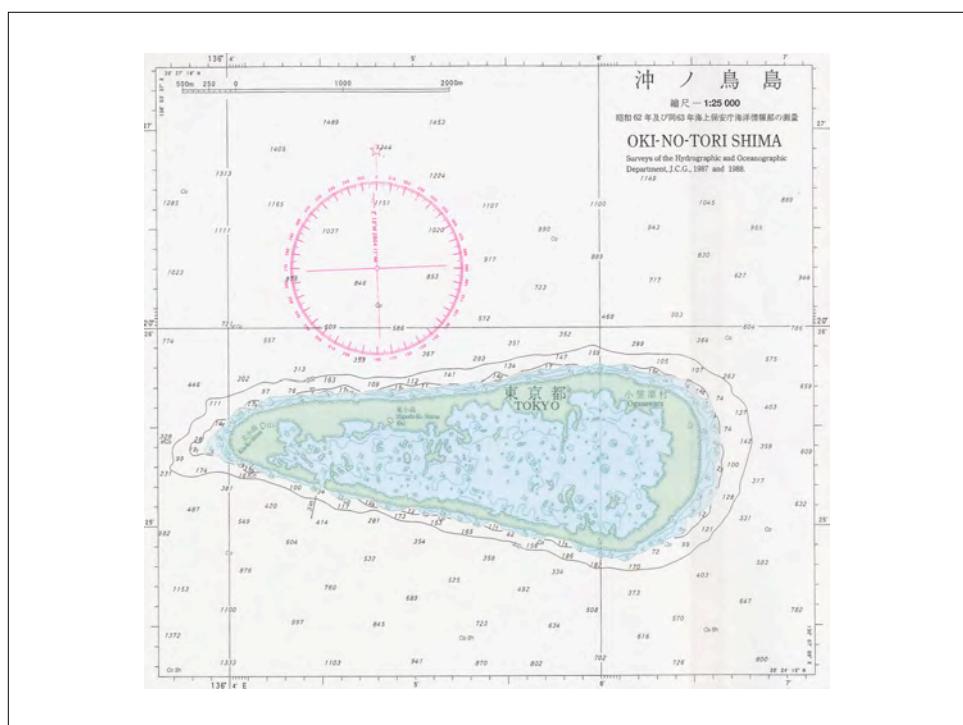
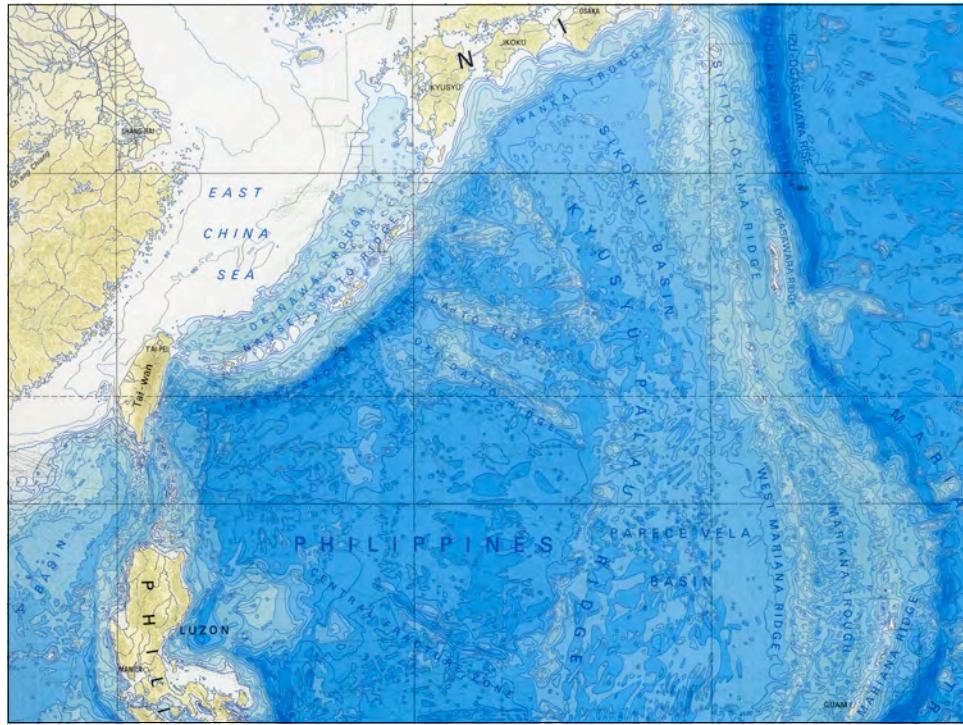
有意な比例関係はない
殻内多分裂(*Marginopora*)



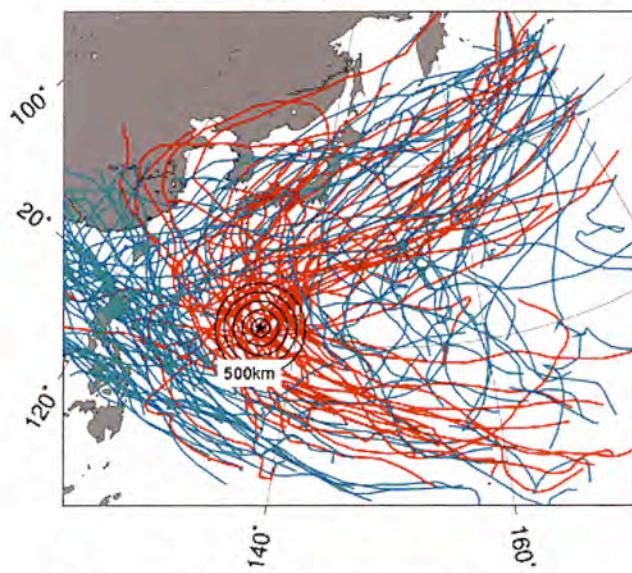
4) 2005 年 2 月 14 日(月)

礁湖および周辺の海水の
流れについて

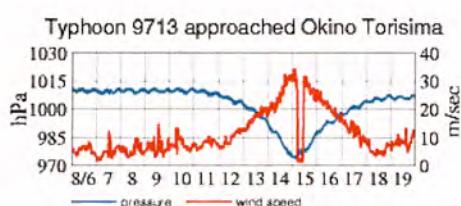
蓮沼 啓一
(株) 海洋総合研究所)



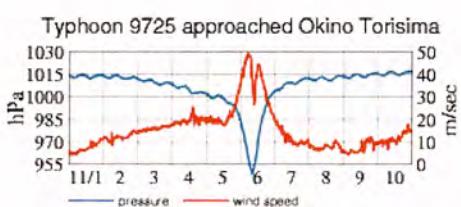
trajectory of typhoons 1993-1998.



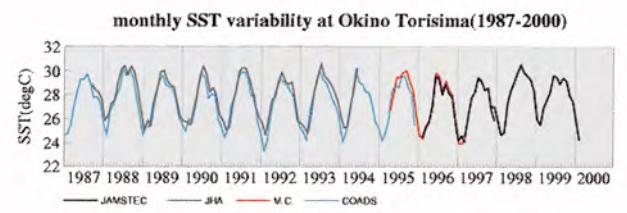
1993～98年の6年間に発生した台風の移動経路



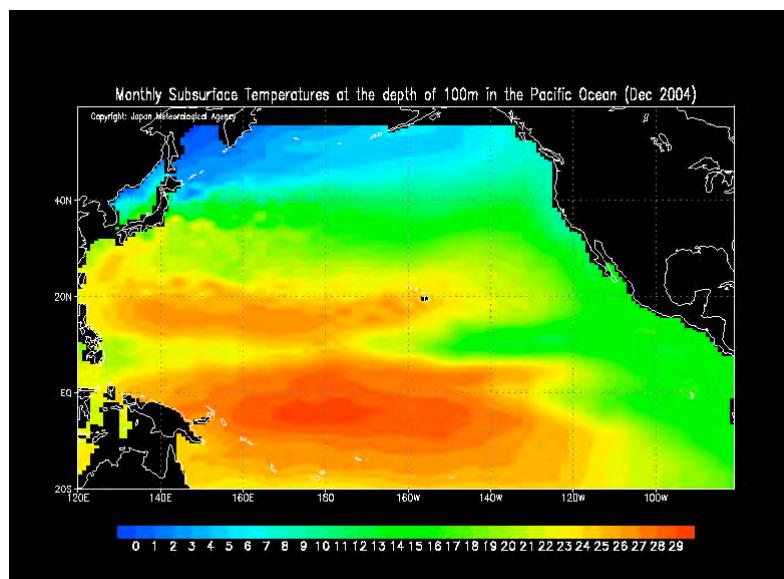
沖ノ鳥島で観測された大型の台風、97年の13号

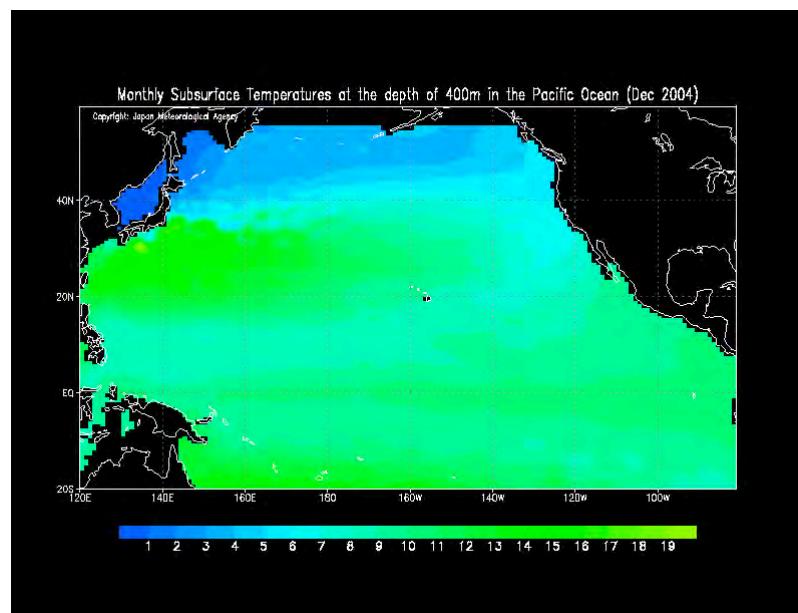
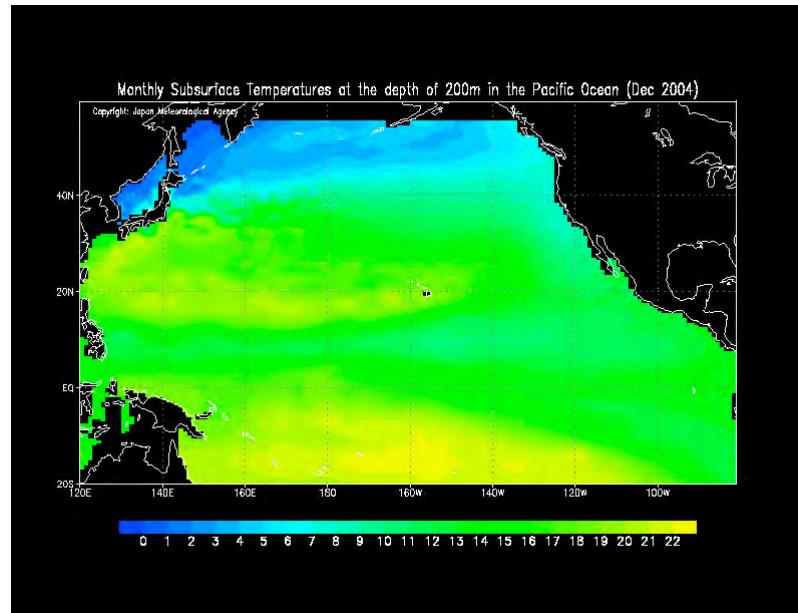


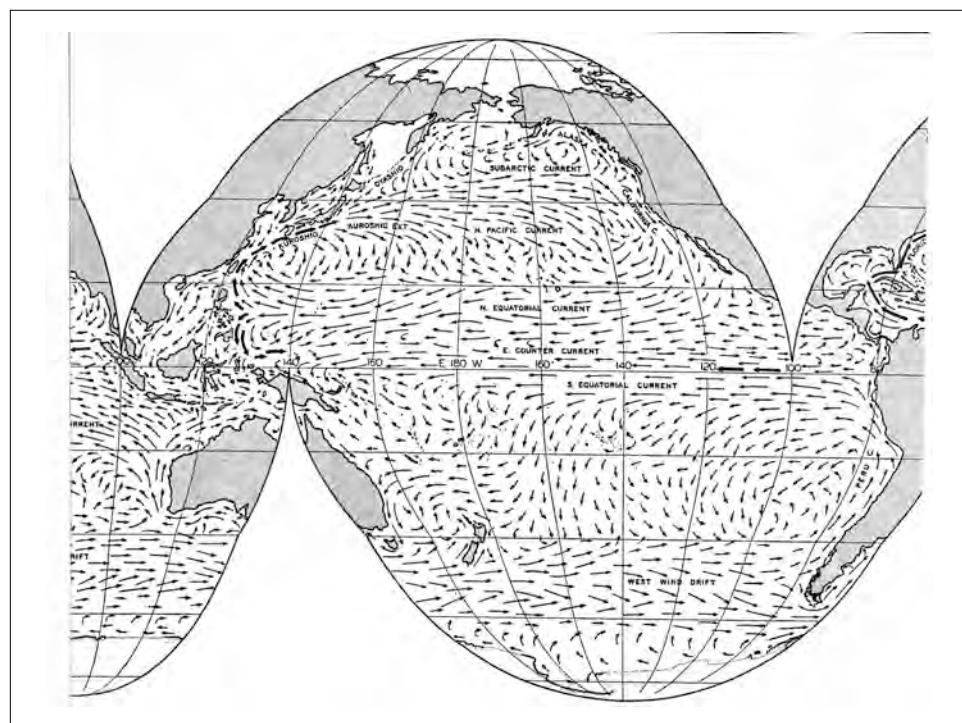
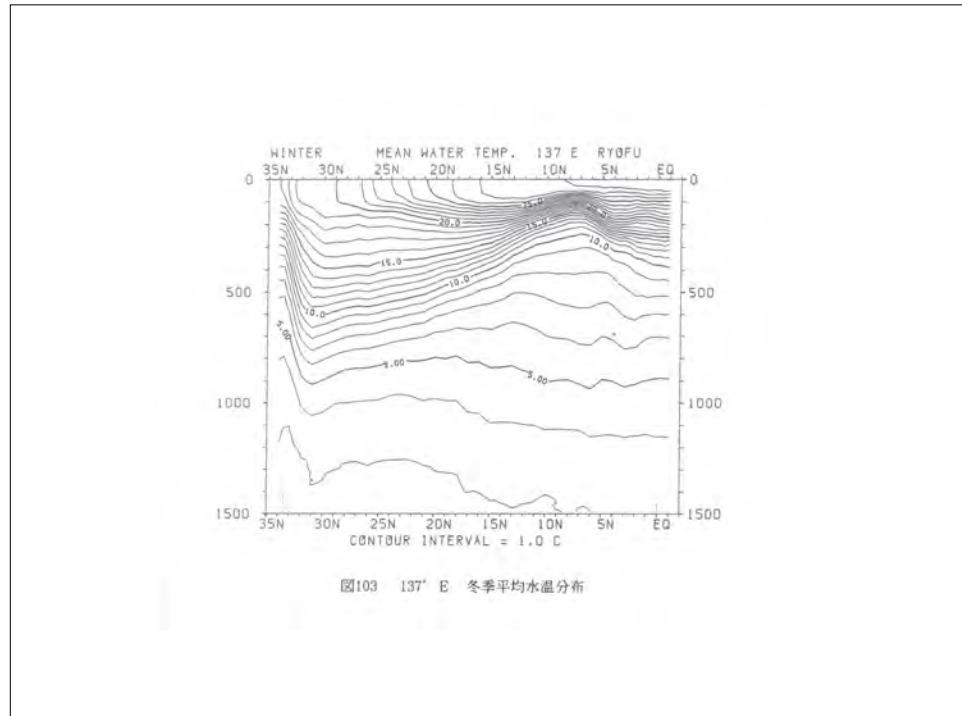
97年の25号の気圧（青線）および平均風速（赤線）

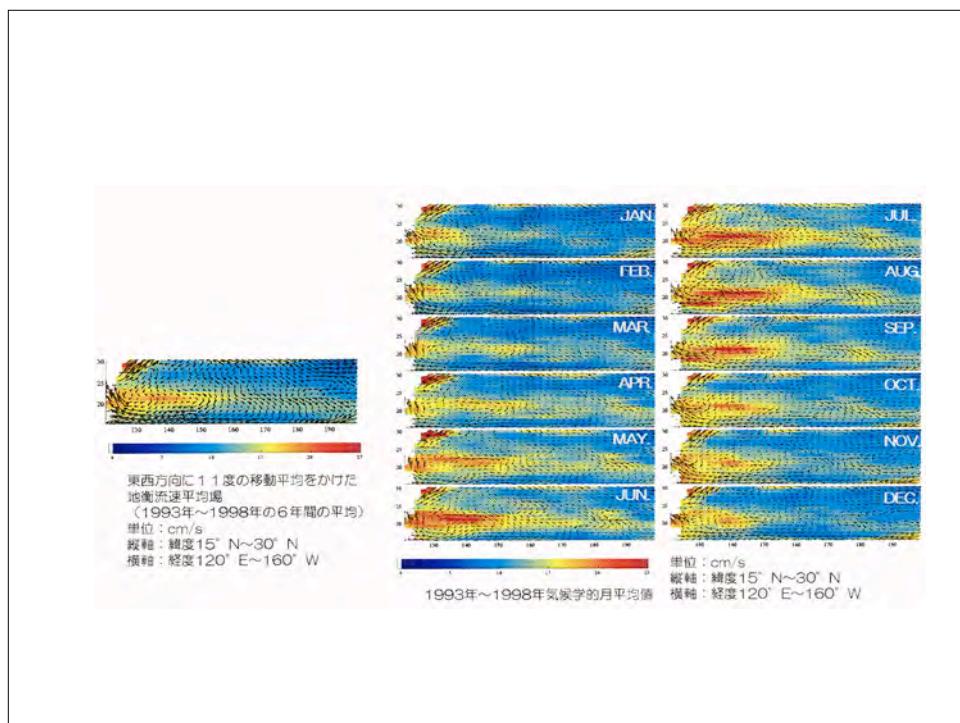
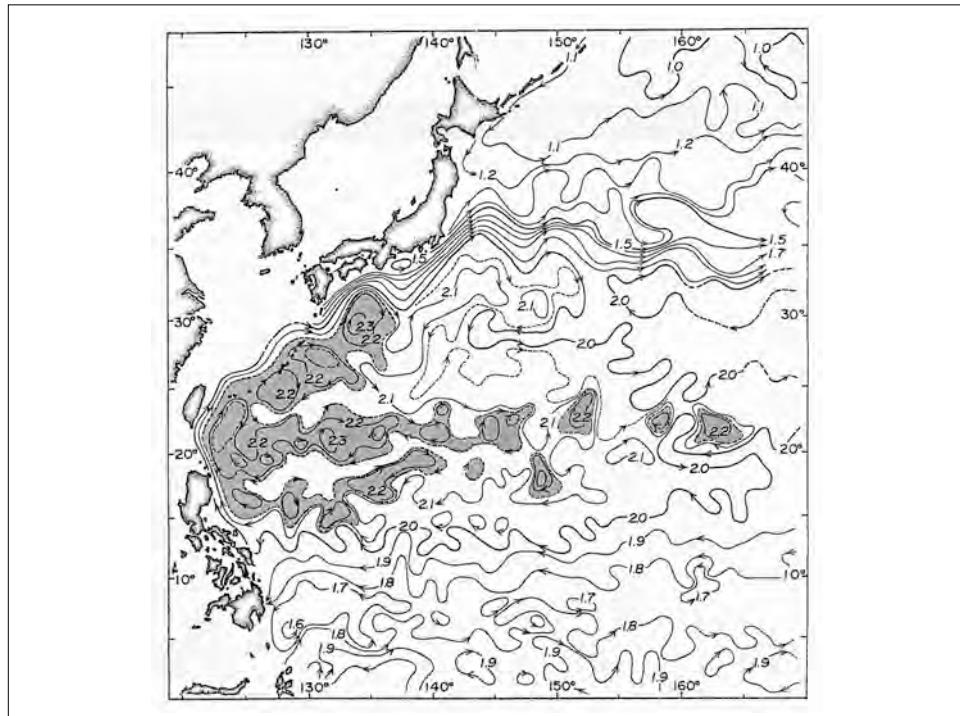


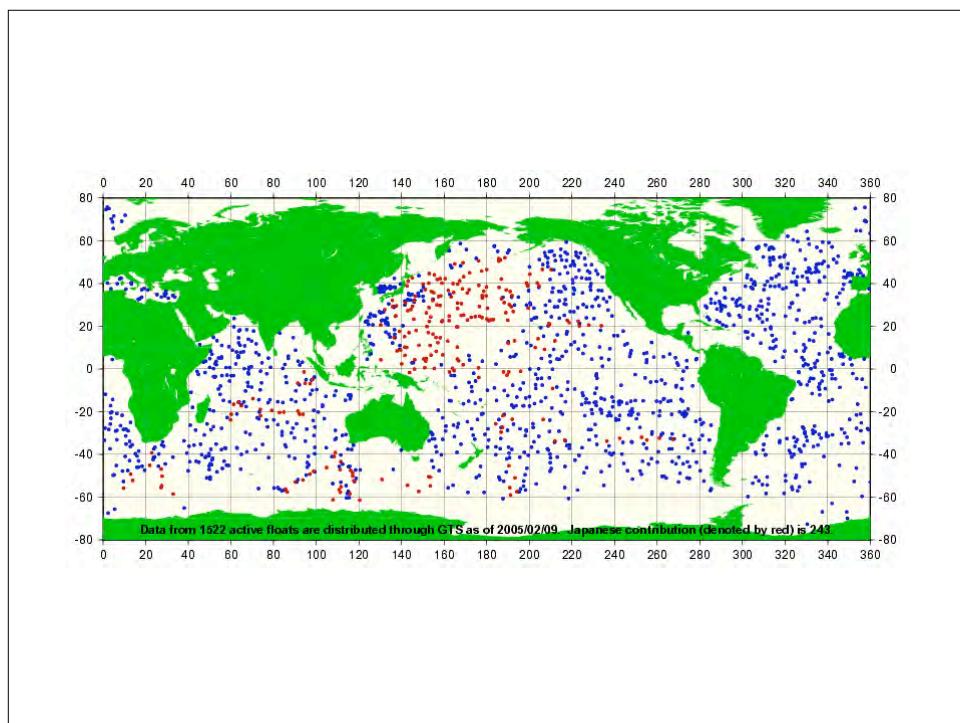
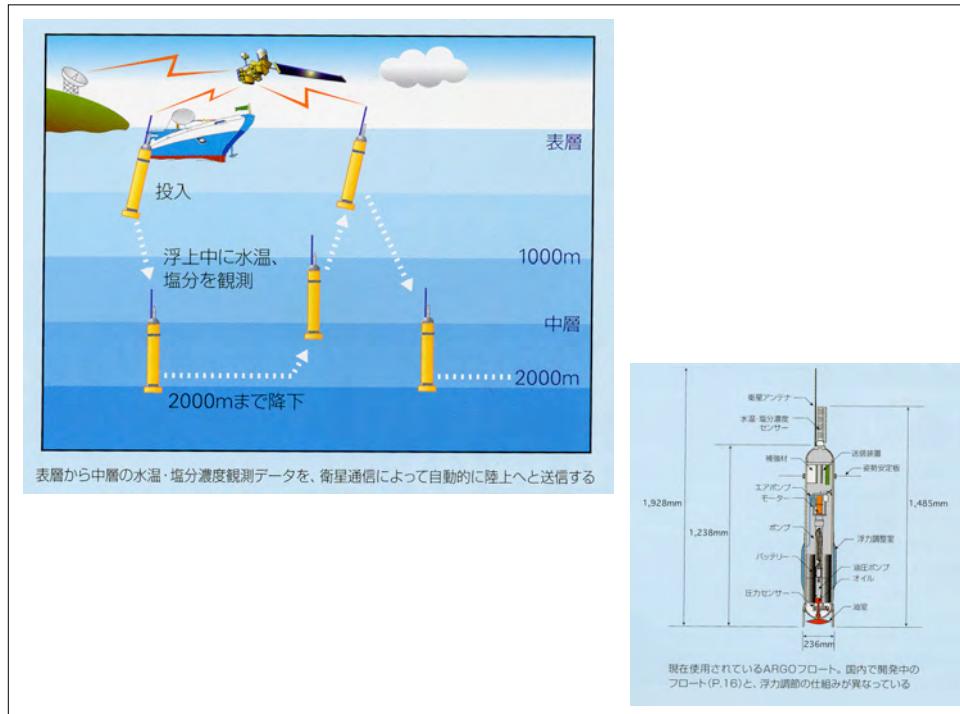
1987～2000年に沖ノ鳥島で観測された水温変化。海洋科学技術センターのデータは1996年以降

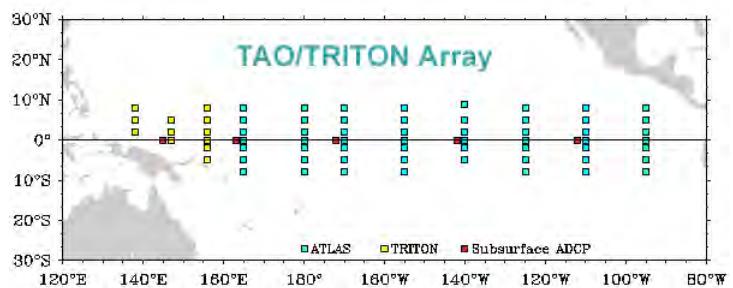


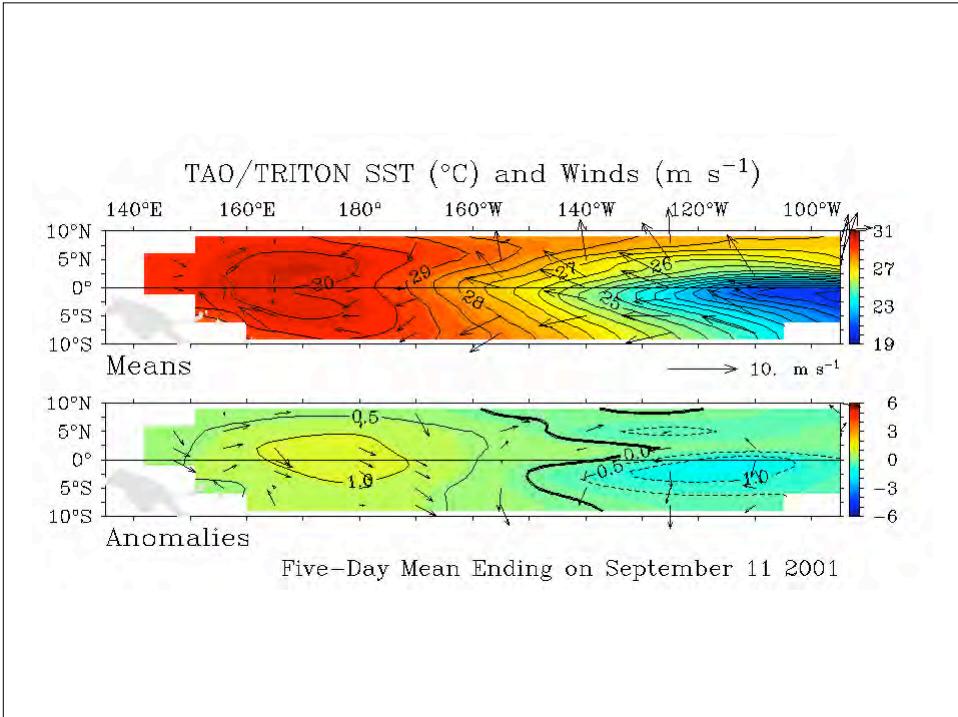








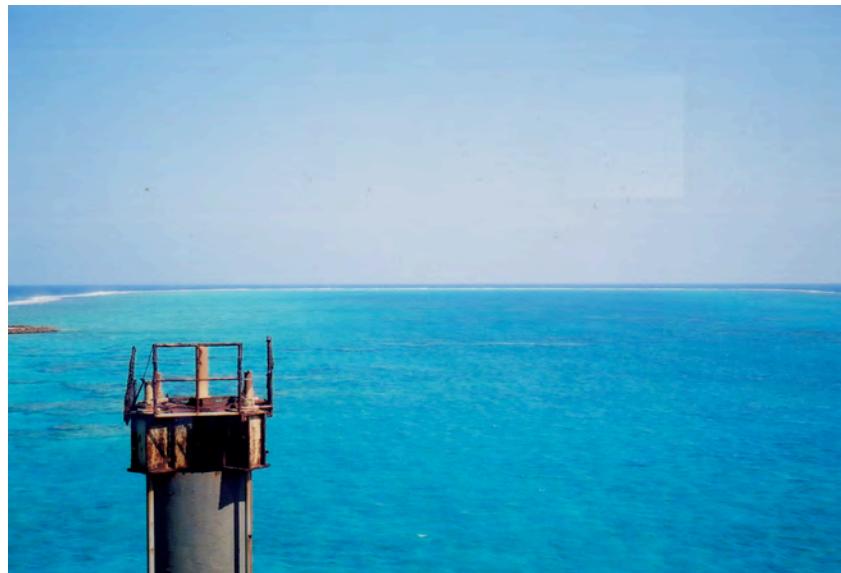


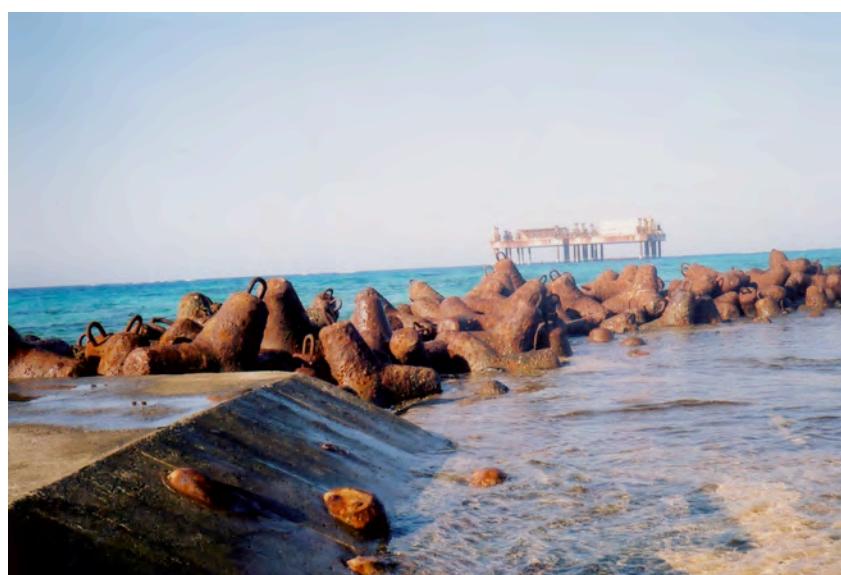






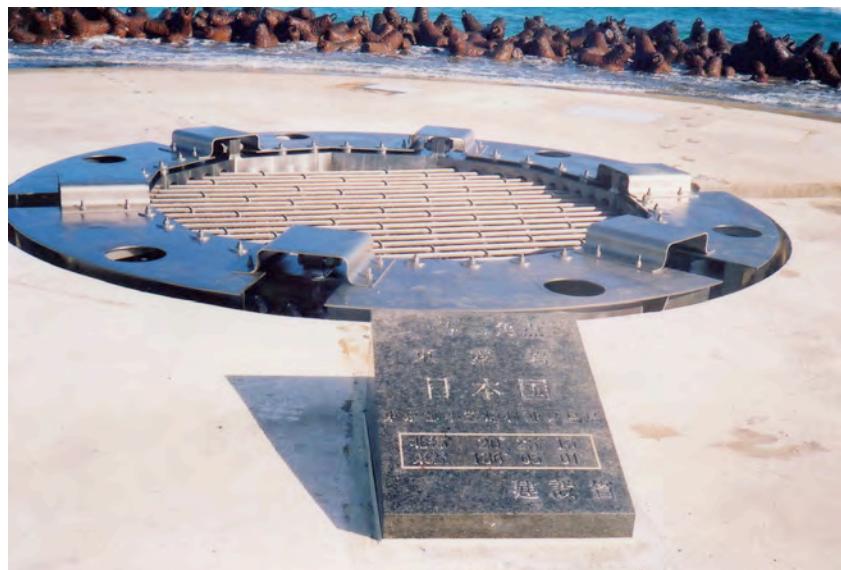


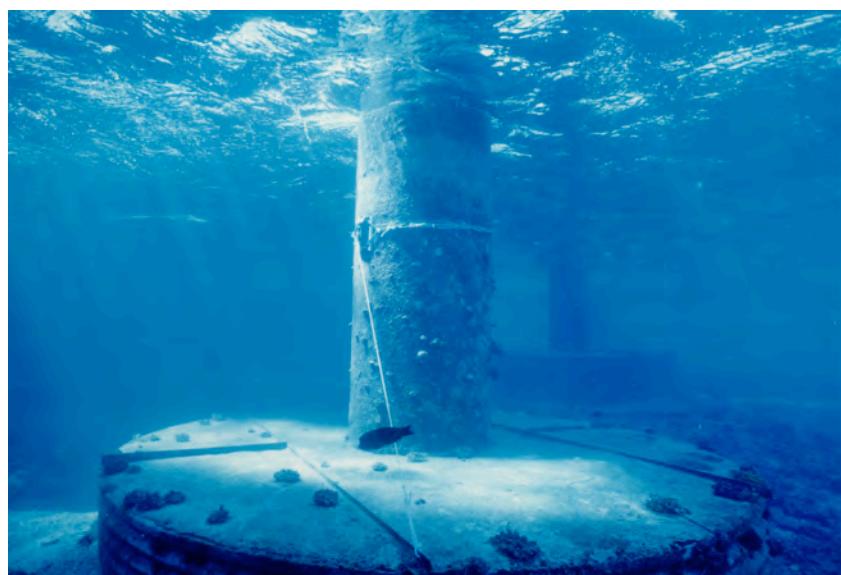


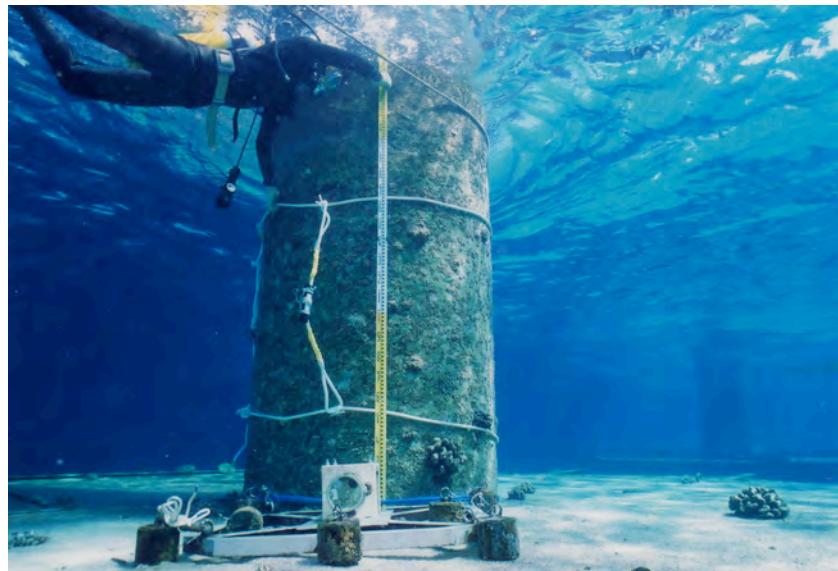


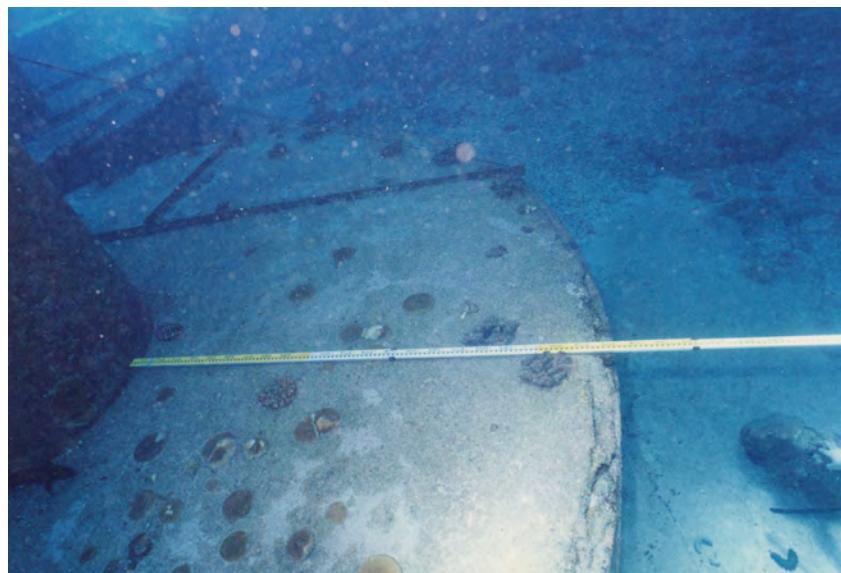


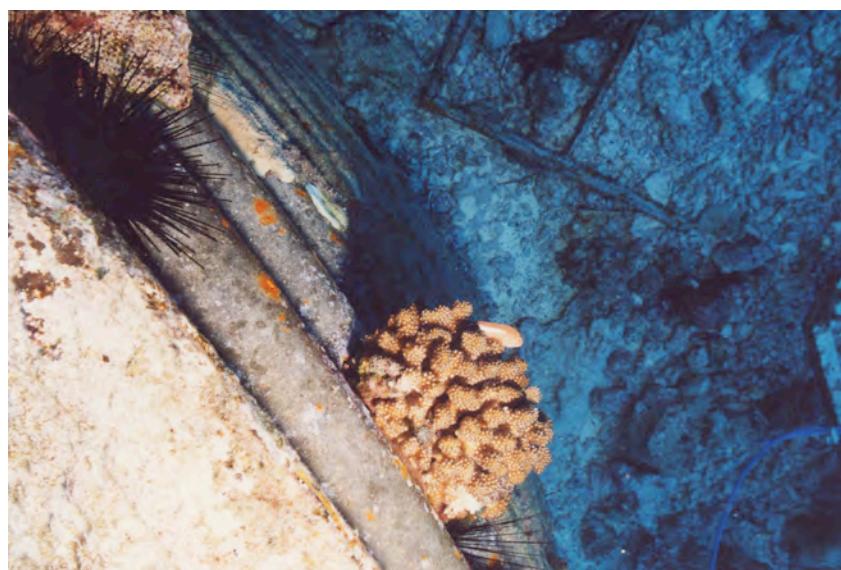


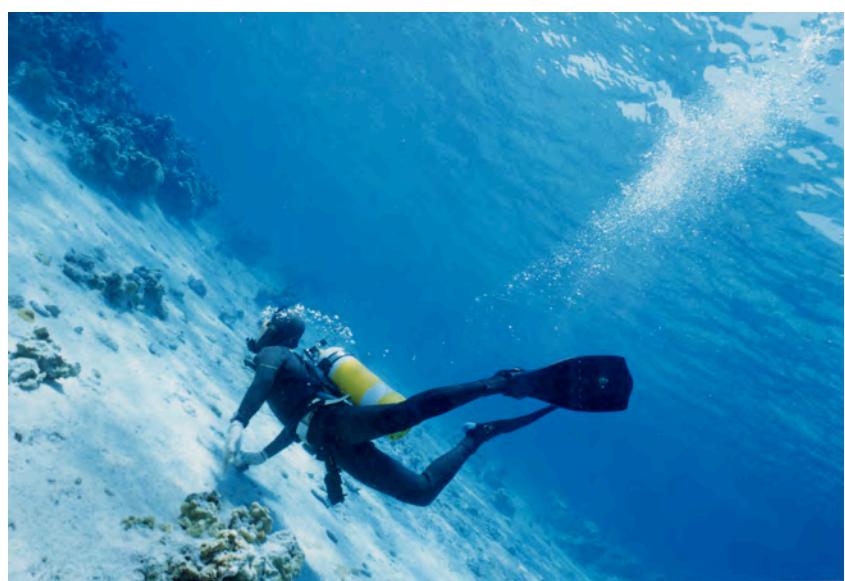








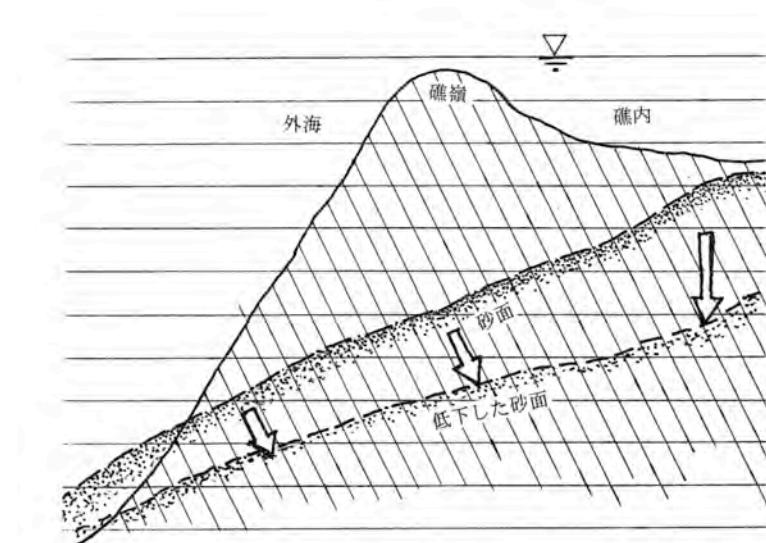
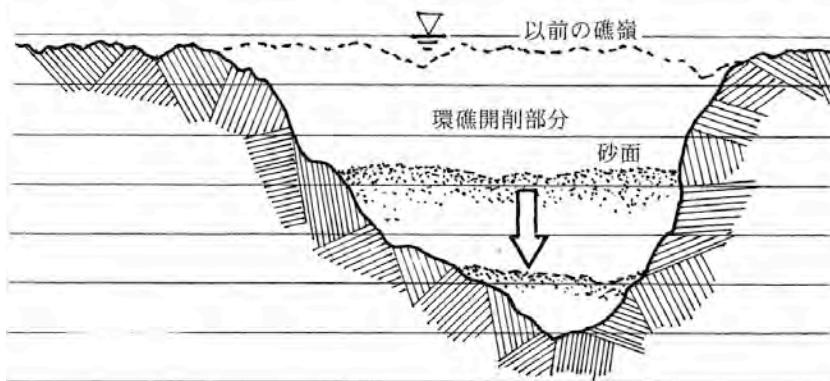














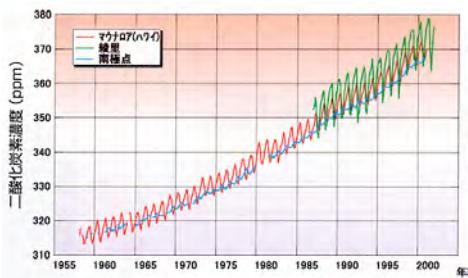


図2 大気中の二酸化炭素濃度の経年変化（気象庁資料より）
南極点（1957年より）、マウナロア（1958年より）、綾里（1987年より）で観測されたCO₂濃度の変動。夏には植物が活発に光合成を行ってCO₂を吸収するため季節変動がある。季節変動は植生の多い地点ほど顕著に見られる。



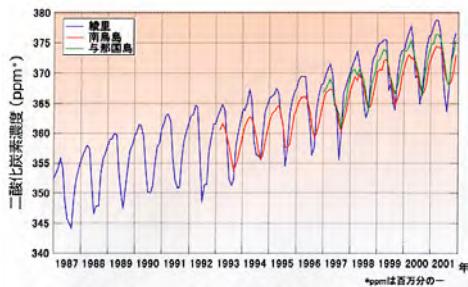


図1 気象庁の観測点での大気中の二酸化炭素濃度の経年変化
(気象庁資料より)

日本国内でも、近年、岩手県の綾里や、南鳥島、与那国島においてCO₂濃度が継続的に観測されており、いずれも増加傾向を示している。

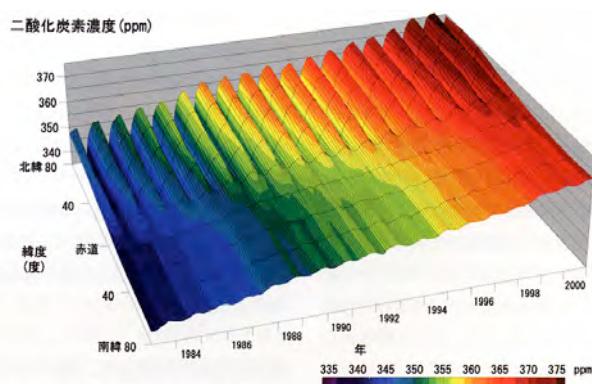
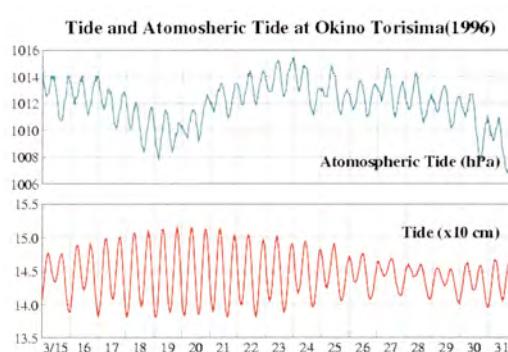
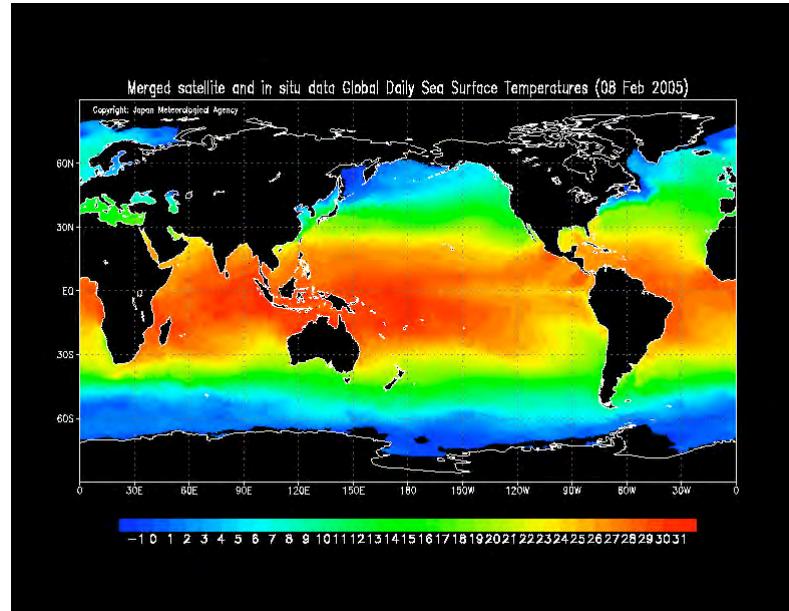


図3 緯度帯ごとに平均した大気中の二酸化炭素濃度の変動 (気象庁/WDCGGより)
このグラフからは年を追うごとにCO₂濃度が高くなっていることがわかる。北半球は南半球に比べて陸地が多いため、人為起源のCO₂排出が大きく濃度が高くなっている。また同じ年の中でも北半球のほうがCO₂濃度にムラ(季節変動)があるが、それは陸地が多い分植生も多く、夏に活発に光合成をしてCO₂を消費するためである。





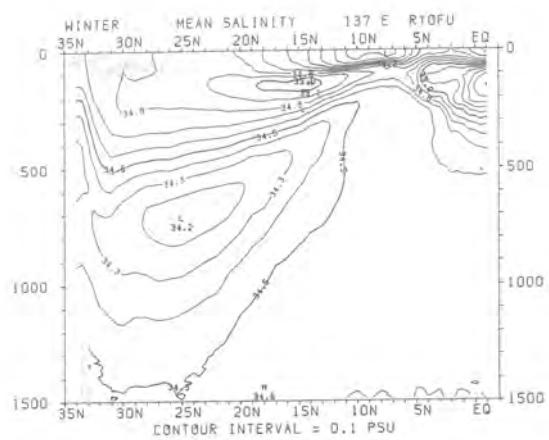


圖109 137° E 冬季平均鹽分分布