

# 輝炭反射率からみた四国四万十帯北帯の熱構造

— 高知県中西部域を例にして —

<sup>1</sup>坂口有人・<sup>2</sup>大森琴絵・<sup>3</sup>山本浩士・<sup>4</sup>相原安津夫・<sup>1</sup>岡村 真

(<sup>1</sup>高知大学理学部地質学教室・<sup>2</sup>東京大学海洋研究所・

<sup>3</sup>石油資源開発株式会社・<sup>4</sup>九州大学理学部地球惑星科学科)

## Paleo-geothermal Structure of the Cretaceous Shimanto Belt Analyzed by Vitrinite Reflectance, Central Shikoku, Southwest Japan

<sup>1</sup>Arito SAKAGUCHI, <sup>2</sup>Kotoe OHMORI

<sup>3</sup>Hiroshi YAMAMOTO, <sup>4</sup>Atsuo AIHARA and <sup>1</sup>Makoto OKAMURA

<sup>1</sup>*Department of Geology, Kochi University, Kochi, Japan*

<sup>2</sup>*Ocean Research Institute, University of Tokyo, Tokyo, Japan*

<sup>3</sup>*Japan Petroleum Exploration Co., Ltd, Tokyo, Japan*

<sup>4</sup>*Department of Earth and Planetary Science, Kyushu University, Fukuoka, Japan*

**Abstract:** The Northern Shimanto Belt in Shikoku is composed of contrasting of two units of coherent which consist of turbidite sequence and melange. Melange unit is characterized by a sheared mudstone which contains exotic blocks. Moreover, coherent units consist of trench-fill and forearc-basin-fill sediment. It is generally accepted that the rock of the belt underwent low-grade metamorphism. This study attempt to clarify the paleo-geothermal structure with the geological evolution within these complex by using the techniques of vitrinite reflectance and it's optical anisotropy.

This study area situates from Butsuzo Tectonic Line (B. T. L.) to Okitsu Point along the western coast line of Tosa Bay, Central Shikoku, Southwest Japan. These area are classified into two subbelt: Shinjogawa and Taisho by lithofacies and geological age. Shinjogawa subbelt consists of the Hauterivian to Cenomanian coherent units (Momijigawa, Doganaro, Shindoi, Hayama and Susaki Formations.), Taisho subbelt consists of the Coniacian to Maastrichtian coherent units (Shimotsui, Nonokawa and Nakamura Formation.) and melange units (Yokonami, Kure and Okitsu Melanges.).

The results of study have revealed that (1) Vitrinite reflectance shows no changes between coherent and melange units and also forearc-basin-fill and trench-fill sediments. (2) Paleo-geothermal structure of this area can be divided into two blocks of northern part and southern part. Each block has an increasing trend of vitrinite reflectance toward the south disregarding to the geological structure. The value of vitrinite reflectance increases from 1.0% to 2.5% toward south in west-side of northern block. In southern block, value of vitrinite reflectance increases from 1.2% to 2.2% toward south. Vitrinite reflectance increase rate toward south is different from east and west side of northern block. The two blocks show a characteristic paleo-geothermal structure regardless of their

various construction of various type of sediments, lithofacies and geological structure. (3) Judging from mode of occurrence of vitrinite reflectance anisotropic ratio ( $R_r = R_{\max} - R_{\min} / R_{\max}$ ), this area might be suggested to the maximum pleo-geothermal condition under the same P-T gradient.

Furthermore, the original diagenetical thermal record in the sediments was overprinted by the later thermal effect. After that, characteristic thrust reactivated and deformed the pattern of the maximum paleo-geothermal record. Consequently, each block reveals the characteristic geothermal structure.

キーワード：被熱構造，輝炭（ビトリナイト）反射率，四万十帯北帯，熱的イベント

Key words : paleo-geothermal structure, vitrinite reflectance, Cretaceous Shimanto Belt, thermal event

## I. はじめに

四万十帯は一般に砂岩と泥岩からなるコヒーレント相と、著しく剪断された泥岩中に緑色岩類、ナノ石灰岩、放散虫チャート、多色頁岩、砂岩泥岩互層や砂岩等の異地性岩体をブロック状に含むメランジュ相から構成されている。また、このコヒーレント相は堆積場の違いから前弧海盆堆積体と付加体本体である海溝充填堆積体に分けられている（岡村・松木，1986；Okamura，1992）。

これらの地質体は各々異なる造構プロセスで形成されており、それぞれの被熱構造を解析することは、これら複合体の形成過程における被熱履歴を解く上で重要であると考えられる。そのため近年になり、四万十帯の被熱構造に関する研究が始められた（相原ら，1987；Mori and Taguchi，1988；山本ら，準備中など）。しかし、これらの研究ではその地質体の堆積年代や堆積場の違い、それに地質構造などの地質的背景と、被熱構造を詳細に対応させた議論はなされなかった。また最近では、Underwood et al., (1992) が四万十帯南帯は二次的な被熱により付加体形成時の初生的被熱構造が残されていないとし、活動中の海嶺の沈み込みに伴う地温上昇にその原因を求めた。

本論では、高知県中西部域に分布する四万十帯北帯の前弧海盆堆積体と海溝充填堆積体からなるコヒーレント相とメランジュ相の被熱構造を比較考察した。その手法としては輝炭反射率を最高地質温度計として、またその光学的異方性を昇温時の側圧指標として用いた。

調査の結果、本地域の四万十帯北帯は、様々な年代の異なる造構プロセスの地質体から構成されるが、これらの地質的背景とは一致しない独自の被熱構造を持つことがわかった。これは四万十帯北帯の各地質体形成時の初生的被熱構造が、その後の二次的な熱的イベントによって最高被熱を受け、打ち消された事を意味するものと考えられる。

## II. 地質概要

本研究の調査地域には、前弧海盆堆積体、海溝充填堆積体やメランジュ等の付加体に特徴的な地質体が分布する。高知県須崎市堂ヶ奈路から幡多郡興津までの南北約30km、東西約20kmの範囲である（Fig. 1.）。

本調査地域の四万十帯北帯は、その層序と堆積年代から南北に新莊川層群と大正層群に2分されている。北の新莊川層群はオーテリビアン～セノマニアンの放散虫年代を示し、南の大正層群はコニアシアン～マストリヒチアンの放散虫年代を示す（平ら，1980）。北の新莊川層群は、紅葉川層、

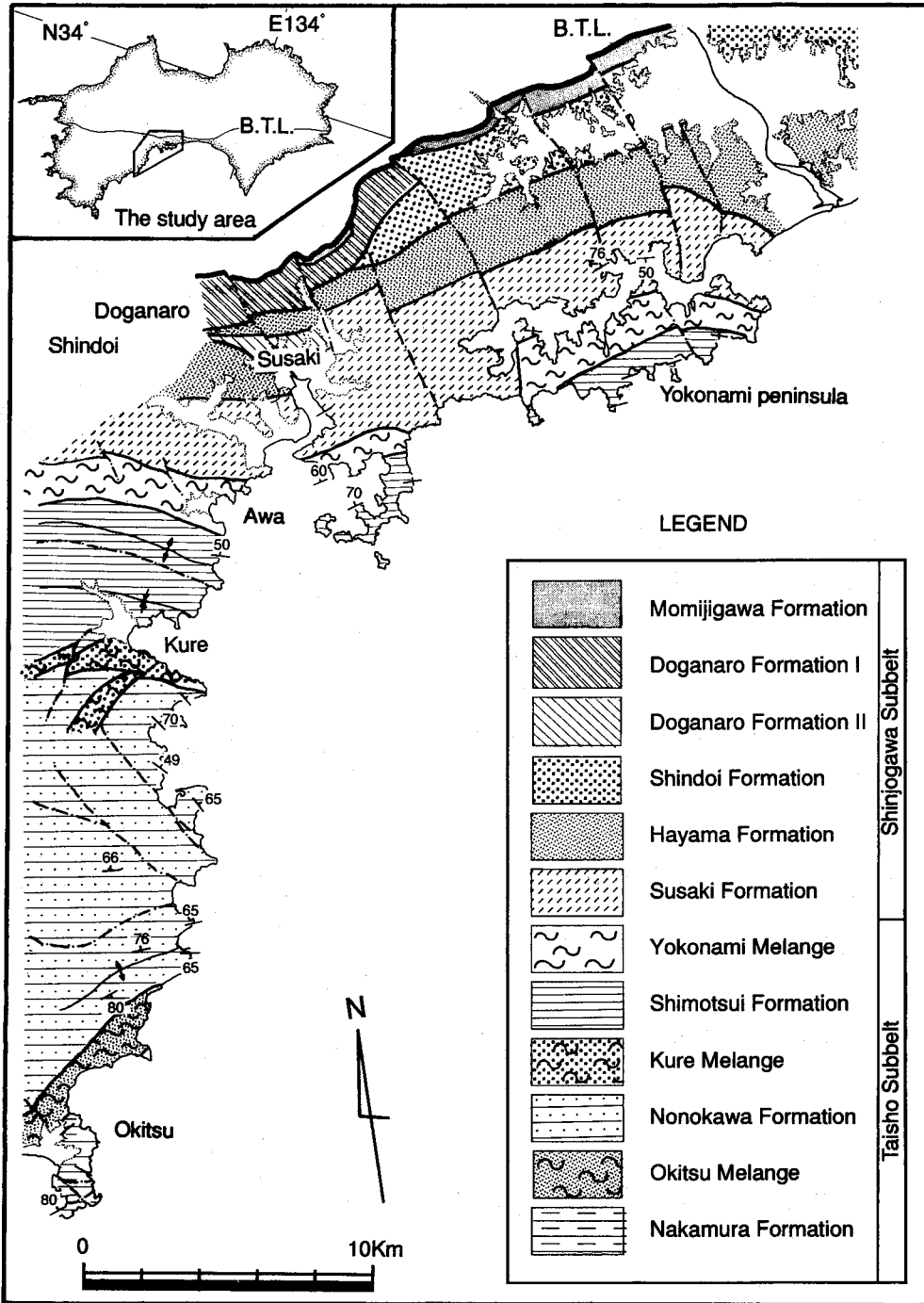


Fig. 1. Geological map. This area is classified into two subbelt : Shinjogawa and Taisho. Shinjogawa subbelt consists of the Hauterivian to Cenomanian coherent units (Momijigawa, Doganaro I, Doganaro II, Shindoi, Hayama, Susaki Formations.). Taisho subbelt consists of the Coniasian to Maastrichtian coherent units (Shimotsui, Nonokawa and Nakamura Formations.) and melange units (Yokonami, Kure and Okitsu Melanges.). Moreover coherent unit distinguish sedimentary environment from forearc-basin sediment (Doganaro Formation I and II) and trench-fill sediment (other coherent unit). (Ouchi, 1982, M. S.; Numa, 1983, M. S.; Tamura, 1984, M. S.; Uto, 1983, M. S.; Okamura and Matsugi, 1986 compiled after Sakaguchi A.). Upper left also shows a index map of this study.

## 第1図 本調査地域内の地質図

本地域は7帯のコヒーレント相と3帯のメランジュ相から構成されている。コヒーレント相は、堆積場の違いから前弧海盆堆積体の堂ヶ奈路層Ⅰ帯と堂ヶ奈路層Ⅱ帯、海溝充填堆積体である半山層、新土居層、須崎層、下津井層、野々川層と中村層に分けられる。メランジュ相は横浪メランジュ、久礼メランジュと興津メランジュが分布している。そのうち、新莊川層群に属する堂ヶ奈路層、半山層、新土居層と須崎層の放散虫年代は、オーテリビアン～セノマニアンを示し、大正層群に属する横浪メランジュ、下津井層、久礼メランジュ、野々川層、興津メランジュ、中村層の放散虫年代は、コニアシアン～マストリヒチアンを示す。両層群の接する須崎層と横浪メランジュとの間には、約30Maの年代差がある。

大内, (1982, M.S.) 沼, (1983, M.S.) 宇都, (1983, M.S.) 田村, (1984, M.S.) 松木・岡村, (1986) に一部加筆。

堂ヶ奈路層、新土居層、半山層と須崎層の5帯のコヒーレント相から構成される。一方、南の大正層群は下津井層、野々川層と中村層の3帯のコヒーレント相と、横浪メランジュ、久礼メランジュと興津メランジュの3帯のメランジュ相から構成される(平ら, 1980)。

本地域の堆積年代は、全般的に北から南へと新しくなるがその傾向は連続的ではなく、須崎層と横浪メランジュとの間には約30Maの放散虫年代差があり、また下津井層、野々川層と中村層の堆積年代が共にコニアシアンからマストリヒチアンである(平ら, 1980) ことなど、北から南へと断続的に新しくなる。

またコヒーレント相のうち堂ヶ奈路層は、そこに含まれる生物相、変形相などから前弧海盆堆積体であるとして、海溝充填堆積体である付加体本体から分けられている(岡村・松木, 1986; Okamura, 1992)。以下堆積相毎にその特徴を記す。

## 1) 前弧海盆堆積体

堂ヶ奈路層は新莊川層群最北部に分布し、四万十帯では稀な大型化石産出の報告もある(Hayami et al., 1976; 田代ら, 1982)。また、地質体全体として著しい変形は受けておらず、オーテリビアンからアプチアンの放散虫年代を示す。その層厚は約1,000mであり、下部の緑灰色頁岩部層と上部の石灰質頁岩部層から成る。そして、そこから産する底生有孔虫化石からその堆積場がCCD付近の前弧海盆で堆積したことが明らかになっており、これらの理由から堂ヶ奈路層は前弧海盆堆積体であると考えられた(岡村ら, 1991; Okamura, 1992)。

一方須崎市竹崎付近には、堂ヶ奈路層と同様の岩相を示す地質体が南北を半山層に挟み込まれるように東西に長く分布する。この地質体はその岩相が周囲の半山層のものと明かに異なり、変形が少なく、そこに挟まれる泥岩は等方的な割れ方を呈する。堆積場の解明にはさらに底生有孔虫などによる詳細な調査が必要であるが、本論では、この地質体を暫定的に半山層と区別して堂ヶ奈路層ⅠⅡ帯とし、従来の堂ヶ奈路層を堂ヶ層Ⅰ帯として取り扱う。

## 2) 海溝充填堆積体

コヒーレント相の大部分は、上方細粒化の堆積サイクルを持つタービダイト相であり、そこから産する生痕化石(甲藤, 1969)やその堆積相から、海溝充填堆積体であるとされてきた(Taira et al., 1988; 岡村ら, 1991など)。

四万十帯の海溝充填堆積体は、一般に1,000~1,500mの層厚で東西性の走向を持ち、北に急傾斜の単斜構造で北上位である。しかし、下津井層は北辺部に走向方向の背斜軸、南辺部に向斜軸を持つ波長約3kmの褶曲構造を成している。さらに半山層と須崎層との境界を除き、各層は互いに走向性の断層で接している。

## 3) メランジュ相

メランジュ相は、世界各地の沈み込み帯に認められ(Cowan et al., 1985; 坂井, 1989など)、

四万十帯においても付加体の形成過程を知る上で重要な地質体であるとして認識されてきた (Suzuki and Hada, 1979)。

本地域のメランジュ相は、著しく剪断された黒色泥岩中に緑色岩類、ナンノ石灰岩、放散虫チャート、多色頁岩、砂岩泥岩互層、および砂岩などの様々な異地性岩体をブロック状、あるいはレンズ状に含む混在岩相である。これらのメランジュ相は南北を断層で接し、南北約1~3kmの幅でコヒーレント相に挟み込まれるようにレンズ状に分布しており、東西の連続性はあまり良くない。メランジュ相の成因には様々のものが提案されているが、四万十帯北帯のメランジュ相は、そこに含まれる砂岩ブロックの物理的性質の差 (Hada, 1988) やそのその構造の変形様式 (木村・向井, 1989) などから周囲のコヒーレント相よりも地下深部で形成されたテクトニックメランジュであるとされてきた。また横浪メランジュの形成年代は、その基質の黒色泥岩からマストリヒシアン (一部ダニアンにかかる可能性もある) の放散虫化石が産出したことによりマストリヒシアン以降であることが明らかになった (平田, 1990, M. S.)。Table 1. にその放散虫の代表種と種の最大レンジを示す。このことは横浪メランジュがその北に分布する須崎層よりも約30Ma, その南に位置する下津井層よりも約10Ma新しいことを意味し、形成年代的に見ても横浪メランジュがかなり特異な地質体であることをうかがわせる。

Table 1. Radiolarians and its ranges from black shale matrix, Yokonami Melange. Radiolarian-concurrent-range indicates the age of Maastrichtian to Danian. So, Yokonami Melange has the youngest formative age of this area.

表1 横浪メランジュのマトリックスから得られた放散虫群

横浪メランジュのマトリックスの放散虫共存年代はK/T境界部の65Ma前後を示し、その北に分布する須崎層とは約30Ma, またその南に位置する下津井層よりも約10Ma新しいことを示す。

Sample	Age	Late Cretaceous					Tertiary		
		Ce.	Tu.	Co.	Sa.	Ca.	Ma.	Pa.	Eo.
<i>Amphipyndax stocki</i>								---	
<i>Archaeodictyomitra</i> sp. A.								---	
<i>Archaeodictyomitra squinaboli</i>								-----	
<i>Archaeospongoprimum</i> sp.								-----	
<i>Cryptocephalic</i> or <i>Cryptothoracic</i> Nassellaria								-----	
<i>Cyrtoidea</i> gen. et sp. indet.								-----	
<i>Dictyomitra</i> cf. <i>formosa</i>								-----	
<i>Lithatractus pusillus</i>								-----	
<i>Lithomespillus mendosa</i>								-----	
<i>Orbiculiforma</i> sp.								-----	
<i>Pseudoaulophacus floresensis</i>								-----	
<i>Pseudoaulophacus lenticulatus</i>								-----	
<i>Spongurus marcaensis</i>								-----	
<i>Stichomitra</i> sp. A.								-----	
<i>Stylosphaera goruna</i>								-----	
<i>Stylosphaera</i> sp.								-----	

### Ⅲ. 輝炭反射率の測定方法と結果

#### 1) 測定方法

碎屑性堆積岩中には、種々の形で炭質物が含まれている。炭質物のうち、材に由来する輝炭の反射率は、主にそれが経験した最高被熱温度と、それより約15℃低い温度に保たれた時間（有効被熱時間）により決定される（関口・平井，1980）。そのため輝炭の反射率を知ることは、それを含む地質体の堆積後の埋没上昇過程における古地温環境を知る上での重要な手がかりとなる。

また輝炭反射率は、石炭化反応が進行すると通常地層に対して水平な方向に最大反射率（ $R_{max}$ ）を、垂直な方向に最小反射率（ $R_{min}$ ）を持つ、つまり輝炭反射率は、被熱時の最大応力方向に歪んだ反射率楕円体として近似できる（千々和，1990）。本論では、この反射率楕円体の偏平率（ $R_r = R_{max} - R_{min} / R_{max}$ ）を輝炭の光学的異方率（ $R_r$ ）と呼ぶ。光学的異方率は、被熱時の応力条件を反映するため反射率に対する光学的異方率の出現様相を比較することにより、その被熱様式を推定する場合の束縛条件を増やすことができる（千々和，1990）。

炭質物は露頭において風化のより少ない部分を採取する。採取した試料は、乳鉢で粉碎し粒径を#24~100メッシュ間に調粒し、塩化亜鉛水溶液を用いて比重分離する。それを合成樹脂に封入し、その表面を琢磨し鏡面状態にする。

反射率測定には落射型反射偏光顕微鏡を使用し、I. C. C. P. および J. I. S. 規格に準じて測定した。また反射率標準片は、America Berry and Associate 社製光学プリズムを使用し、値の読み取りには検流計を用いた。本論では原則として1サンプルにつき100個の粒子を測定し、その平均値を輝炭反射率（ $R_o$ ）として用い、光学的に異方性のあるサンプルは最大反射率の平均値をもってその $R_o$ とした。測定した粒子の数が100個に及ばなかったサンプルは、ヒストグラムの集中度が高いサンプルに限り使用した。また光学的異方率は、千々和（1990）に提案された算出方法に基づき、各サンプルで測定した100個の測定値のうち、最大反射率と最低反射率の差（ $R_{bi}$ ）が最も大きい粒子の値をそのサンプルを代表する $R_{bi}$ として算出した。

以下、輝炭反射率は $R_o$ 、そして光学的異方率を $R_r$ と記す。

#### 2) 測定結果

##### a) 堂ヶ奈路における前弧海盆堆積体と海溝充填堆積体との $R_o$ 変化

須崎市堂ヶ奈路周辺には、前弧海盆堆積体である堂ヶ奈路層I帯と非変形の岩相を持つ堂ヶ奈路層II帯、それにその基盤にあたる半山層が分布する。この両地質体の $R_o$ の測定結果をFig. 2. に示す。

地域の $R_o$ で最も高い値は半山層から得られた約1.4%、最も低い値は堂ヶ奈路層から得られた約1.0%である。Fig. 2. の左側のヒストグラムは堂ヶ奈路層I帯と半山層の、それぞれの $R_o$ を比較したものである。堂ヶ奈路層I帯と半山層との境界部の $R_o$ は互いに大差は見られず、いずれも1.0%前後の値を示す。しかし、堂ヶ奈路層I帯の最北部から半山層の南端までの範囲を通して比較すると、 $R_o$ は北から南にかけて約1.1%から約1.4%へとわずかではあるが連続的に上昇する傾向が読み取れる。またFig. 2. の右側のヒストグラムは、堂ヶ奈路層I帯と半山層、そして堂ヶ奈路層II帯の各々の $R_o$ を比較したものである。この場合も同様に、各地質体の境界部の $R_o$ に明瞭な差は見られない。しかし堂ヶ奈路層I帯から半山層、そして堂ヶ奈路層II帯を通じて、 $R_o$ は各地質体の境界を越えて約1.0%から約1.2%へと北から南へと継続的に上昇する傾向が見られる。

このように前弧海盆堆積体と海溝充填堆積体の境界部の  $R_o$  に顕著な差は見られない。しかし、南北に各地質体を越えて比較すると  $R_o$  が北から南へと連続的に上昇する傾向が見られる。

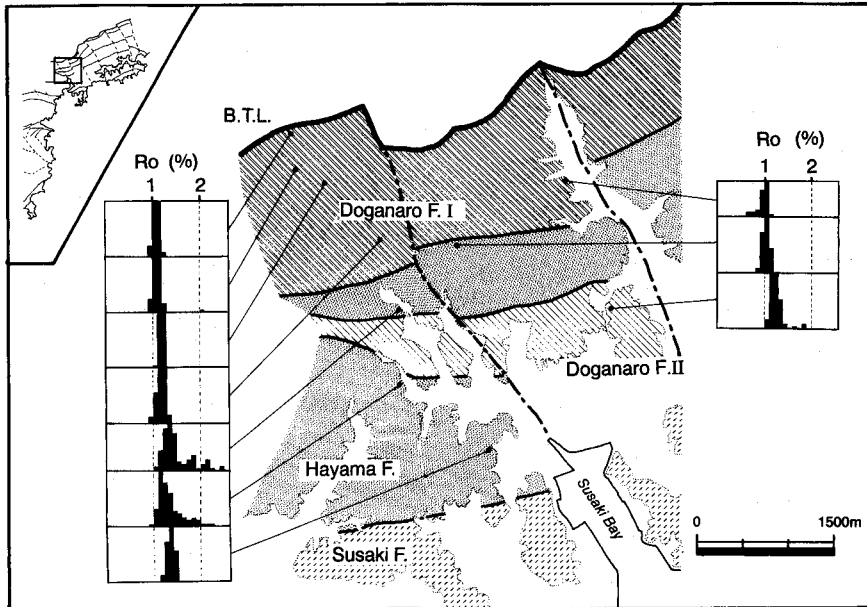


Fig. 2. Value of vitrinite reflectance ( $R_o$ ) of Doganaro Formation I, Doganaro Formation II (forearc-basin sediment), Hayama and Susaki Formations (trench-fill sediment). Vitrinite reflectance increases to southward over these sediments from 1.0% to 1.2%. Though no little change of vitrinite reflectance shows the boundary of these formations.

第2図 須崎市堂ヶ奈路における前弧海盆堆積体と海溝充填堆積体との輝炭反射率変化

前弧海盆堆積体である堂ヶ奈路層とその基盤である半山層との境界において、輝炭反射率に大きな差は見られない。しかしこれらの地質体に関係なく、輝炭反射率は北から南へと約1.0%から約1.2%へと若干ではあるが上昇する傾向を持つ。

b) 横浪半島におけるメランジュ相とコヒーレント相との  $R_o$  変化

横浪半島東端の五色ヶ浜には南北約2kmにわたって、横浪メランジュとその周辺層の好露頭が続いている。横浪メランジュとその北側に分布する須崎層との境界は、メランジュ相とコヒーレント相の岩相的な境界であるばかりでなく、新莊川層群と大正層群との境界でもあり、岩相的にも年代的にも大きく異なる境界である。その年代差は放射年代から見積もって約30Maある。また横浪メランジュとその南部に分布する下津井層との境界は岩相的に大きな差があり、露頭においても明瞭な断層により境されている。これらの周辺部より集中的に炭質物を採集した。なお横浪メランジュ中に含まれる砂岩や砂岩泥岩互層のブロックは異地性岩体であるので、そこに含まれる輝炭片は横浪メランジュの形成時の熱履歴を保存していない可能性がある。そこでブロックからばかりでなくマトリックスである黒色泥岩中からも炭質物を採集した。

その測定結果をFig. 3. に示す。この地域の  $R_o$  で最も高い値は下津井層の約3.3%。最も低い値は須崎層から得られたもので約2.7%である。この地域の  $R_o$  は他の地域と比較しても全般的に高く、上記の値の範囲内ではらつくが、須崎層/横浪メランジュの境界部、横浪メランジュ中のブロック/マトリックス間、横浪メランジュ/下津井層の境界部のいずれにおいても明瞭な差異、または一定の変化傾向は見いだせない。なお、この五色ヶ浜地域における約3.3%の反射率は、本調査地域

内では最も高い値である。

以上のようにメランジュ相と海溝充填堆積体との境界部の  $R_o$  に顕著な差はない。

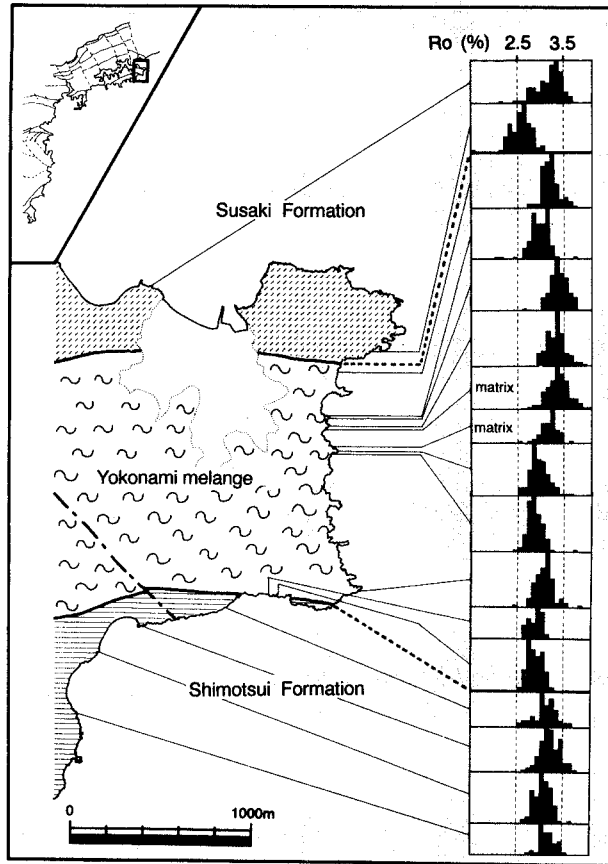


Fig. 3. Vitrinite reflectance value ( $R_o$ ) of coherent unit and melange unit. The boundaries of coherent and melange units has no gap among different lithofacies. In addition, large gap of formative age about 30Ma among the boundary boundary between Yokonami Melange and Susaki Formation. These two boundaries shows no change of vitrinite reflectance.

第3図 横浪半島東端の五色ヶ浜周辺における横浪メランジュとその周辺層との輝炭反射率変化

放射年代と、岩相、双方共に大きく異なる須崎層/横浪メランジュ境界部、メランジュ内のブロック/マトリックス、岩相に大きな差がある横浪メランジュ/下津井層境界部のいずれにおいても、輝炭反射率に顕著な差はなく、約2.5%から約3.3%と全般的に高い値を示す。

c) 堂ヶ奈路から興津までの間の  $R_o$  変化

堂ヶ奈路から興津へと至る南北約30kmのルートには1帯の前弧海盆堆積体と5帯の海溝充填堆積体、そして3帯のメランジュ相などの様々な地質体が分布している。このルートから数100mおきに炭質物を採集し測定比較した。その結果を Fig. 4. に示す。

このルートの  $R_o$  のうち仏像構造線付近の堂ヶ奈路層北部のサンプルが約1.0%と最も低い値を示し、また久礼メランジュのサンプルが2.3%と最も高い値を示した。このルートの地質断面図とそれに対応する代表的な  $R_o$  を Fig. 4. 下図に示す。堂ヶ奈路層から久礼メランジュの間には、放射年代や、構造プロセスが異なる地質体や各層の境界断層や下津井層内に見られる褶曲構造など



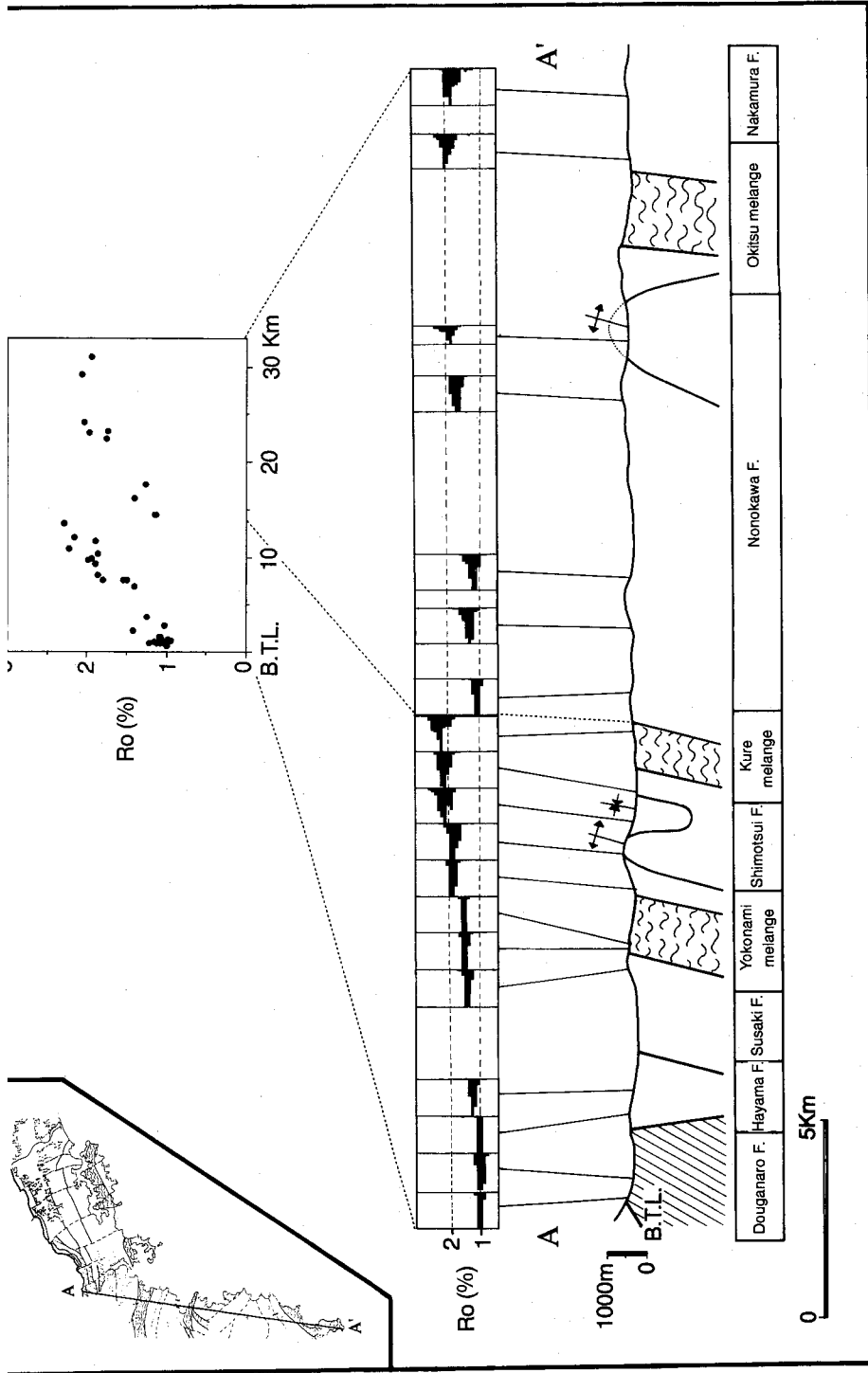


Fig. 4. N-S geological geotraverse and corresponding vitrinite reflectance. Range of vitrinite reflectance from Doganaro Formation to Kure Melange 1.0% to 2.2% approximately, and from Nonokawa Formation to Nakanura Formation about 1.1% to 2.3%. These increasing trends of vitrinite reflectance to southward have no relation to folding structure, lithofacies, thrust fault and radiolarians age gap. These results show a fold-test by vitrinite reflectance in the field.

第4図 須崎市堂ヶ奈路から奥津までの南北約30km間の地質断面図とそこから得られた代表的な輝炭反射率変化  
 仏像構造線 (B. T. L.) から久礼メラランジュではその間にある岩相、放散虫年代、境界断層や褶曲構造などには影響されず、  
 輝炭反射率は北から南へと1.0%~2.2%に上昇するが、久礼メラランジュ/野々川層の境界断層で一帯に1.1%に低下する。しかし  
 野々川層から中村層にかけて、輝炭反射率は再び1.1%から2.3%に北から南にかけて上昇する。

の異質な地質的背景がある。しかし  $R_o$  は、これらの地質的背景のちがいに影響されることなく、北から南へと約1.0%から約2.5%へ連続的に上昇する。そして堂ヶ奈路層から久礼メランジュにかけて上昇した  $R_o$  は久礼メランジュと野々川層との境界で一挙に1.2%に低下する。そして再び  $R_o$  は野々川層北部から南部、そして興津メランジュをへて中村層へと北から南に約1.2%へと連続的に上昇する。

下津井層内には波長約3 kmの褶曲構造があるが  $R_o$  はこの褶曲構造に関係なく北から南へと上昇し背斜軸部の値が2.0%であるのに対して向斜軸部の値が2.3%とより高い値を示す Fig. 4. 上部のグラフは横軸にこのルートにおける仏像構造線からの距離を示し、縦軸にその地点の  $R_o$  を示したものであり、ルート上の全サンプルの値をプロットした。このグラフから、 $R_o$  が堂ヶ奈路層から久礼メランジュにかけて連続的に上昇し、そして久礼メランジュと野々川層境界で一挙に低下するが、再び野々川層から中村層にかけて北から南へと上昇する傾向が明瞭に読み取れる。

#### d) 本地域の $R_o$ の特徴的な変化傾向

Fig. 5. は本地域の  $R_o$  の全体的な変化傾向を表したものである。地質図上のコラムは代表的な輝炭の採集地点とその  $R_o$  を表す。より長いコラムほど高い反射率を示す。

本地域内の  $R_o$  で最も低い値は、仏像構造線の南に接する新土居層から得られた約0.7%。一方、最も高い値は横浪半島東端の下津井層から得られた約3.3%である。また、仏像構造線沿いの  $R_o$  は岩相に関係なく、一般的に1.0%前後の低い反射率を示す。

$R_o$  の特徴的な変化の傾向としては、堂ヶ奈路層から久礼メランジュの間や野々川層から中村層の間のように、ある範囲内においてその内部の様々な地質的背景に左右されることなく北から南へと  $R_o$  が連続的に上昇することがあげられる。またこの  $R_o$  の北から南への上昇率は本地域の東西で大きく異なり、西側の上昇率よりも東側の上昇率の方がはるかに大きい。そのため岩相的にも年代的にも同一層準であってもその東西で  $R_o$  が大きく異なる場合がある。それは横浪メランジュ内に顕著に現れており、横浪半島東端の  $R_o$  が約3.0%の値であるのに対して、その西方延長部が分布する安和地域の  $R_o$  は約1.5%にすぎない。

また、この北から南へと上昇した  $R_o$  は、久礼メランジュ/野々川層境界のような特定の断層によって急激に低下する。

#### e) 輝炭の $R_r$ の出現様相

本地域の輝炭の  $R_r$  の出現様相を Fig. 6. に示す。グラフの縦軸に  $R_r$  を示し、横軸に最大反射率 ( $R_{max}$ ) を示した。本地域の  $R_r$  で最も値が大きいのは下津井層から得られたもので0.63、最も小さいのは横浪メランジュから得られたもので0.13である。 $R_o$  が高いサンプルほど  $R_r$  も大きく、両者の関係は比例的である。これは、本地質体がある一定の古地温勾配下で最高被熱を受けたことを示している。この傾向はコヒーレント相とメランジュ相双方に見られ、 $R_o$  に対する  $R_r$  の出現様相を比較した場合、共に同一領域を占めるような分布をする。これはメランジュ相もコヒーレント相も共に、同じ温度圧力条件で最高被熱に達したことを示している。

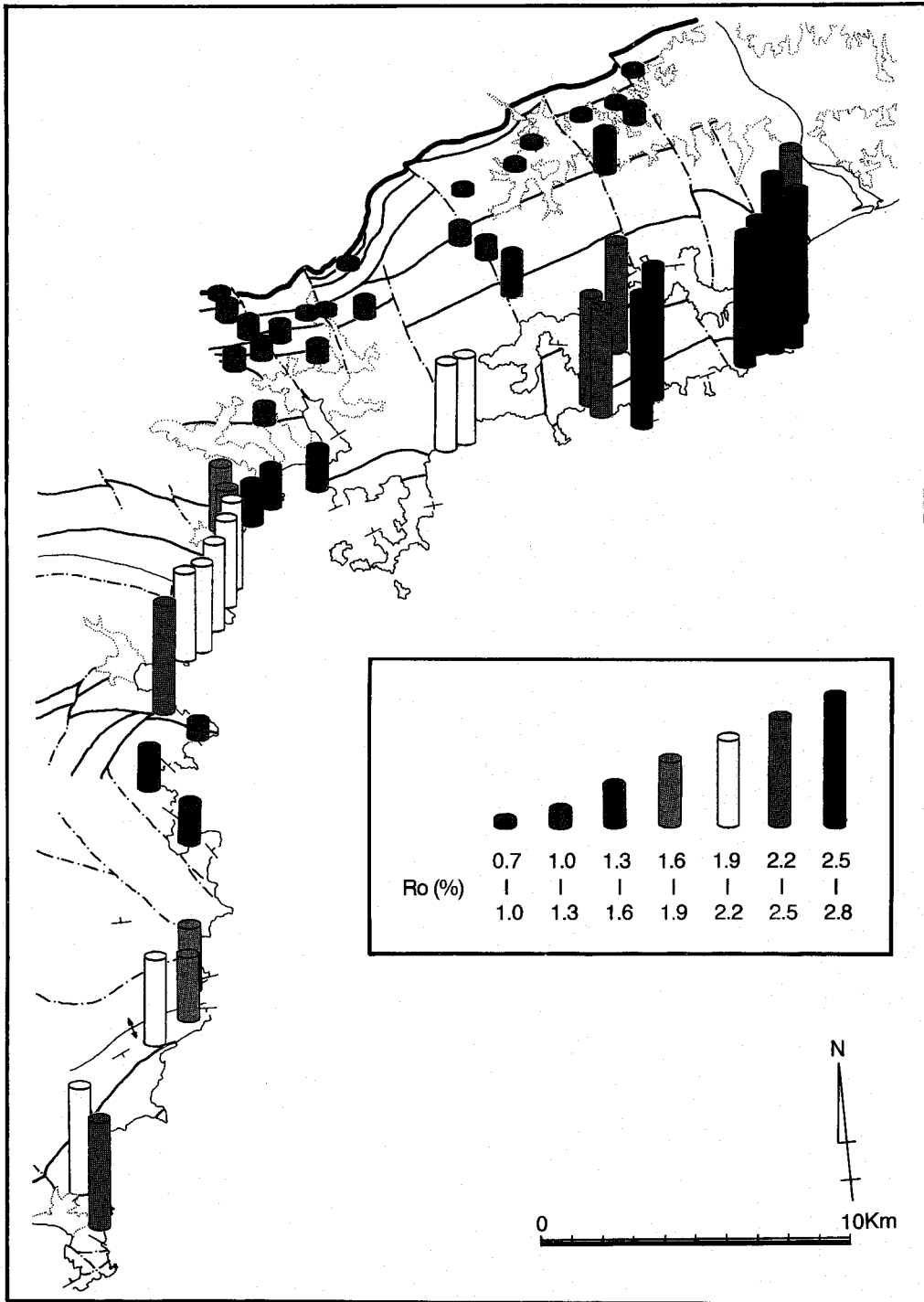


Fig. 5. Characteristic trend of vitrinite reflectance. Paleo-geothermal structure of this area is characterized by increasing trend toward south. This trend is crosscutted by special strike fault, example for the boundary between Kure Melange and Nonokawa Formation. In east-side and west-side of this area has a difference of vitrinite reflectance increasing rate.

第5図 本調査地域における輝炭反射率の特徴的な変化傾向

代表的な輝炭反射率値を柱状に表現し、その試料採集地点を地質図にプロットしたものである。より長いコラム程高い反射率値を示す。

輝炭反射率が北から南へと上昇する傾向は、本調査地域全般に見られるが、その上昇する割合は場所によって異なる。そのため、岩相的、放散虫年代的に同一層準であっても輝炭反射率が東西で大きく異なる。それは特に横浪メランジュとその周辺層で顕著である。五色ヶ浜付近の横浪メランジュとその周辺層の輝炭反射率が約3.0%であるのに対して、その西方延長部が露出する安和付近の横浪メランジュとその周辺層の輝炭反射率は約1.5%である。

また堂ヶ奈良路から久礼にかけて約1.0%から約2.2%に上昇した輝炭反射率は、久礼メランジュと野々川層の境界で一旦約1.1%に低下するが、野々川層から中村層にかけて再び約1.1%から約2.3%に北から南へと上昇する。

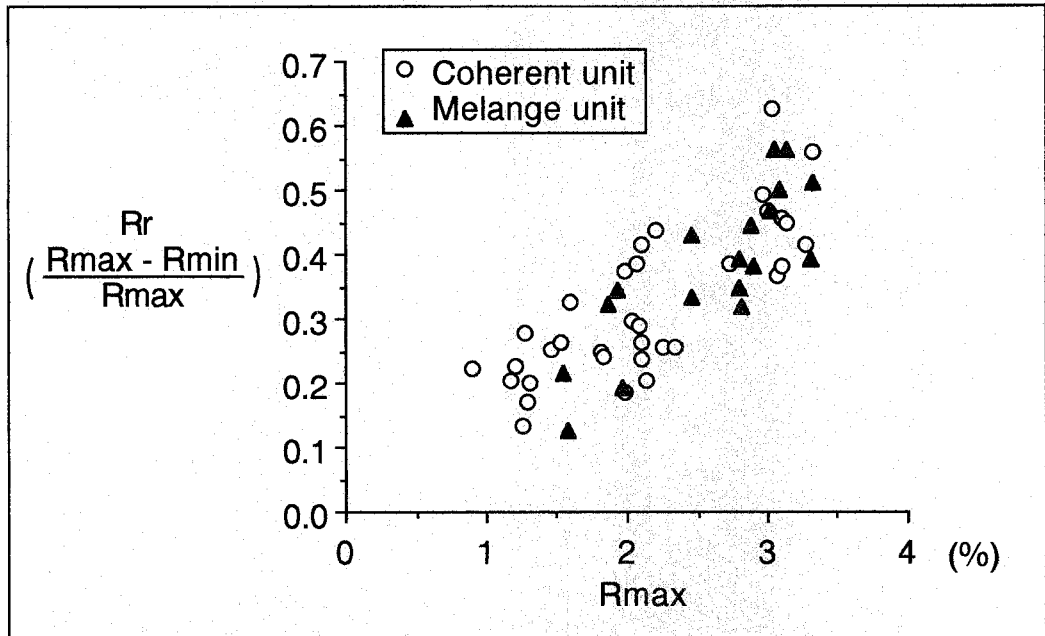


Fig. 6. Mode of occurrence of vitrinite reflective anisotropy. Vitrinite reflective anisotropy ( $R_o$ ) indicates relative pressure. Coherent and melange unit have similarly occurrence of mode of vitrinite reflective anisotropy. The vitrinite of higher reflectance accepted higher relative pressure. These relative values are accepted maximum temperature under the same P-T trend.

第6図 輝炭の光学的異方性の出現様相

横軸に最大反射率 ( $R_{max}$ ) を、縦軸は光学的異方率 ( $R_r$ ) を示す。輝炭反射率は最大被熱温度を示し、その光学的異方率は被熱時の応力条件を反映する。

本調査地域内の輝炭の光学的異方性の出現様相は比較的であり、これは全ての地質体と同様の温度圧力条件下で最高被熱を被ったことを示す。

#### IV. 考 察

##### 1) $R_o$ と堆積年代の対応関係の検討

Ⅲ, 1) で述べたように、 $R_o$  はその輝炭が受けた最高温度と有効被熱時間により決定される。有効被熱時間は、年代が古い堆積物ほど長くなる可能性があり、炭田地域では一般的に古い地質体のものほど高い  $R_o$  を示す。そのため古地温環境を推定するには  $R_o$  と堆積年代の対応関係を検討する必要がある。本地域の堆積年代と  $R_o$  の対応関係を以下に述べる。

本地域の  $R_o$  と堆積年代を比較した場合、全般的には堆積年代が古い新荘川層群の方が大正層群よりも低い  $R_o$  を示す。また、堆積年代的に重要な地域で比較してみると、須崎層と横浪メランジュ

との境界のように、造構プロセスの異なる地質体が年代的な間隙をあけて接する境界部においても  $R_o$  は互いに一樣であり、加えて両層の  $R_o$  はわずかながら東上がりの上昇傾向を示す。一方で、下津井層と野々川層の両層はほぼ同じ堆積年代でありながら  $R_o$  が大きく異なる。

このように本地域の場合  $R_o$  と堆積年代の間に明瞭な関連性は見られない。これは  $R_o$  の違いに及ぼす時間の効果が十分に小さく、 $R_o$  の違いは即ち“被熱温度の違い”を表しているものと考えられる。

## 2) 本地域の被熱構造

以上の測定結果より、本地域はこれまで知られてきた地質構造とは異なる独自の被熱構造を持つことが明らかになった。Fig. 7. は  $R_o$  を高さで表し、それに海岸線を加味して本地域の被熱構造を模式的に表現したものである。本地域の地質体は熱的には南北2つのブロックに区分することができる。北側のブロックは堂ヶ奈路層I帯から久礼メランジュまでのブロックであり、南側のブロックは野々川層から中村層にかけてのブロックである。この南北2つのブロックは久礼メランジュと野々川層の境界断層で分けられており、そこでは  $R_o$  に大きな差がある。そして各ブロックの  $R_o$  は、その内部にある岩相差、放散虫年代差それに褶曲構造などの地質的背景に左右される事なく北から南へと連続的に上昇する傾向を持つ。しかしながら北側のブロックの場合、その北から南へと上昇する割合がブロックの東西でかなり異なる。このため横浪メランジュとその周辺層は同一層準であってもブロックの東西で  $R_o$  が大きく異なり、東西方向では東上がりの上昇傾向を持つ。

また、輝炭の光学的異方性の出現様相は、高い反射率を示す輝炭ほどより地下深部で最高被熱を被ったことを示しているので、Fig. 7. のブロックダイグラムの高さはその地域の隆起量、あるいは削剥量の違いとして読み換えることができる。

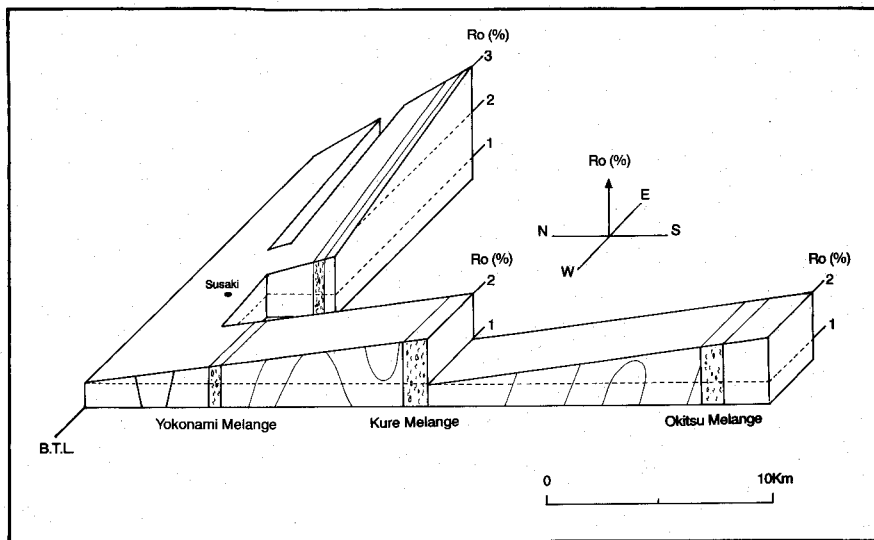


Fig. 7 A paleo-geothermal structural model. This simplified model indicates a relative uplift and, or erosion. Paleogeothermal structure of this area subdivided into two areas by the thrust activity of the post-dehydrational stage. Each block have the increasing trend of vitrinite reflectance toward the south This paleo-geothermal structure has no regard of various geological setting.

### 第7図 輝炭反射率を高さで表し、それに海岸線を加味して模式的に表現した被熱構造モデル

本調査地域の地質体は、熱的には南北2つのブロックに区分することができる。各ブロックは、その内部の地質構造とは無関係に北から南へと上昇する傾向をもつ。しかし、その上昇する割合はブロックの東西でかなり異なる。そのため五色ヶ浜付近と安和付近間の東西方向では、東上がりの上昇傾向を持つ。

## 3) 被熱構造形成過程

堆積、構造プロセスが異なる各地質体は、それぞれの熱史を反映した独自の  $R_o$  を持つことが予想されるにもかかわらず、本地域の  $R_o$  は様々な地質的要因とは一致しない一連の変化傾向を持つ。このような一連の被熱構造を構成するためには、各地質体が共通の熱史を持つ必要があると考えられる。つまり本被熱構造は、現在見られる基本的な地質配列が完成した後に最高被熱を受けて、それ以前の各地質体独自の被熱構造が打ち消されて形成されたものだと考えられる。この最高被熱の要因としては次の2種類ものが挙げられる。1つは、現在の地質配列が完成した後に本地質全体が最高深度にまで埋没し、最高被熱を被ったというものであり、もう1つは、現在の地質配列が完成した後に熱的イベントにより地温が上昇し最高被熱を被ったというものである。本地域の地質体の場合、その上部がC C D以浅の前弧海盆で堆積した堂ヶ奈路層 I 帯や非変形の岩相を持つ堂ヶ奈路層 I I 帯までが一連の被熱構造に含まれており、これらの地質体が堆積後再び地下深部まで持ち込まれたとは考えにくい。前者の被熱様式ではないと思われる。

以上の結果をまとめると、本地域の被熱構造形成モデルは次の3つの段階に分けて考える事ができる (Fig. 8.)。

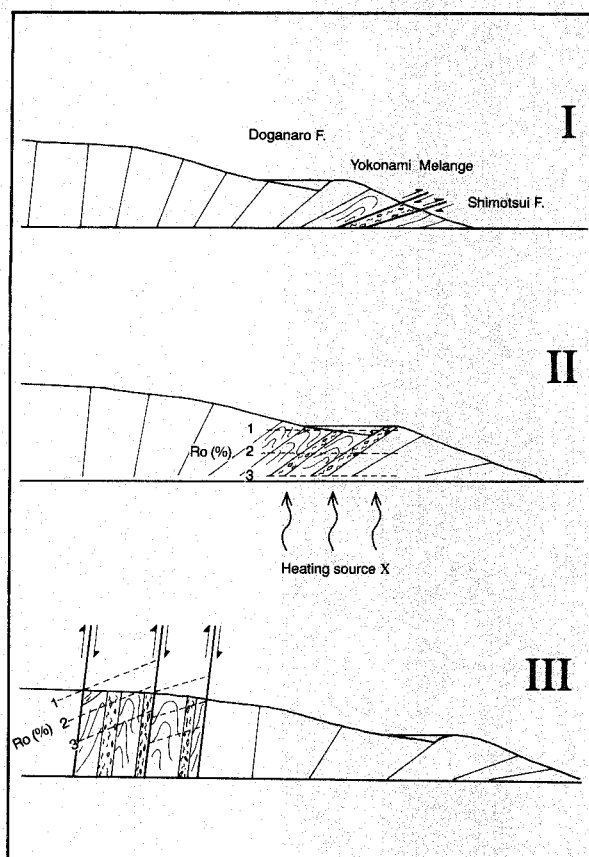


Fig. 8. Summary of thermal history. Though this area include variouce units, it has a unique sequence of paleo-geothermal structure. This figure shows that this area have been experienced maximum temperature after this area had set. Paleo-geothermal structure indicates forearc-basin sediment inexarc-basin sediment experienced high burial pressure. As a result, the original diagenetical thermal record in the sediments was overprinted by the later thermal effect. After that, characteristic thrust reactivated.

## 第8図 被熱構造形成モデル

それぞれ異なる造構プロセスをもつ各地質体が一連の被熱構造をもつためには、各地質体形成時の初生的被熱構造が打ち消されるような熱的イベントが必要であると考えられる。したがって本地域の被熱構造形成過程は、次の3つの段階に分けて考えることができる。

- I) メランジュを含めた基本的な地質配列が完成した。
- II) 地質全体が熱的イベントで最高被熱を受けた。そのため地質構造とは異なる、一連な被熱構造をもった。
- III) 久礼メランジュ/野々川層境界などの特定のスラストのみが最後に活動し、一つのまとまりをもったブロックごとに南上がりの運動をした。

I. メランジュ相を含めて基本的な地質配列が完成した。

II. 本地域の地質体が熱的イベントにより最高被熱を被った。そのため地質構造とは異なる一連の被熱構造を持った。

III. 久礼メランジュ/野々川層境界などの特定のスラストのみが最後に活動し、1つのまとまりを持ったブロック毎に南上がりの運動をした。

これらの結果を含めて、次の事象が導かれる。

本地域の最高被熱温度は熱的イベント以前の被熱温度の上限を表すものである。被熱温度の算定には Bostick et al. (1979) のノモグラムを用い、有効被熱時間を堆積年代から1 Maの幅をとって算出した。その結果、周囲のコヒーレント相よりも地下深部で形成されたと考えられている横浪メランジュ (Hada, 1988) の最高被熱温度は160°~220°Cとなった。これは、南海トラフにおける付加体前縁部のボーリングの孔内温度の測定 (Taira et al., 1990) による地温勾配の見積りが約111°C/kmであることと考え合わせると、本地域で進行したメランジュ相や配列といった造構作用の大局は、付加体の厚さが約1~2 km以下の脱水作用が盛んな sedimentary-toe の部分で形成されたものであることを示唆する結果である。

今後の課題としては、本地域の被熱構造を規定した熱的なイベントの原因の究明と他の地域の熱履歴との関係を明らかにするためにもフィッシュトラック年代測定法 (Hasebe et al., 1991) などによるイベント時期の決定や、地温勾配の算定によるイベント時の熱的規模を定量化する必要がある。

## 一 謝 辞

本研究を進めるにあたり、高知大学の田代正之教授には堂ヶ奈路層 I I 帯の取り扱いに関して、同大学の波田重熙教授には測定結果の解釈について御助言をいただいた。また、九州大学地球惑星科学科の方々には輝炭反射率の測定の際に様々な励ましと御援助をいただいた。稲毛幹氏をはじめとする高知大学地学科の院生、学生の方々には討論していただいた。以上の方々には厚く御礼を申し上げます。

## 引用文献

- 相原安津夫・千々和一豊・鮎沢 潤, 1987, 続成~低変成堆積岩中の石炭化物の光学的異方性に関する地質学的問題の予察. 九州大学理学部研究報告, 15, 1, 119-129.
- Bostick, N. H., Cashman, S. M., McCullow, T. H. and Waddell, C. T., 1979, Gradients of vitrinite reflectance and present temperature in Los Angeles and Ventura Basins, California. *Low temperature metamorphism of kerogen and clay minerals*, 65-96.
- 千々和一豊, 1990. 石炭化物質の有機変成の進行に伴う光学異方性 (反射異方性) の出現様相. 山口大学教育学部研究論集, 40, 2, 7-31.
- Cowan, S. D., 1985, Structural styles in Mesozoic and Cenozoic melanges in the western

- Cordillera of North America. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 96, 451-462.
- Hada, S., 1988, Physical and mechanical properties of sedimentary rocks in Cretaceous Shimanto Belt. *Modern Geology*, 12, 341-359.
- Hasebe, N., Tagami, T. and Nishimura, S., 1991, Thermal history of Shimanto accretionary complex; constraints from fission track analysis. *Muroto international conference on accretionary prisms. Nankai Trough, Shimanto Belt and global comparisons. abstracts volume*, Oral-18.
- Hayami, I. and Kawasawa, K., 1976, Some lower Cretaceous bivalves from the Shimantogawa Group of South Shikoku. *Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan*, 66, 73-82.
- 平田正義, 1990, M. S., 白亜系四万十帯メランジュ相の基質年代-横浪, 安和, 手結メランジュを例として-, 平成元年度高知大学卒業論文
- 甲藤次郎, 1969, 高知県の地質. 高知市民図書館, 316p.
- 木村 学・向井淳彦, 1989, 底付けされたユニットとしてのメランジー-四万十帯の例-, 月刊地球, 11, 697-709.
- Mori, K. and Taguchi, K., 1988, Examination of the low-grade metamorphism in the Shimanto Belt by vitrinite reflectance. *Modern Geology*, 12, 325-339.
- 沼 知之, 1983, M. S., 高知県中土佐町東部および窪川町東部の地質, 昭和56年度高知大学卒業論文.
- 岡村 真・松木宏彰, 1986, 白亜系同時異相堆積物の放散虫群. 大阪微化石研究会誌, 特別号, 第7号, 117-129.
- 岡村 真・梅村隼夫・安田尚登, 1991, 四国中西部四万十帯の主要 Facies と変形, 日本地質学会第98年学術大会見学旅行案内書, 85-119.
- Okamura, M., 1992, Cretaceous Radiolaria from Shikoku, Japan (part 1). *Mem. Fac. Sci. Kochi Univ., Ser. E, Geol.*, 13, 21-164.
- 大内博夫, 1982, M. S., 高知県須崎市南部より中土佐町に分布する白亜系四万十帯の地質学的研究. 昭和57年度高知大学卒業論文.
- 坂井 卓, 1989, メランジュ問題と付加造構作用. 構造地質, 34, 9-25.
- 関口嘉一・平井明夫, 1980, 有機物熟成度の予測. 石油技術協会誌, 45, 353-361.
- Suzuki, T. and Hada S., 1979, Cretaceous tectonic melange of Shimanto Belt in Shikoku, Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, 85, 467-479.
- 平 朝彦・田代正之・岡村 真・甲藤次郎, 1980, 高知県四万十帯の地質とその起原. 四万十帯の地質と古生物学-甲藤次郎教授還暦記念論文集-平 朝彦・田代正之編, 林之弘済高知支部, 319-389.
- Taira, A., Hill, I., Firth, J. V., et al., 1991. *Proc. ODP, Init. Repts., 131. College Station, TX Ocean Drilling Program.*
- 田村俊之, 1984. M. S., 高知県窪川町東部から佐賀町北東部に分布する白亜系四万十帯の地質学的研究. 昭和57年度高知大学卒業論文.
- 田代正之・高梁啓史・甲藤次郎, 1982, 高知県四万十帯の堂ヶ奈路層の地質時代について. 地質雑, 88, 203-205.
- Underwood, B. M., Laughland, M. M., Byrne, T., Hibbard, J. P. and Ditullio, L., 1992, Thermal evolution of the Tertiary Shimanto Belt, Muroto Peninsula, Shikoku, Japan. *The Island Arc*, 1, 116-132.
- 宇都秀幸, 1983, M. S., 高知県横浪半島に分布する四万十帯白亜系の地質学的研究. 昭和57年度高知大学卒業論文.
- 山本浩士・大森琴絵・坂口有人・坂井 卓・相原安津夫, 準備中, 西南日本四万十帯の有機変成.

(平成4年9月30日受理)

(平成4年12月28日発行)



Plate 1

## Explanation of Plate 1.

輝炭（ビトリナイト）粒子（#60~100）の走査型電子顕微鏡（SEM）写真（Figs. 1~3）。および落射型偏光反射顕微鏡写真（Figs. 4~7）。オープンニコル。油浸対物レンズ使用。白いスケールバーは0.1mm。

Fig. 1. 輝炭（ビトリナイト）粒子（#60~100）。

Fig. 2. Fig. 1. の右側の粒子の拡大。貝殻状断口が見られる。かなり均質で緻密な物質であることが観察される。

Fig. 3. 輝炭粒子の表面。一部に結晶面のような形態を示す部分がみられる。

Fig. 4. 正常な無組織のビトリナイト（左）と風化したビトリナイト（右）。

Fig. 5. 正常な無組織のビトリナイト（左）と植物の材組織を残すフュージナイト（右）。フュージナイトは野火や異常乾燥により、生木の状態で脱水や炭素含有量が急激に上昇することにより生じる。フュージナイトは同一炭化物に含まれるものでも一般にビトリナイトよりも反射率が高い。このようにビトリナイトとフュージナイトは鏡下で容易に判別できる。

Fig. 6. 少々風化を受けて表面が荒れているビトリナイト（右）と植物の大きな組織を残すフュージナイト（左）。

Fig. 7. 典型的なフュージナイト。白く輝く丸い粒子は黄鉄鉱の粒子。

Plate 1.

