

円盤状四放サンゴ群體を利用した秋吉生物礁複合体 礁前面斜面の傾斜角の復元

長井, 孝一
琉球大学教養部地学教室

枚山, 哲男
福岡大学理学部地学教室

<https://doi.org/10.15017/4494721>

出版情報：九州大学理学部研究報告．地球惑星科学．19（1），pp.11-27，1995-12-27．九州大学理学部
バージョン：
権利関係：



円盤状四放サンゴ群体を利用した 秋吉生物礁複合体礁前面斜面の傾斜角の復元

長井孝一*・秋山哲男**

Reconstruction of reef front slope gradient of Akiyoshi Organic
Reef Complex using discoidal rugose coral colonies

Koichi NAGAI*・Tetsuo SUGIYAMA**

Abstract

The Akiyoshi Limestone Group is a huge exotic limestone mass containing abundant shallow marine fossils, and is thought to have originated as an organic reef complex. Well-preserved reef facies zonation is observable in the Middle Carboniferous part of the Akiyoshi Limestone Group.

Fossils of discoidal rugose coral *Ivanovia* sp. are obtained from the *Pseudostaffella antiqua* Zone in the Minami-dai area of the western Akiyoshi-dai plateau. Distribution of *Ivanovia* sp. is restricted to the lower reef front and upper fore reef slope in the Akiyoshi Organic Reef Complex. Reconstruction of reef front slope gradient is undertaken using discoidal colonies of this coral.

The relationships between basal planes of 10 *Ivanovia* colonies and geopetal planes on the reef front slope were measured by the use of stereonet projections. Consequently, it is confirmed that the slope was inclined about 30-40 degrees from the sea level in actuality.

I. はじめに

秋吉台は山口県のほぼ中央部に位置する本邦最大のカルスト台地である。秋吉台を形成する石灰岩は秋吉石灰岩層群と呼ばれ、フズリナ類をはじめとする石炭紀～二畳紀の豊富な化石群を産出することで古くから知られている。この秋吉石灰岩層群の成因が生物礁複合体起源であることは、既に1960年代に明らかにされている(太田, 1968)。また近年では、秋吉台をはじめとする西南日本秋吉帯(市川, 1984)に点在する上部古生界塊状石灰岩体は、大洋底から海面に達した玄武岩海山上に生成した玄武岩海山-礁石灰岩の上部が海溝地帯で切断・付加された異地性岩体であるという見解(勘米良, 1983; 1987など)が広く受け入れられて

おり、その崩壊・付加モデルも提示されている(SANO and KANMERA, 1991a-d)。

しかしながら、生物礁起源であることが明らかにされて30年近い年月が経過しているにもかかわらず、この生物礁複合体を構築する造礁化石群の古生態学的な復元作業は、未だに十分に行われていないのが現状である。筆者等は、石炭紀秋吉石灰岩層群中に見られる造礁化石群の古生態と生物フレームワーク(organic framework)の復元作業を通して、秋吉石灰岩層群の起源となる生物礁複合体(秋吉生物礁複合体: 秋山・長井, 1990)の形成・発達機構の解明を目的とする研究を続けている(NAGAI, 1985; 秋山・長井, 1990)。本論文では、秋吉生物礁複合体の礁前面(reef front)の斜面上で成長した四放サンゴ類を中心とする化石群を材料に、これらの化石群とその成長基盤である斜面との関係を解析し、生物礁複合体形成時の礁前面斜面の傾斜角に関する手がかりを得た。

本邦上部古生界の玄武岩海山を基盤とする石灰岩体では、礁前面斜面あるいは礁斜面(reef slope)の傾斜

平成7年10月2日受付, 平成7年10月16日受理

* 琉球大学教養部地学教室 Department of Earth Science,
Division of General Education, University of the Ryukyus

** 福岡大学理学部地学教室 Department of Geology, Faculty of Science, Fukuoka University

角を実際に測定した例は皆無である。これらの斜面の傾斜角を知ることは、生物礁のタイプや生物礁斜面上における生物作用や堆積作用を明らかにする上で極めて重要であり、その持つ意義は極めて大きい。

本稿では生物礁複合体 (organic reef complex) の術語を、LONGMAN (1981) の定義に従って以下の意味で使用する：浅海の高波浪エネルギー下で形成された強固な生物フレームワーク (rigid organic framework) と、これに成因的に付随した多くの facies からなる生物源の石灰岩体。形成時には明瞭な地形的突出を持つ。

謝辞 本研究を進めるにあたり、九州大学理学部柳田壽一教授には終始適切な御指導御助言をいただいた。秋吉台科学博物館杉村昭弘学芸員、配川武彦学芸員には有益な御助言をいただくとともに、野外調査や試料収集に際し多大の御便宜を計っていただいた。以上の方々に心より御礼申し上げる。秋芳町立秋吉台科学博物館ならびに住友大阪セメント(株)秋芳鉱山には野外調査や試料採集に際し多くの御協力をいただいた。ここに記して深く感謝する。

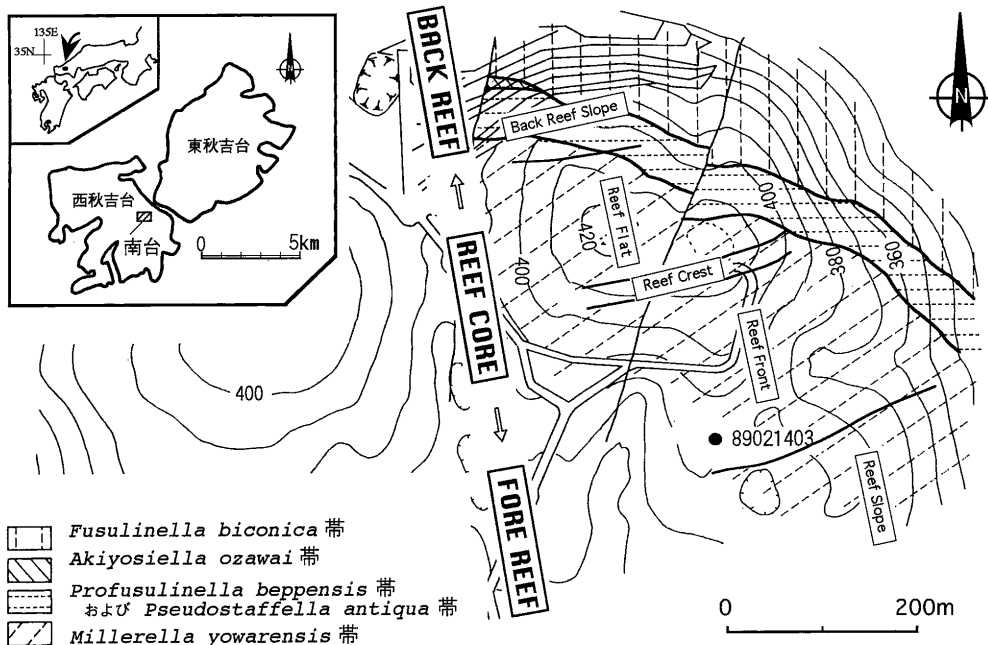
この小論を長年に渡って御指導いただいた柳田壽一教授に、先生の御退官を記念して、深い感謝の意を込めて捧げる。

II. 調査地域の地質概説

1. 層序と地質の概説

研究試料の採集地点は山口県美祿郡秋芳町秋吉台の、住友大阪セメント(株)秋芳鉱山南台採石場内である。この地域の層序と地質構造および石灰岩の特徴等の概要は、すでに長井 (1979)、長井・太田 (1980)、松山・長井 (1990) で報告しているの、本稿で必要と思われることだけを簡単に記す。この地域の地質図を第1図に示す。この地質図は南台採石場開発前から開発初期の調査データを基に作成したものであり、採掘に伴い現在の地形は大きく変貌している。本地域には下位より順に、下部～中部石炭系の次の5つの化石帯が分布する。

Millerella yowarensis 帯
Pseudostaffella antiqua 帯
Profusulinella beppensis 帯



第1図 南台地域の地質図。石灰岩試料の採集地点と生物礁複合体の古地理的配置を示す。地形等高線は採石場開発初期のものであり、現在の地形は大きく変化している。試料の採集地点(89021403地点)は旧地形上の標高385m地点に示しているが、実際の試料採集地点は旧地表面から約10m削った標高374mの採石ベンチ上になる。

Akiyoshiella ozawai 帯

Fusulinella biconica 帯

本地域の地質は大きく逆転し、南西に向かって緩く傾斜する。すなわち南台頂上部（現在は消失）から南側斜面にかけて *M. yowarensis* 帯が広く分布し、南台頂上付近から北側斜面を下るに従って、これより上位の化石帯が順次露出する。数本の南北性の断層は見られるものの、石灰岩の保存は概して良く、化石帯や岩相の連続性もよい。

鉱山の開発に伴い、この地域のほぼ中央部 *M. yowarensis* 帯から *P. antiqua* 帯にかけて、多彩な造礁化石群によって構築された大規模な生物フレームワークが露出した。このフレームワークを含む調査地域に分布する石灰岩の生・岩相の特徴とその分布に基づいて、前期～中期石炭紀の生物礁複合体の堆積古環境と、この地域における古地理的配置を復元し、既に報告している（長井, 1979; 杵山・長井, 1990）。

2. 秋吉生物礁複合体の堆積古環境区分と古地理的配置

この時代の秋吉生物礁複合体は、大きく前礁部 (fore reef)、礁中核部 (reef core) および後礁部 (back reef) に3分される。礁中核部は、生物礁複合体の中核をなし、造礁生物が築き上げた生物フレームワークを主体とする部分である。前礁部は礁中核部よりも外洋側の部分を示し、後礁部は礁中核部よりも内側（外洋と反対の側）の部分で礁湖 (lagoon) と呼ぶこともできる。第1図中にその古地理的配置を示す。調査地域の中央部に東西に広く分布する礁中核部を挟んで、北側が古地理的に生物礁複合体の内側（後礁部側）、南側が外側（前礁部側）の配置になる。礁中核部と前礁部は、さらに幾つかに細分できる。礁中核部は第1図に示すように、外洋側から内側に向かって、さらに礁前面 (reef front)、礁嶺 (reef crest)、礁原 (reef flat) および後礁部斜面 (back reef slope) に細分できる。それぞれの部分における石灰岩の生・岩相の特徴等の詳細については本稿では省略する。

秋吉生物礁複合体形成時の古地形に関する地質記録は、現在の石灰岩中にはほとんど残されていない。特にその大地形に関する直接的な証拠は完全に失われている。しかしながら、石灰岩の生・岩相の特徴やその分布を、現世サンゴ礁や地質時代の生物礁のそれらと比較することによって堆積古環境を推定し、その結果を古地形的要素を含めた模式断面図の形で表現することはある程度可能である。本調査地域でも、そういった復元図を作成し（杵山・長井, 1990, の fig. 2）、そ

の図の中に主要造礁化石の分布を示した。本稿ではその図の再掲を避けた。代わりに、前礁部、礁中核部、後礁部の大区分のみを示した復元図を第7図の一部として用いているので、その図を参照されたい。

本稿の主題と直接関係する礁前面は、海水面直下の平坦部である礁原—礁嶺と前礁部の礁斜面 (reef slope) の間に位置する。礁中核部の最も外洋側の部分を構成し、秋吉生物礁複合体の中で最も礁フレームワークの発達が良い、構成化石群の多様性も最も高い部分である。この礁前面は礁斜面と同じく外洋側に傾斜した斜面を形成する。両者の境界は造礁生物の生息限界の水深に近似されるが漸移的である。なお、礁前面も斜面を構成することから、地形的形態を重要視して、礁前面を礁中核部ではなく前礁部の方に含めて扱う研究者もいる。

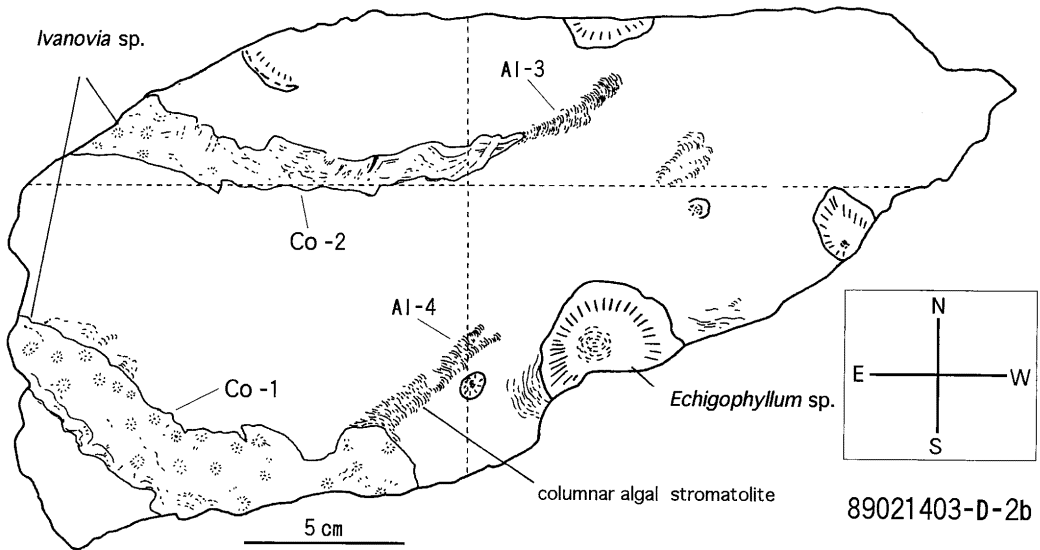
3. 試料の採集地点

本稿で使用した試料の採集地点（第1図中に示す 89021403地点）は鉱山採掘開始後の標高約374mの採石ベンチ壁面である。ただし採石場内は採掘に伴う地形の変化が激しいため、第1図ではその位置を便宜的に採掘開始前の原地形図上に示している。実際の採集地点は、この原地形図上の地点（標高約385m）から表層部を約10m 削剝した位置にあたる。試料採集地点の開発前の地表部は *M. yowarensis* 帯上部に属し、逆転した地層を削剝した関係で、試料採集地点はこれより上位の *P. antiqua* 帯に属する（表現が困難なため地質図には示していない）。この試料採集地点は、古地理的には礁斜面に近い礁前面の下側部分 (lower reef front) に位置する。

III. 研究試料

1. 採集試料について

礁前部の斜面の傾斜角を推定するのに利用した研究試料は、89021403地点から採集した石灰岩塊試料のうちの1つ（89021403-Dブロック）である。この石灰岩試料には円盤状—平板状の群体四放サンゴ (*Ivanovia* sp.)、樹状四放サンゴ (*Echigophyllum* sp. ほか数種)、層状石灰藻、床板サンゴ (2種)、腕足類、腹足類などの保存の良い化石と破片化した海ユリ—コケ虫および多くの化石片 (bioclasts) が含まれている。また、層状石灰藻は時に細かなラミナの積み重ねからなる円柱状のストロマトライト構造 (columnar algal stromatolite) を造る。第1図版の第1図に、この石灰岩試料の野外での産状を示す。なお採石ベンチを造成する過程で、ブルドーザーによって幾分押されている



第2図 円盤状四放サンゴ *Ivanovia* 他の化石を含む石板のスケッチ。右下に示す四角で囲んだ方位は石板面内に設定した仮方位を示す(第4図, 5図も同じ)。石板の表裏2面のうちの仮方位を設定した面(a面)に対し、このスケッチ面は裏面(b面)に当たるため、仮方位のEとWが逆になって現れている。

ために、残念ながら、この試料の現在の空間に対する正確な方位は失われている。

採石時に2つに割れたため、大きなブロックとしては採集できなかった。採取した2つの石灰岩試料を厚さ約2~3 cmの石板14枚に切断し、それぞれの石板にD-1~D-5およびD'-1~D'9の番号を付け、さらにその両面を研磨して、それぞれのa面, b面とした。これにより全部で28面の観察面が得られた。1面あたりの観察面積は、石板によって大小の違いはあるが、おおむね500cm²程度である。

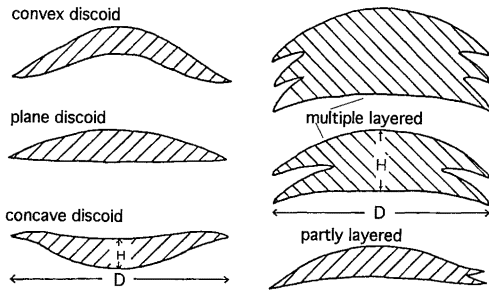
第1図版の第2図に石板の写真を、そのスケッチを第2図に例示する。極粗粒の海ユリ茎片を基質に、切断面では薄い層状に見える群体四放サンゴ *Ivanovia* と円錐状の樹状サンゴ *Echigophyllum*, およびサンゴに付着成長する円筒状のストロマトライトが観察される(第1図版, 第4図)。第2図の石板スケッチから、この石板内にみられる3つの円柱状ストロマトライトの成長方向がほぼ同じ向きであること、およびこの円柱状ストロマトライトの成長軸の向きと *Ivanovia* 群体の底面が明らかに斜交関係にあることが読みとれる。ストロマトライトの成長方向が成長時の鉛直線に近似でき、*Ivanovia* 群体の底面がその成長基盤に近似できると仮定すると、*Ivanovia* 群体は傾斜面を基盤として

成長していたことになる。

2. 円盤状 *Ivanovia* 群体

28面の観察面のすべてを詳細にスケッチし、それらを積み重ねることによって *Ivanovia* 群体の形態の復元を試みた。*Ivanovia* 群体は、縦断面では、底面の形が下に凸、ほとんど平坦、上に凸の3つの断面であられ、側方に向かってしだいに薄くなる平板状の形態を示す。ただし、サンゴ群体の載る基盤は極めて粗粒の化石片からなり凹凸が激しいため、群体の底面にもこれに沿った多くの凹凸がみられる。群体の平面形については、群体の底面に高角度で交わるように石板を作製しているため、直接見ることはできない。縦断面の断面線をつなぎ合わせて間接的に求めた平面形は、やや不規則な円形あるいは楕円形を示している。したがって全体の形態は上記3タイプの底面を持つやや不規則な円盤形となる。

群体がただ1層の円盤形のものを基本形と考え単層タイプとした(第3図の模式断面図左半分に示す)。この単層タイプに対し、群体の周辺部で数層が重なり合ったり、ジグザクの構造を持つものを多層タイプとした(第3図の右半分に示す)。多層タイプの群体は相対的に厚く、その周辺部の構造は層孔虫類やケーテテス類に見られるジグザク状の縁 (ragged margin) に良



第3図 *Ivanovia* 群体の外形による区分 (底面に垂直な模式断面図で示す). D:直径, H:高さ.

く似る.

28面の観察面のうちの4面以上に渡って観察され、さらに群体の最大直径の3分の2以上の部分が石板内に残っていると見なされる群体が全部で10個観察された。この10の群体に下位にあるものから順に Co-1 から Co-10 の番号を付した。10の群体の空間配置と群体タイプおよび直径、高さ、直径/高さ比を測定した計測値を第1表に示す。計測値から、群体のサイズは、直径が大きくとも20cm程度、高さは3cm程度まで、直径/高さ比は約3~7で多層タイプの群体では小さくなる傾向が読みとれる。空間配置とは群体が生息位置にあるか転倒した状態にあるかを示す。10群体のうち、7つの群体は正常位置にあり、3つの群体(Co-1, 7, 10)は完全に転倒した逆向きの状態にある。転倒した群体も化石としての保存は極めて良く、壊れていない。

第1表 *Ivanovia* 群体の空間配置、群体の形態および計測値。空間配置は群体が生息位置にあるか転倒した状態にあるかを示す。

colony no.	position of colony	colony type	diameter D (cm)	height H (cm)	D/H
Co-10	overturned	multiple layered	10.0	2.8	3.6
Co-9	normal	plane discoid	13.0	2.0	6.5
Co-8	normal	multiple layered	1.5+	3.0	2.5+
Co-7	overturned	multiple layered	9.0	3.0	3.0
Co-6	normal	multiple layered	17.0+	3.0	5.7+
Co-5	normal	partly layered	7.3	1.8	4.0
Co-4	normal	concave discoid	11.2	2.5	4.5
Co-3	normal	concave discoid	6.0	1.2	5.2
Co-2	normal	partly layered	18.0+	2.5	7.2+
Co-1	overturned	convex discoid	15.0+	2.1	7.1+

Ivanovia 群体の薄片写真を第1図版の第3図に示す。各個体の間に隔壁 (wall) を欠き、泡板 (dissepiments) でつながる aphyroid 群体をつくる。また、周期的に繰り返すステレオプラズマ層 (stereoplasmic layer) を持つことで特徴づけられる。

IV. 礁前部斜面の傾斜角の復元

石板中に見られる *Ivanovia* 群体の底面と、円柱状ストロマトライトの成長軸の方向および当時の水平面の3者の関係を以下の方法によって求め、これによって生物礁複合体形成時の礁前部斜面の傾斜角の復元を試みた。

1. 方法

(1) 仮方位の設定

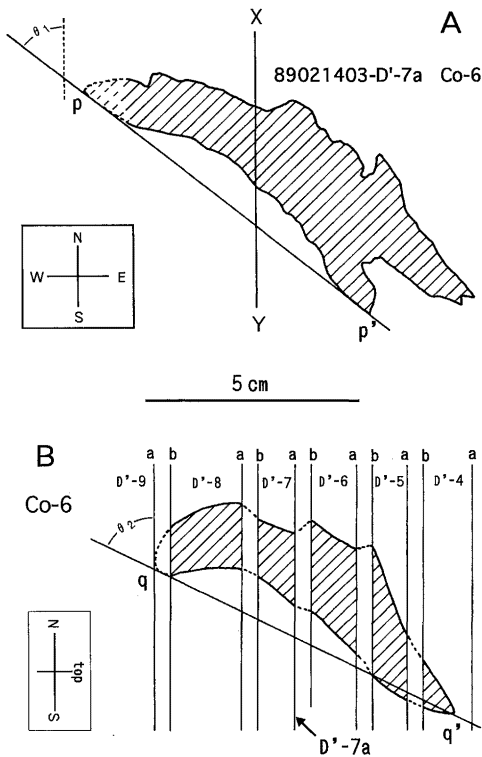
採集試料の現空間に対する正確な方位は失われているので、石板内に第2図のスケッチに示すような仮の方位を設定した。石板の2枚の面うち、方位を設定した方の面を a 面、その裏側を b 面とした。従って b 面のスケッチでは東と西の方位が通常とは逆になる。

(2) *Ivanovia* 群体の底面の傾斜角の測定

まず *Ivanovia* の群体の底面の仮方位に対する走向・傾斜を求めた。なお、作業を簡略化するために次のような方法を用いた(第4図参照)。(i) 1つのサンゴ群体ごとに、切断面に現れた最大サイズの断面について、その底面の形状に関係なく、群体の底面の両端を直線で結ぶ(第4図Aの p-p')。(ii) 同様に石板の切断面に直交する断面図上でも、群体の底面の両端を直線で結ぶ(第4図Bの q-q')。(iii) この2直線 p-p',

q-q' を含む平面を便宜的にサンゴ群体の載っている面として扱い、第4図の θ_1 , θ_2 の角度を測定し、ステレオネットを用いて仮方位との関係を求めた。なお、転倒しているサンゴ群体についても、群体の形態が薄い円盤状であるので、下側になっている面について同じ測定を行い参考データとした。

(3) 円柱状ストロマトライトの成長軸の方向の測定
全観察面で、薄い石灰藻ラミナの積み重ねからなる



第4図 *Ivanovia* 群体の底面と仮設定方位との関係を示すスケッチ。A, B図に示す斜線部は切断面に現れた *Ivanovia* 群体を示す。A図は石板の切断面での *Ivanovia* 群体と仮方位との関係を示す。B図は石板を重ね合わせて、A図の X-Y に沿って紙面に垂直な方向に切断した切断面に現れた群体の断面を示す。D-6', D-7' 等は各石板の試料番号を示し、a, b はその表裏2面を示す。a-b 間の点線部分は岩石切断機による切断によって失われた部分(刃の厚さ)を示す。断面図に現れた群体底面の両端を結んだ p-p' と q-q' の2つの直線を含む平面で群体の載る基盤面を便宜的に代表させ、 θ_1 , θ_2 を測定することによって仮方位に対するこの面の走向・傾斜を求めた。

円柱状ストロマトライトが7つ観察された(第5図)。これらはいずれもサンゴ骨格等の安定した基盤上から成長している。その直径は1 cm 前後、長さは最長のもので約6 cm である。7つのストロマトライトの成長軸がどれもほぼ同じ向きを向いていることから分かるように、これらは全て生息位置を保った原地性のものである。また、ストロマトライトの細長い縦断面が断面図に現れることは、石板の切断面がストロマトライトの成長軸を含む面に偶然近かったことを示している。ストロマトライトの成長軸と仮設定方位との関係をサンゴ群体と同様の方法で求め(第5図参照)、ステレオネットを用いて解析した。

(4) 化石の成長時の水平面の推定

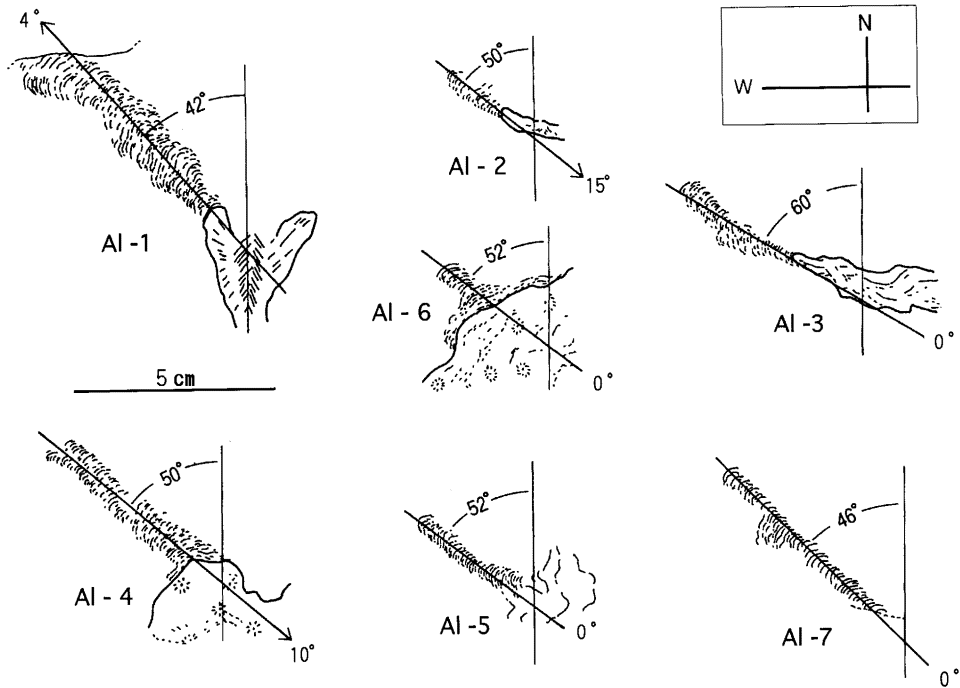
Ivanovia 群体やストロマトライトの成長当時の水平面を石板内に見られる geopetal 構造から推定した。この石灰岩試料には合弁の腕足類や腹足類化石が数多く入っている。これらの殻の内部はミクライトと方解石セメントで充填されている場合が多く、その境界面はいずれもほぼ同じ方向性を示し、堆積時の水平面を知る重要な手がかりとなる。特に第2図版の第1図に示す2つ並んだ腕足類の殻中に見られる境界面は全く同じ方向性を示し、その信頼度はかなり高いと考えられる。今回はこの境界面を当時の水平面とみなし、同様の方法でこの面と仮設定方位との関係を求めた。

(5) 測定結果

Ivanovia 群体の底面、円柱状ストロマトライトの成長軸の向き、geopetal から求めた当時の水平面の3つを、最初に設定しておいた方位のもとでステレオネット上に投影し、さらに当時の水平面が水平になるように全体をステレオネット上で回転移動した。その結果を第6図に示す。この試料の現在の空間に対する正確な方位は失われているけれども、サンゴ群体の底面の傾いている向きが前礁部側 (fore reef side) と考えられるので、図では便宜的にそのように示している。

2. 結果

第2表に結果を数値で示す。正常位置にある *Ivanovia* 群体の底面は、当時の水平面に対し、すべてほぼ同じ向きに、それぞれ13, 20, 26, 26, 30, 33, 40度の傾斜を示した。また、参考として求めた逆転している *Ivanovia* 群体の底面は7, 36, 42度という分散した値を示した。円柱状ストロマトライトの成長軸は、この軸と斜面とのなす鈍角が大きくなる側(すなわち背面側)へ、当時の鉛直線に対し3~20度の角度で傾いていることがわかった。



第5図 7つの円柱状ストロマトライト (AI-1~7) の成長軸と仮設定方位との関係を示すスケッチ。それぞれのストロマトライトの中央を通る直線は成長軸の方向を示す。AI-1, 2, 4の図に示している矢印の向きと数字はそれぞれの成長軸の石板面 (切断面) に対するプランジの向きと傾斜角を表す。他の4つのストロマトライトの成長軸は石板面にほぼ平行である (図では0°と示している)。

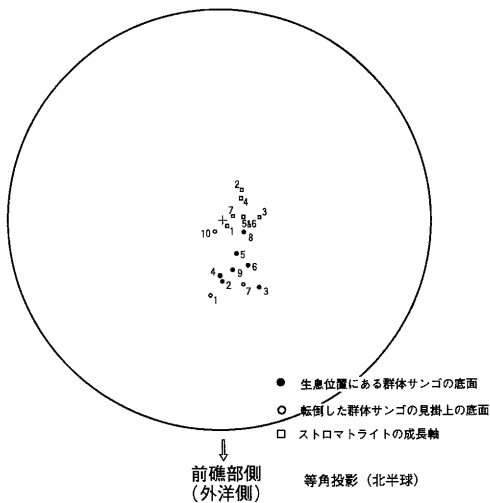
V. 考 察

1. 測定結果の評価

今回の研究で、生物礁複合体の礁前面と考えられていた地点から採集した円盤状の群体サンゴの成長基盤面が、実際に30度前後傾斜した斜面であったことが明らかになった。測定値が分散するのは、簡便な方法を用いたために誤差が生じたこと以外に、この斜面が元々細かな地形的凹凸に富んでいたことが考えられる。群体サンゴの底面の形状が起伏に富むことが、そのこと指示する有力な証拠となる。また、第6図に示すように、全てのサンゴの基盤面がほぼ同じ向きに傾斜しており、この向きを外洋側と考えるのは妥当である。第1図版の第1図に示す採集地点における試料の空間的方位が、あまり動いていないとすれば (回転していないとすれば)、この向きは南側が外洋側という実際の配置に一致する。

2. *Ivanovia* の古生態について

試料採集地点は、古環境的に礁前面のより礁斜面側に近い部分 (礁前面下部) に位置する。礁前面は、秋吉生物礁複合体の中で最も礁フレームワークの発達がよく、構成化石群の多様性も最も高い部分であるが、この礁前面下部は礁前面の上部に比べると、造礁化石の造る生物フレームワークの規模も小さく、構成化石の種類や重要度にも違いが見られる。試料採集地点の周囲には、塊状-樹状の群体四放サンゴや、コケ虫類、ケーテス類などを主体とする数m~10m程度の規模の生物フレームワークが点在している。これらのフレームワークは、造礁化石が互いに密接に組み合わさって成長し、完全に自立した framestone の構造を持っている。これらのフレームワークの間の空間は、造礁化石の大破片、海ユリやコケ虫などを主体とする化石片、さらに斜面の上方や、礁原から滑動してきたと思われる雑多な石灰粒子などから構成される砂礫質の石灰岩からなる。その組成、粒度、組織は小空間ごと



第6図 *Ivanovia* 群体の底面とストロマトライトの成長軸のステレオ投影。成長当時の水平面が中心にくるよう回転移動し、さらに群体の底面の傾斜の向きを便宜的に前礁部側（外洋側）として表している。

にかなり大きく異なり、rudstone, grainstone および packstone の岩型を示す。また、この斜面周辺の居住者 (dweller) である腕足類、頭足類、腹足類、三葉虫などの保存の良い化石を含む。

円盤状の群体サンゴ *Ivanovia* は上記の砂礫質の石灰岩中に堆積粒子の上を覆って成長している。群体の表面や下面に石灰藻類等の化石が付着することはある

ものの、全体としては、周りを囲んだ堆積物中に孤立して浮かぶ状態にあり、フレームワークを形成しているわけではない。今回の測定結果から、この群体サンゴの基盤面が30度前後傾斜した斜面をなすことになるが、群体の底面の形が基盤表面の形状を表すとすると、基盤面はかなり起伏に富んでいたことになる。

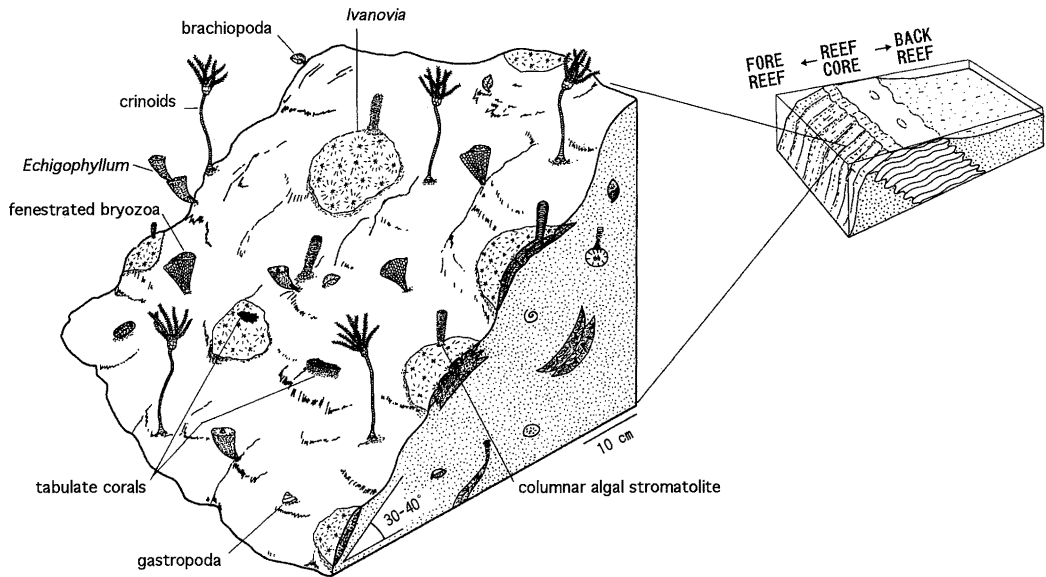
研究試料とした10の群体のうち、7つが生息位置を示す正常な状態にあり、残り3群体は完全に逆転した状態にある。生息位置にある群体と基盤の間の境界面を顕微鏡下で観察しても、堆積物上にしっかり付着していたどうかは明瞭には判定できない。したがって、生息位置にはあるけれども、転倒しているものと同じように斜面を滑ってきたものを含む可能性は十分にある。ただし、堆積物を層状石灰藻が覆い、その上に *Ivanovia* 群体が広がる場合には、群体は完全に石灰藻上に張り付いていて、これは完全に原地性であることに間違いない。サンゴが被覆成長する時点で、基盤面をつくる堆積物が、既に固結あるいは石化していたことを示す証拠も全く見つかっていない。その判定は明瞭な面構造等が残されている場合を除き困難であるが、基盤が未固結な不安定な状態であった可能性は高い。

多層タイプの群体にみられる群体周辺部のジグザグの構造は、層孔虫やケーテス類でよく知られているのと同じく、群体の周りの堆積物の堆積作用との関係で生じた構造と考えられる。すなわち、成長の途中で群体の周辺部分が堆積物によって埋められ、生き残った部分が再びその堆積物の上を覆って側方へ成長してできた構造と考えられる。

この円盤状の群体サンゴは、砂礫質の堆積物からな

第2表 *Ivanovia* 群体の底面と石灰岩堆積時の水平面とのなす角度、および円柱状ストロマトライトの成長軸と石灰岩堆積時の鉛直線とのなす角度。

Gradients of basal planes of <i>Ivanovia</i> colonies in growth position	Gradients of basal planes of <i>Ivanovia</i> colonies in overturned position	Inclinations of axes of columnar algal stromatolites to the vertical line
Co-2: 33°	Co-1: 42°	Al-1: 3°
Co-3: 40°	Co-7: 36°	Al-2: 19°
Co-4: 30°	Co-10: 7°	Al-3: 20°
Co-5: 20°		Al-4: 15°
Co-6: 26°		Al-5: 12°
Co-8: 13°		Al-6: 12°
Co-9: 26°		Al-7: 7°



第7図 礁前面斜面下部における *Ivanovia* 群体を中心とする化石群の古生態復元図。

る不安定な基盤斜面上で、時に堆積物と一緒に滑動したり、群体の周囲を周期的に堆積物に覆われたりしながら成長したものと考えられる。以上のデータに、他の随伴化石等のデータを含めて復元した、この小斜面上における化石群の生態復元図を第7図に示す。復元しているサイズは1平方メートル程度にすぎず、実際はその周囲に、より大規模で自立したフレームワークが存在し、図示した部分はその間の空間に位置することになる。周囲に自立したフレームワークが存在すること、復元図に示す化石群が多少とも石灰粒子をせき止める役割 (sediment-baffler, sediment-trapper) や堆積物上に成長して堆積物を安定させる役割 (sediment-binder, sediment-stabilizer) を果たすことによって、何とかこの斜面が維持されていったものと考えられる。

Ivanovia は南台地域では、今回の採集地点の他に2地点 (Iw-48, Loc. 89021402) でも採集している。その産出はいずれも、礁前面の下部から礁斜面の上部に限られている。南台地域では多くの群体四放サンゴ化石が産出するが、*Ivanovia* のような円盤状の形態を持つものはない。秋吉地域全体をみても、このタイプの形態を持つサンゴの報告は極めて少ない。最近の筆者等による西秋吉台の宇部興産採石場内の調査で、上部石炭系から種類は異なるが同様の形態を持つ群体サンゴを採集している。その堆積古環境も礁前面の斜面と考

えられるので、これらのサンゴの平板状の形態は、現世の造礁サンゴに見られるのと同じく、水深が増すことによる透光量の減少に対する適応として捉えることが可能かもしれない。

3. 生物礁斜面の傾斜角を知ることの重要性

生物礁複合体の持つ特徴として、(1)造礁生物が構築した、強い波浪に抵抗できるような、強固なフレームワークを持つこと、(2)形成時にその周囲に比較して地形的に突出した構造を持つこと、(3)フレームワークに付随する多くの facies を伴うことの3点が挙げられる。この3点は生物礁複合体の定義そのものとも言え、地質時代に形成された石灰岩構築物 (carbonate build-ups) の起源を識別する際に、生物礁複合体として形成されたかどうかの判断の基準として用いられる。ここでは特に(2)の点について考察したい。

地質時代から現世を通じて観察される生物礁複合体は、巨視的レベルで共通する特徴的な大地形を持つ。それは、以下の理由による。一般に生物礁複合体の形成・発達には造礁生物が基盤上の最適の水深から成長を開始することによって始まる。造礁生物はやがて海面に到達し、ついで外側 (外洋側) に向かって成長する。海水面が造礁生物が十分についていける程度の速度で上昇を続けると、造礁生物の構築するフレームワークは海水面直下の位置を保って外側上方に成長を続け、やがて生物礁複合体に特有の地形的形態を示すように

なる。その形態は非対称の断面で特徴づけられ、海底から突出し海底面直下に位置する平坦部を挟んで、その外洋側に急斜面、内側に緩斜面という配置ができあがる。周囲から突出した地形になるのは、フレームワーク部分の成長・堆積速度が、その周囲に比べて極端に速いことによる。また、フレームワークの両側で非対称の断面を示すのは、外洋側では、造礁生物の外向きの成長による固着・被覆作用と、化学的セメント作用が強く作用することによって、急斜面が形成維持されるためである。

以上のように、生物礁複合体とは造礁生物が中心になって造り上げた生物地形とも言え、突出した大地形が形成されるのは必然の結果である。日本の上部古生界の玄武岩を基盤とする石灰岩体は、海山上に形成された生物礁複合体起源と考えられているが、この地形的突出を持っていたかどうかについてはほとんど議論されていない。海底から突出した海山上で形成されたことは間違いないとしても、突出していたかどうかを判断する際の基準面は、厳密には島の斜面と考えるべきである。これらの生物礁複合体の原地形に関する直接的な記録は、石灰岩体の付加の過程で完全に失われ、現在の石灰岩体中にも、また石灰岩体とその周囲の地層等との関係としても全く残されていない。地史的背景が異なるとはいえ、同時代の大陸周辺部で形成された生物礁には、現在もその原地形を保ったまま地層中に残されているものが多く知られており (JAMES, 1983; GELDSETZER et al., 1988など)、極めて対照的である。

地形的に突出した構造を持つということは、必然的にその周囲が傾斜面から形成されていたことを示している。したがって、外洋側に傾斜した斜面の存在を実際に確認すれば、地形的に突出した構造を持っていたことを間接的に証明できる。日本の上部古生界の玄武岩海山を基盤とする生物礁起源の石灰岩体の研究では、多くの生物礁の復元図が描かれており、外洋側に傾斜した礁斜面を持つ断面図で示されているが (太田, 1968; 沖村, 1975; 長井, 1979; SANO, 1988; 秋山・長井, 1990など)、これらの石灰岩体で実際に礁前面斜面や礁斜面などの傾斜面の存在が確認されている訳ではない。これらの復元図はいずれも、石灰岩の生・岩相の特徴とその配列状態等を地質時代や現世の生物礁のそれと比較する手法によって作成されたものであり、復元図に示されている地形断面は模式的意味以上のものを持ってはいない。

生物礁複合体形成時の原地形に関する直接的な記録

は完全に失われてしまっているとしても、斜面と当時の水平面との関係は何らかの形で現在も石灰岩中に残されているはずである。しかし、石灰岩が完全に塊状無層理であるため、これまではその関係を調べることが極めて困難であった。今回、秋吉生物礁複合体の礁前面の斜面上に生息していた群体サンゴの円盤状の形態と *geopetal* 構造を利用して、この斜面の傾斜角の実測を試みた。斜面の傾斜角の実測値を得ることは、次の2点において極めて大きな意義を持つ。

(1) 秋吉生物礁複合体が実際に突出した地形を持っていたことの有力な証拠となる。

(2) 斜面の傾斜角が何度であったかということは、この斜面上における生物作用や堆積作用に大きな影響を与えるので、実際の傾斜角を知ることは、秋吉生物礁複合体の復元の精度を向上させるとともに、石灰岩の形成過程の考察にも極めて有効である。

今回得られた30度前後という数値自身は、礁前面の1地点における微地形の傾斜角を求めたにすぎないとも言え、この数値が直ちに巨視的レベルでの秋吉生物礁複合体の礁前面斜面の傾斜角に結びつくわけではないが、傾斜した斜面の存在を実際に確認したこと、および斜面の傾斜角の目安となる数値を得たことの2点の持つ意義は大きいといえる。

引用文献

- GELDSETZER, H. H. J., JAMES, N. P. and TEBBUTT, G. E. (eds.) (1988): Reefs, Canada and Adjacent Areas. *Mem. Canada. Soc. Petrol. Geol.*, (13), 775p.
- 市川浩一郎 (1984): 東アジアの基盤構造の発展 I. 藤田和夫編著, アジアの変動帯, 223-238. 海文堂, 東京.
- JAMES, N. P. (1983): Reef environment. in SCHOLLE, P. A., BEBOUT, D. C. and MORE, C. H. (eds.), Carbonate depositional environments, *Mem. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, (33), 346-440.
- 勘米良亀齡 (1983): 西南日本上部古生界の堆積構造過程に関する一問題. 日本地質学会西日本支部第100回例会記念シンポジウム論文集, 67-76.
- 勘米良亀齡 (1987): 炭酸塩堆積環境と堆積相. 水谷伸次郎・斉藤靖二・勘米良亀齡編, 日本の堆積岩, 123-133. 岩波書店, 東京.
- LONGMAN, M. W. (1981): A Process approach to recognizing facies of reef complex. in TOOMY, D. F. (ed.), European Fossil Reef Models, *Spec. Pub. Soc. Econ. Paleont. Mineral.*, (30), 9-40.
- 長井孝一 (1979): 秋吉石灰岩層群下部層中にみられる礁性石灰岩について. 地球, 1, (9), 661-667.
- (1985): Reef-forming algal chaetetid bundstone found in the Akiyoshi Limestone Group, Southwest Japan, (Reconstruction of the "Akiyoshi organic reef" - I). *Bull. Akiyoshi-dai Mus. Nat. Hist.*, (20), 1-

15. ———・太田正道 (1980) : 山口県秋吉台南台地域の地質, その1 : 層序および地質構造. 九大教養地学研報, (21), 7-15.
- 沖村雄二 (1975) : 石灰岩層群の特性からみた中国帯北部の地向斜と造礁運動. 地団研専報, (19), 49-56.
- 太田正道 (1968) : 地向斜型生物礁複合体としての秋吉石灰岩層群. 秋吉台科博館報, (5), 1-44.
- SANO, H. (1988) : Permian oceanic-rocks of Mino Terrane, central Japan, Part II. Limestone facies. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **94**, (12), 963-976.
- and KANMERA, K. (1991a) : Collapse of ancient reef complex — What happened during collision of Akiyoshi reef complex? — Geological setting and age of Akiyoshi terrane rocks on western Akiyoshi-dai plateau. *ibid.*, **97**, (2), 113-133.
- and ——— (1991b) : Collapse of ancient reef complex — What happened during collision of Akiyoshi reef complex? — Broken limestone as collapse products. *ibid.*, **97**, (3), 217-229.
- and ——— (1991c) : Collapse of ancient reef complex — What happened during collision of Akiyoshi reef complex? — Limestone breccias, redeposited limestone debris and mudstone injections. *ibid.*, **97**, (4), 297-309.
- and ——— (1991d) : Collapse of ancient reef complex — What happened during collision of Akiyoshi reef complex? — Sequence of collisional collapse and generation of collapse products. *ibid.*, **97**, (8), 631-644.
- 秋山哲男・長井孝一 (1990) : 秋吉石灰岩層群産 Auloporidid Corals の成長形態について. 秋吉生物礁複合体における造礁生物群の古生態学的研究 I. 秋吉科博館報, (25), 7-25.

長井孝一・松山哲男

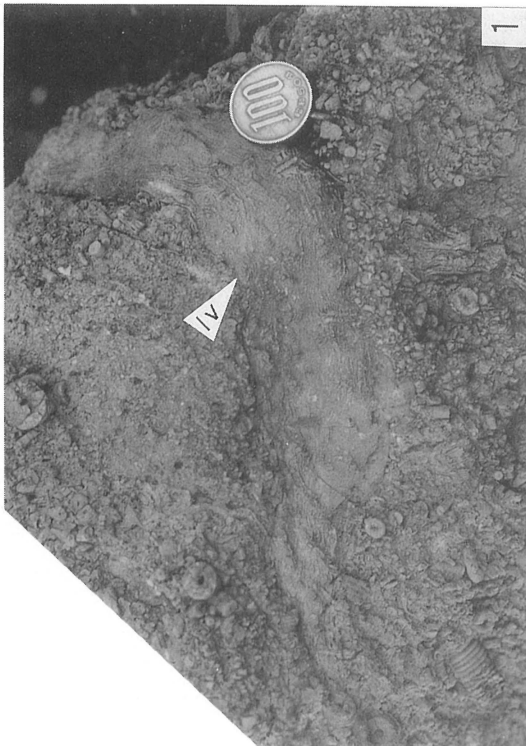
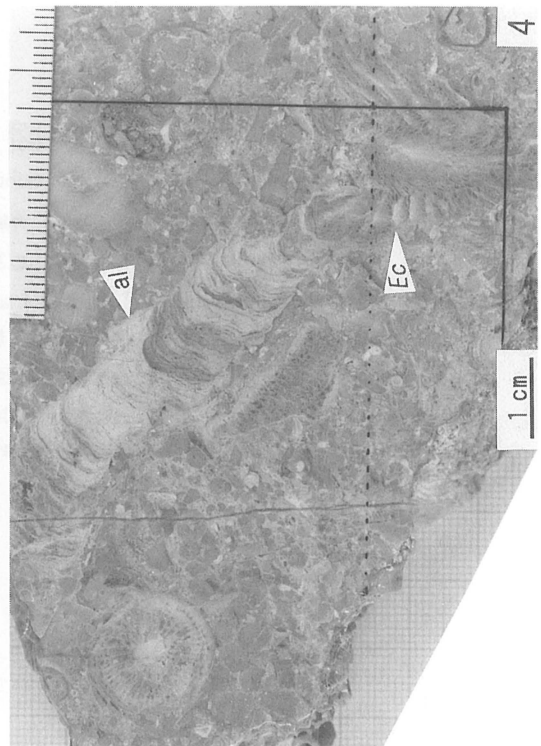
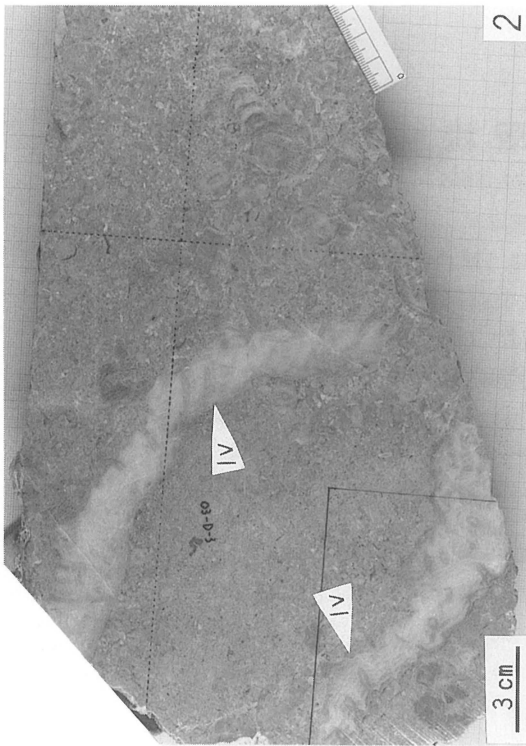
円盤状四放サンゴ群體を利用した秋吉生物礁複合体礁前面斜面の傾斜角の復元

第 1 ～ 2 図 版

第 1 図版説明

Explanation of Plate 1

- 第 1 図 *Ivanovia* 群体の産状を示す露頭写真。 *Ivanovia* 群体 (*Iv*) の上下は極粗粒の海ユリ石灰岩からなる。 Loc. 89021403-D.
- 第 2 図 *Ivanovia* 群体を含む石板写真。 図中の線分は作業補助線である。 試料番号89021403-D-3b.
- 第 3 図 *Ivanovia* の薄片写真。 試料番号89021403-D-2b-2.
- 第 4 図 円柱状ストロマタイトの産状を示す石板写真 (部分)。 ストロマタイト (*al*) は四放サンゴ (*Echigophyllum* : *Ec*) の骨格に付着成長している。 試料番号89021403-D-2a-1.



長井孝一・松山哲男：秋吉生物礁前面斜面の傾斜角の復元

第 2 図版説明

Explanation of Plate 2

第 1, 2 図 腕足類殻中を埋めるミクライトと方解石セメントの境界面（堆積時の水平面を示す）と *Ivanovia* 群体の底面との関係を示す石板写真（第 1 a 図）とそのスケッチ（第 1 b 図）および顕微鏡写真（第 2 図）。第 2 図は第 1 a, b 図の 2 つ並んだ腕足類殻の右側の殻を、図の p-q の線分に沿って紙面に垂直な方向に切断した薄片の写真である。*Ivanovia* 群体の底面 (b) と腕足類殻中の境界面 (a) は、第 1 図ではほぼ平行するが、第 2 図では明らかに斜交関係にある。なお、サンゴの泡板の向き（上方に凸の向きに成長）から、この *Ivanovia* 群体は上下転倒していることがわかる。試料番号 89021403-D-3b.

