

堆積物の続成～埋没変成の有機地球科学的考察

相原, 安津夫
九州大学理学部

<https://doi.org/10.15017/4494733>

出版情報：九州大学理学部研究報告．地球惑星科学．18（1），pp.1-11，1993-12-25．九州大学理学部
バージョン：
権利関係：

堆積物の続成～埋没変成の有機地球科学的考察

相原安津夫

Organic geoscientific studies on diagenetic to burial metamorphic phenomena of sediments

ATSUO AIHARA

Abstract

The laboratory name of Coal Geology in the Department of Geology converted to "Organic Geoscience" in the course of reformation of the department to "Earth and Planetary Sciences". One of the research targets for expected new laboratory had been focused on diagenetic to burial metamorphic alteration of plant derived solid coaly organic matters in sediments by applying such coal petrological information and examining technique as vitrinite reflectance (Ro) measurement for one of the parameters.

The pioneering studies on rank variation researches in the major domestic coal fields had started since late 1970. The results revealed a pair of contrasting temperature/pressure conditions in the Cenozoic organic metamorphism between Ishikari coal field in Hokkaido representing lower heat flow region in the Pacific side of the north-eastern arc and coal fields in north Kyushu representing higher heat flow region in the continent side (inner zone) of the southwestern arc within the Japanese Island arc system.

The expanding fields of studies to investigate the paleo-geothermal information recorded in the closely related Mesozoic System and the non-coal-bearing Tertiary sediments mainly in Kyushu Island had been executed with special attention to the Shimanto Belt in the ocean side (outer zone) of the southwestern arc. The studies resulted in geotectonic revelation of geothermal events with higher paleo-geothermal gradients with local varieties in the Shimanto Belt during the accretion and subduction of the oceanic plate.

The organic geoscientific investigations on diagenetic to burial metamorphic phenomena applying the coal geological research techniques have achieved to obtain paleo-geothermal information of the Japanese Island arc system related to Alpine orogeny. The summarized results can be correlated to the same information in the sediments on the more stable cratons or shelves on the earth, and clarify the characteristic geotectonic and geothermal situations of the Cenozoic island arc system. It is evident that the more detailed and closer systematic investigations on the sedimentary organic matters will introduce the more various new information in the geosciences.

1. まえおき

1-1. 有機地球科学的転換

九州大学理学部地質学教室は地球惑星科学教室へ拡充改組した。その背景には、近年著しく進展した地球科学や、地球外から観た地球や他の惑星に関する新情報などから、「人類が生存でき得る特異な唯一の惑星としての地球」に対する新しい認識が育っていた現実がある。それ迄の教室は成長過程で、1949年に第5番目の講座に石炭地質学講座を増設した。その設立趣意書は、当時の社会的背景を捉えて、九州北部の第三系に賦存する貴重な国家資源の石炭の基礎研究の推進と、その地質学的調査と合理的開発に貢献できる科学技術者の育成の重要性を強調している。

設立の主旨に沿い初代講座担当の故松下久道名誉教授は九州諸炭田の層序学的・古生物学的並びに構造地質学的研究を進め、炭田地質学の基礎を固められた。二代目の高橋良平名誉教授は石炭岩石学を導入し、石炭自体の地質学および物質工学的応用も加えた研究で教室と講座の存在を内外に顕示された。しかし、エネルギーの流体化と低廉化の波に呑まれたわが国の石炭鉱業の衰退は、永年の生産を担って老朽化した九州の諸炭鉱の終掘と閉山を導き、社会的背景は著しく変化した。

この時期の教室改組にあたり、講座設立の主旨は既に達成されたと做すと閉鎖しても差し支えないことになる。しかし、教室改組の「特異な惑星としての地球」を理解する主旨でこれまでの研究対象を見直すと、生命の誕生と生物進化を許した地球にのみ形成された古植物起源の石炭には、膨大な地球科学的情報が蓄積されていることに気付く。また、変動帯で小規模な国産石炭資源が短期間に枯渇した体験的現実の上に、有限・非再生産性地下資源の活用に係わる地球規模の諸問題を考察することもできる。さらに普遍化すると、石炭に限らず、古生物が生産した多種・多様の有機物が、堆積物中に保存され変質する過程を通じた物質循環に関連する地球科学的諸現象が見えて来る。

地球にのみ生まれた生命現象が、古生物の生存と進化の過程で生産し続けた有機物に係わる地球科学の推進を目標に、新しい「有機地球科学」の体系が求められて良い。対象には従来資源地質学で扱った石炭や石油も挙げられるし、鉱物や岩石を主に扱って来た従来の地質学に、地球でのみ研

究可能な生命現象に係わった有機物に関連する地球科学も加えた未開拓の新分野での展開が可能になる。

1-2. 本論の内容

地球惑星科学における有機地球科学の位置付けが観念的に可能になっても、継承して来た教室の現実と今後の卒業生の社会での活躍分野などを考慮すると、極端な変化や急激な教育・研究分野の分散は好ましく無い。特に研究分野は、これまで培われた石炭地質学の学術的基盤と、地質学教室の現有設備や研究者の陣容などから、堆積岩中で石炭化した固体有機物からの地球科学的情報を一つの起点とすることが現実的であると考えられる。

上記の視点で既に開始していた研究結果の現時点での総括が本論の骨子である。調査・研究は現在も進行中で、今後も追加や部分修正も生ずると思われる。なお、これまでの主要研究対象は、古生物起源の有機物で堆積岩中に残った堆積有機物 (sedimentary organic matter) で、かつ、残存と出現頻度が高い古植物起源の固体炭化水素と、その続成～変成的変化情報が主体で本論の主対象でもある。

本論の構成は4章からなり、まえおきに次ぐ第2章で堆積有機物の概要に触れ、第3章ではその続成～変成的変化を調査する上での指標の選択と得られた情報を日本列島の幾つかの事例で概括し、第4章では、これまでの調査結果を要約し、今後の展開と関連する諸問題を合わせてまとめた。

1-3. 謝辞

本稿は筆者が九州大学理学部地質学教室に在籍し、新しい地球惑星科学教室に改組する間に進められた研究の一部を、未完であるが、纏めたものである。その過程で卒業研究や研究科特別研究を通して関連課題に取り組み、協力下さり多くの業績を残された卒業生諸氏には厚くお礼申し上げたい。特に、この研究が行えたのは、前任の講座担当の高橋良平名誉教授が初代講座担当の故松下久道名誉教授から引き継がれた研究の場があったことに依っており、ここに両先生に深甚の謝意を捧げたい。教室の多数の教職員各位には、直接・間接に研究の支援を賜っており、教室を去るにあたり、改めてお礼申し上げる。

2. 堆積有機物の形成

2-1. 濃集型固体堆積有機物

古生物起源の有機物が堆積岩中に高濃度で比較的大規模に集積されて出現する場合の典型例は、夾炭堆積物中の石炭層と貯留岩中の石油とである。前者は層状有機堆積岩で集積の場から著しくは移動していないが、後者は流体であるので熟成過程で移動して貯留構造中に集積している。根源物質からの流体炭化水素の形成・移動の機構には解決すべき多くの問題を含んでいる。その間の続成現象の解析には、堆積物中に固定され残り、その変化の程度を同様に記録している対象が扱えることが好ましい。その意味で、古植物起源の石炭ないし類似物質を対象に、これらに残る続成的情報を扱うことから開始した。

古生物が堆積岩中に保存される機会は、生物圏周辺で、水圏と岩石圏の接触面で多かった。古植物の場合は、繁茂と集積が容易な、現在の湿原や泥炭地に類似した、水辺の特異な堆積域が類推できる。繁茂は濃集に不可欠であったが、植物の遺骸が酸化・消失しないためには、水没して還元環境に保たれる必要があったので、堆積の場の水位の変化は更に重要な保存条件になった。現在炭田として残った夾炭層や石炭層が堆積した場では、

このような水位の平衡が保たれながら緩徐に沈降が続いていたと推定できる。

古植物起源の濃集型堆積有機物は、堆積時の植物分布が古気候や地形・水位などに規制された地域差が生じ得たであろうから、同一時面で全く均質であり得たとは考え難い。また、年間平均mm単位の成長速度(阪口, 1974)の泥炭が積もる湿原が、千年単位の時間経過で同一条件で保たれ得たとも考え難い。従って、集積にあたっては、平面的(堆積面)にも、時間的(地層断面)にも、変化と不均一性が生じ得る機会が多かったと考えられる。

古植物濃集の古環境を模式的に示すと第1図の様になる。典型的な夾炭堆積盆での石炭層形成の堆積学的記述は専門書(例えば DIESSEL, 1992; SCOTT, 1987)に譲り、ここでは初生的変動要因を挙げると、水位低下が起こり易かった湿原縁部での風化や腐敗に耐える花粉・孢子・樹脂などの比の増加や、乾燥で頻発した野火による木炭化の機会の増加などがある。また、盆地や水域に面しては長期間の水位の上昇が起これば藻類の発生や、泥水の流入、分散や火山灰の降下による泥炭成長の中断による不均一性も挙げられる。

泥炭化初期の段階での水位変化は、その表面での上記の初生的な広域変化を更に修飾したに違い

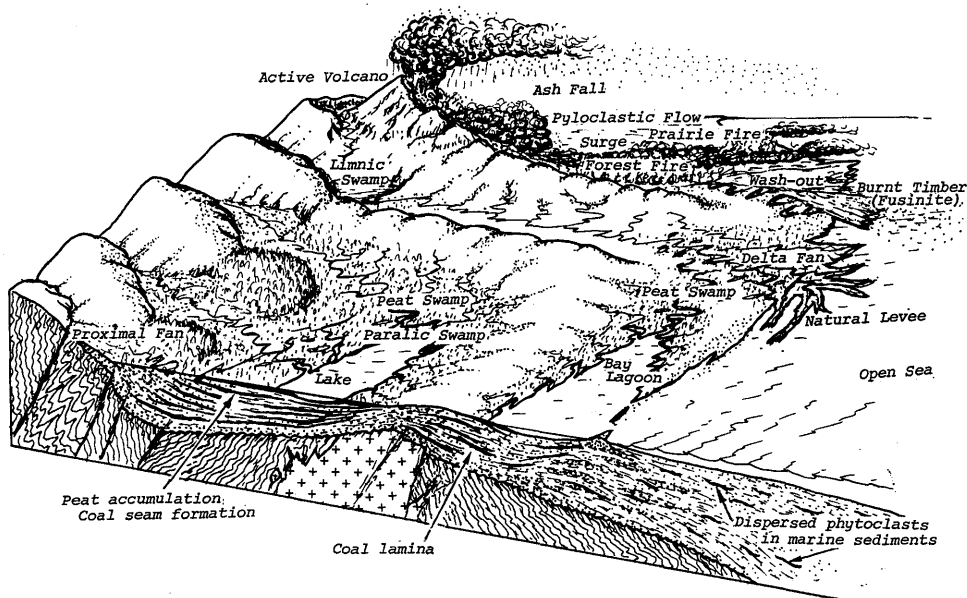


Fig. 1. Reconstructed simplified sedimentary environment of accumulated (peat) and dispersed (phytoclasts) plant origin organic matters.

ない。この様な多くの変動要因に影響されながら、複雑な原物質から構成された泥炭は地下に埋没され、次第に続成的変化を経ることになる。

2-2. 分散型固体堆積有機物

湖水～浅海成の碎屑岩には、分散・混入した植物化石の破片 (phytoclasts) をしばしば肉眼で認めることができる。それらに加えて顕微鏡的や地化学的にも古生物起源の有機物が確認され、纏めて分散型有機物 (dispersed organic matters) と呼んでいる。肉眼で確認し難い微細な有機物が、石灰岩や深海堆積物中にも残っていることがある。以下には、主に肉眼ないし顕微鏡で確認可能な石炭化した植物片を主体とする分散型有機物を扱うことにする。

濃集型は主に炭田や油田の特定の層準で比較的容易に見出せるが出現する場合は限定される。それに比べると、分散型は発見は容易でないが、それ以外の堆積物にも含まれる機会が多いので調査対象を広めることが可能である。しかし、含まれる堆積物の堆積過程で、古植物片の形態や性状が著しく変化して混在するので、夾炭堆積物を扱う以上に含有堆積物の堆積学的考察が必要である。

分散型有機堆積物の形成の場を、濃集型と合わせて、模式的に第1図に示した。泥炭地の水位が上昇したり、突発的出水で洗い流し (wash out) が起きると、浮き島状の泥炭の断片や微細な破片が乱流と共に海域に運ばれて堆積する。泥炭地外でも山林や樹林が土石流や火砕流で襲われて水辺まで達すると、流木片や木炭化片 (フュージナイト) として残り易い。木炭化すると腐敗し難くなるので、破碎されながら沖合にまで運ばれ、特に降灰に巻き込まれた破片は、凝灰岩中やその堆積輪廻中に出現することが多い。淘汰の良い砂の細互層に残る黒い縞模様は水辺の植物が波浪の営力が及ぶ深度の砂中に運ばれて摩擦されたものが多い。これらの分散型植物片の出現状況を模式的柱状図で第2図に示した。

分散型植物片は、濃集型が夾炭層や炭田に限られたのに比べると、以上の様に多くの場面に現れるので、地質時代も限らずに広い範囲で種々の情報を読みとれる可能性を秘めていると言える。しかし、濃集型が泥炭地で静穏に堆積し、徐々に泥炭化作用を経て続成的変化に取り込まれた場合は異なり、分散型は植物の種々の部分が別個に多

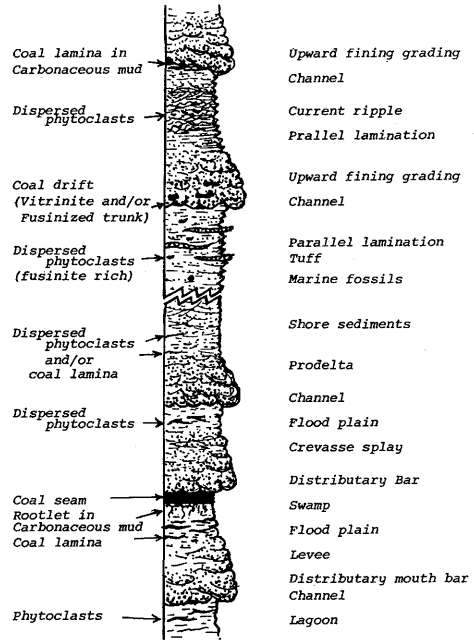


Fig. 2. Simplified sedimentary columnar section illustrating typical occurrence of accumulated and dispersed plant origin organic matters.

様な堆積機構の中で固定されて続成的変化に入った経過の違いがあることは注意しなければならない。

3. 有機変成現象

3-1. 堆積有機物の続成～変成的変化と指標

堆積物中に有機物が出現する頻度を考慮に入れれば、分散型を対象にした調査・研究が好ましい。しかし、既述の通り分散型では形成・堆積の履歴が複雑になり変動要因が増す可能性を伴うので、調査・研究が進んでいる濃集型の代表である石炭の質的变化に関する情報を先ず検討するのが得策であろう。

石炭の質的变化の知見は、炭田の各種探査で石炭化度の変化として膨大な蓄積がある。泥炭が埋もれて褐炭に変わり、更に瀝青炭から無煙炭へと石炭化度を高める間の炭質区分が続成程度に対応すると考えて良い。この炭質区分を定量的な石炭化度で示す試みは古くから提案され、例えば SUGGATE (1959) は工業分析値に依存した独特な図表で示して数値化したのが、一般化していない。

油田の探査で石油の熟成度を推測するのに分散

型石炭化植物片の石炭化度を適用することに着目した HOOD & CASTAÑO (1974) は、炭質区分の褐炭と変無煙炭の間を20分割した有機変成指標 (level of organic metamorphism) を提案した。前章で触れた様に、石炭は植物の多様な部分の集合体で、それぞれが異なる組織と化学組成を持って各々が続成的に変化するため、部分の集合状態により全体の分析値に変動が生ずる。この変動を除くには、石炭を構成する古植物組織を識別し分離した試料で分析しなければならない。分散型に適用することを意識すれば微細組織を顕微鏡下で識別すると同時に、光学的に続成の程度が判定できれば有利である。

石炭顕微鏡光学の手法を適用し分散型の石炭化植物片中の材由来のヴィトリナイトの反射率 (以下 R_o と略す) に注目した TISSOT & WELTE (1978) は反射率の数値自体と炭化水素の続成的変化の石油の熟成度と対応させた有機変成段階 (stage of organic metamorphism) を提唱した。この基準は石油地質分野での有効性もあって、手法と共に一般化した。

石炭顕微鏡学的には既に独自の研究が進んでおり、石炭を構成する顕微鏡的な最小の単位成分 (macerals) の顕微鏡光学的物理性の続成的変化の資料が蓄積されている。それらの主なものを纏めて炭質区分と、その石炭を挟む堆積物の性状、

Stage of Organic Metamorphism		Diagenesis	Catagenesis			Metagenesis	Metamorphism					
			Low	Med.	High							
SEDIMENTARY ORGANIC MATTER	Vitrinite	R max	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	6.0				
		R mean	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0					
		C %	75	80	85	90		100				
		V.M. %	60	50	45	40	30	25	20	15	10	0
		MJ/kg	25	30	35		32		0			
	Sporinite	Fluo. Spec. Peak nm	500	550	600	650						
		Q=R/G	1.0	2.0	3.0							
		Transmitt. Color T A I	Pale Yellow 2.0	Yellow 2.5	Orange 2.7	Dark Orange 3.0	Brown 3.3	Dark Brown 3.7	Black 4.0			
	Coal Rank	Lign. Sub-Bitum.	Bituminous High V.M.	Bituminous Low V.M.	Semi-Anthracite	Metea-	Semi-Graphite					
	Petroleum	Immature Methane	Oil Generation (oil window)	Gas Condensate (gas window)	Postmature Methane	Gas Deadline						
MINERAL ASSEMBLAGE	Montmoli.	Mont.+Illite		Illite								
	Clinoptirol.						Sericite					
	Analcite, Heulandite		Laumontite		Pumpellyite							
	Kaolinite	Kaolin.+Dickite	Dickite		Prehnite		Pyrophyllite					
	Saponite		Chlorite				Biotite					
							Actinolite					
	Opal	Op. C.T.			Quartz		Epidote					
Zoning	Diagenetic Zone	Burial (very low stage)			Metamorphic Zone	Regional Meta. Zone						

Fig. 3. Summarized comparison of organic and inorganic matters in sediments during the diagenetic to metamorphic course.

すなわち続成作用の進行程度や、その中の自生鉱物などを対照して示すと第3図様に纏められる。

石炭顕微鏡光学的手法でRo測定以外に、熱的に活性なリプティナイト、特に花粉や孢子に由来するスポリナイトを対象に反射蛍光スペクトル特性（最強波長や赤緑比）で続成程度を判定する方法（OTTENJANN *et al.*, 1974）がある。この方法は続成初期段階で効果的であるが、それ以上では蛍光物質が消失して適用範囲が限られたり、蛍光測定設備や測定方法の標準化の困難さ（THOMPSON-RIZER, 1992）のため、研究所内手法では活用されているが、所間比較では一般化していない。

陸植炭主成分の材由来のヴィトリナイトのうち、無組織層状のテロコリナイトは出現頻度も高く、これを対象とした油浸反射率は国際的にも測定方法が標準化され、適用範囲も広いと普遍的に活用されている。しかし、第2章で触れた様に、堆積の初期に既に各種の変動要因に影響されるため、それらが消滅する続成初期を超えるまでは、第4図に示す様に、変動の中が広がる恐れがある。そのため、低続成域では慎重な顕微鏡観察と細心の測定と総合的考察が必要である。

3-2. 有機続成～変成情報

堆積岩の続成的変化の地質学的分帯には自生鉱物を基に、例えば沸石相（COOMBS, 1954）などが適用されて来た。しかし、石油探鉱で炭化水素の熟成状況を解析するために、更に細分する必要があるが生じ、Ro適用は石油地質関係者を通して急速に一般化した。しかし、石油発生帯がRo=0.5~2.0で特にRo≤1.25に石油技術者の関心が高かったため、石油を発生し終わった埋没変成域での適用は殆ど顧みられなかった。

古生物が生産した有機物が地殻表層部の堆積岩に保存された後に辿る地球科学的变化を対象にするならば、最終的に広域変成段階で石墨化するまでの経過を追わなければならない。石墨化して鉱物学的手法が適用されるまでの境界領域は石炭を扱った手法でRoの測定などを併用して変化を解析せねばならない。

野外地質現象の続成関連の事実は、炭田や油田の探査経過で膨大な情報が蓄積されているが、対象が限られた堆積盆になる。しかしそれら資料を基に非夾炭や非含油堆積物での考察も可能になる。この場合も分散型有機物が有効な対象に挙げられ

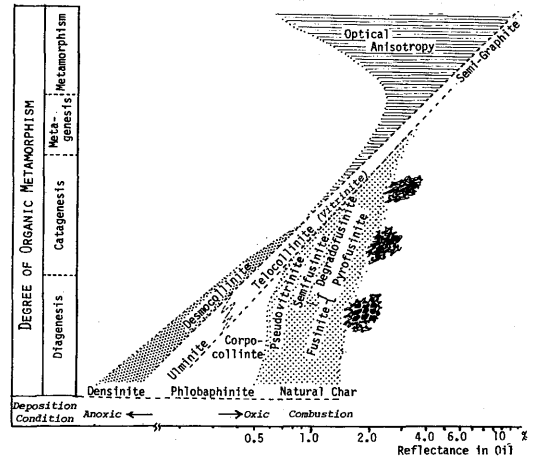


Fig. 4. Diagenetic to metamorphic change of optical property (reflectance in oil) of woody part with the incipient effect of preservation.

る。変動帯に位置するわが国は、有機地下資源の規模は小さいが地質的变化に富むため、炭田や油田を含めた各種地質体内での情報の収集に適する。

日本列島で最も濃集型堆積有機物の出現頻度の高いのは、地質時代では古第三紀で、地域的には北海道と北部九州の諸炭田である。これら諸炭田の有機続成の程度と諸変化を、Roの時代別、層序別、同一層準の地域別、および試錐深度別などの変化で調査した。その結果、石狩炭田の急傾斜部では層序に埋没経過の続成の差が残されており、石油探鉱の基礎試錐と同様に、地層厚や試錐深度に対するRoの上昇程度、すなわち、Ro勾配が著しく低く、日高前縁沈降帯の低熱流量域の特徴が見出された（相原, 1977, 1979; AIHARA, 1980a; 相原ら, 1980）。

北部九州諸炭田では緩傾斜部が多いため、Roの層位差を見出そうとすると位置差が生じるため、その間で内帯特有の活発な火成活動の影響を受け易いことと、堆積盆心の移動による累積地層厚と真の埋没深度の相違が現れるため、地表のRoは続成的変化以外の複雑な要因に規制され、著しく変化に富むことが判明した（相原, 1980; 相原ら, 1987b）。

夾炭層に富むが地体構造の異なる北海道と北部九州の諸炭田でのRoによる続成形態の比較により、東北日本太平洋側に面して現在も低熱流量域にある日高前縁沈降帯と、現在も高熱流量域にあ

る西南日本弧内帯とでは、島弧の地殻熱構造を反映した対照的な新生界の有機変成が進行していることが判明した(相原, 1989; AIHARA, 1980b; 1989).

西南日本弧西端で琉球弧との会交部に位置する九州の外帯には内帯の夾炭層と同時代の構造の複雑な海成層が四万十帯に分布し、近年層序と構造の解析が進んで来た(例えば坂井, 1978; 坂井・勘米良, 1981など)。四万十帯を挟む外帯の非夾炭層には分散型の堆積有機物が含まれており、石炭化植物片を対象に、内帯に続いてRo変化の調査を展開した。その結果、付加体形成過程と新期深成岩貫入に伴う特異な有機変成が進行している実態が描き出され、暖かいプレートが沈み込んだ被熱履歴を始め、多くの情報が収集できた(相原ら, 1987a; 靱田, 1985; 山本, 1992; 山本ら, 1992)。

九州の外帯に達した有機変成度調査は四万十帯を經由して東の四国(阪口ら, 1992; 大森, 1993, 山本ら, 1992; 柳瀬, 1992, など)から紀伊半島(CHIJIWA, 1980, 1988; 森山・相原, 1993)を経て、赤石山塊(倉橋, 1993)まで達し、西南日本弧外帯有機変成の概貌が把握されつつある。第5図に日本列島の新生界の有機変成状況を示したが、

西南日本弧の新生代の付加体形成に、現在のフィリピン海プレートが海嶺を伴い高熱流量域を残している様に、現在の東北日本弧での冷え切った太平洋プレートが沈み込む機構とは異なり、熱を保ったプレートが沈み込むことに依って生じた特異な内・外帯の被熱履歴を読み取ることができる。

特に四国の四万十帯については、従来の豊富な地質学的情報の蓄積の上に、構造形成に伴う熱史の考察が進んで来た。近年の総括がUNDERWOOD (1993)により行われているが、分散型固体有機物を扱ったRoも有効に活用されており、同様な成果が得られている。

日本列島の新生界の有機変成の実態と全体像を把握するための比較材料として、関連の深い中生界(一部古生界)からも多くの分散型や、限られるが濃集型堆積有機物(石炭層)を対象に同様の調査が進んでいる(例えば相原, 1981; 倉橋, 1991; 田内, 1992; 持田, 1990など)。また、断片的にはなるが、国外試料も扱った(例えば金・相原, 1993など)。それらを纏め、さらに、内外の資料を考慮して時代別や大陸別の資料を加え、日本列島の有機変成形態を示すと第6図のようになる。

第6図には記入していないが、世界各地の各地質時代と地体構造別に夾炭堆積盆や油田堆積物にはRoを共通の指標とした有機変成度の膨大な資料の蓄積がある。それらを含めるまでも無く、アジア大陸東縁の変動帯に位置する日本列島は、安定大陸内の堆積盆と比較すると、特徴的な被熱履歴を有していることが読み取れる。堆積有機物の続成～変成的変化の程度を、Roを一連の有機変成の指標として総括し、共通基準で他の地質体と比較することに依り、日本列島の島弧系の古地熱構造特性の理解度を増せる様になった。

3-3. 有機続成～変成変化要因

濃集型有機堆積岩の質的变化として石炭化度の変化要因は古くから検討されてきたが、石炭化度の異なる炭田の地質時代の差に注目し石炭化作用KARWEIL (1956)であった。その後、地質時代的時間経過で反応を促進させた有効被熱時間を考慮したBOSTICK (1974)が修正を加え、地熱地帯の熱履歴を調べたBARKER (1979)は温度の影響を強調している。また鮎沢・相原(1993)は液体包有物を扱って具体的に温度を推定した。何れにも

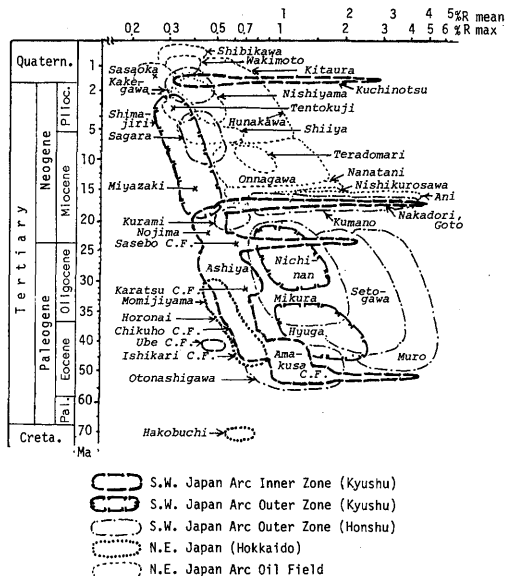
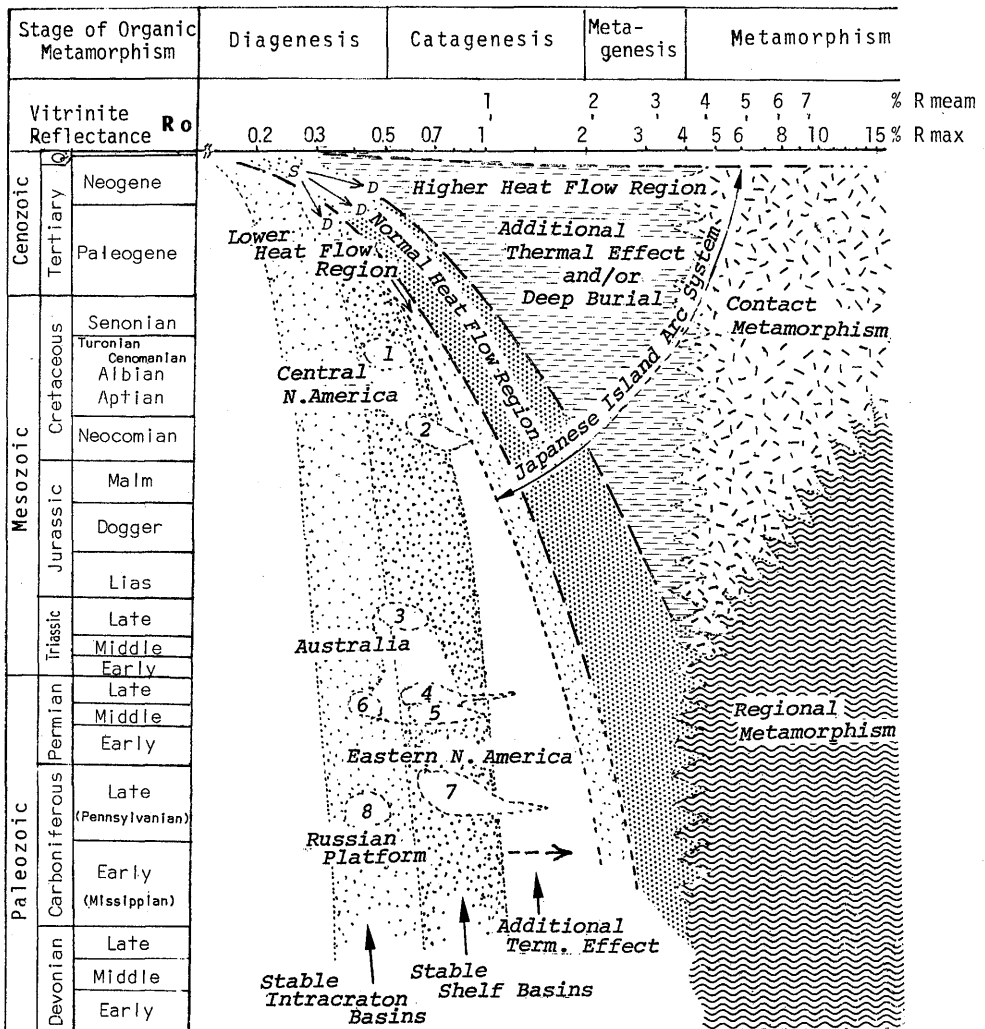


Fig. 5. Variation pattern of organic metamorphism (Ro) in selected Japanese Cenozoic basins in various geotectonic provinces and geologic time.



Central North America: 1=Black Mesa, Ariz., 2=Canada Rocky Hoothil C.F.

Eastern North America: 7=Appalachian C.F.

Australia: 3=Callide, 4=Bowen Basin, 5=Sydney Basin, 6=Collie Basin.

Russian Platform: 8=Moscow Basin.

S→D: R_o gradient with shallow to deep burial depth.

Fig. 6. Characteristic pattern of organic metamorphism (R_o) of sediments in the Japanese Islands as compared with different geotectonic settings of selected craton and shelf.

せよ、石炭原物質に及んだ天然の続成作用の要因には、埋没過程における反応促進可能温度と有効被熱時間に加え、その深度における圧力（封圧）が伴っていたことを忘れてはならない。

植物遺骸が集積した泥炭から変化した褐炭の水分は60~70%に達するが、続成が進んで瀝青炭になると10%以下まで減少する。褐炭層の総厚が

300mに達するオーストラリアのヴィクトリア州のラトローベ褐炭々田では、水分は上位から下位に減少し、続成初期に圧密脱水現象が起きていることを示している。更に深度の大きい炭田・油田の探査試錐の続成の深度変化を各種指標で調べると、下位ほど石炭化度が高い。これは、早く堆積し、より早くから深部に達した下位層準ほど、地

温が早くから上昇し、石炭化反応、すなわち有機続成作用が先行したことを意味している。

九州北部の諸炭田でしばしば見られた火成岩の貫入による局所的な石炭化度の上昇は接触熱変成作用に相当し、局所的な短時間の温度上昇が石炭化反応を促進させたことを示している。昇温による人工石炭化反応の促進実験 (CHANDRA, 1965; 杉村ら, 1966; TSUCHIYA *et al.* 1992など) は実験室的短時間の昇温による石炭化反応への効果を示し、反応速度係数の試算を可能にしている。

一般に実験室内の化学反応は昇温で促進され昇圧で抑制されるが、水分に富む石炭原物質の埋没後の続成的変化の昇温・昇圧効果は実験室の反応ほど単純では無い。浅い埋没の続成反応の初期には、圧密脱水により生じた大量の水分は半ば開放状態で未固結の堆積物を通して移動できたが、埋没深度が増して地温勾配に従って昇温するに従い、徐々に閉鎖状態に移行し、古植物起源の堆積有機物に特有の続成作用が進行する。すなわち、長時間の経過で発生した低分子炭化水素は、閉鎖の状態に応じ放出・拡散できたり、できずに石炭の化学構造の中に吸着されたり、一部は重合反応に取り込まれたり、高分子化したりして、複雑な挙動を取るようになる。

古地温勾配が低い低熱流量域にあっては、一定の反応温度に達するのに、高熱流量域におけるよりは封圧が高い深い深度まで埋没されねばならなかった。この様に、地殻熱構造は有機堆積物の続成反応条件を著しく規制する要因になる。更に深い深度で岩盤の圧力も増し昇温が続き埋没変成域に近付くと、石炭の化学構造は次第に芳香族環数を増しつつ、多くの場合は盤圧に垂直の層理方向に整列されだし、高石炭化度炭の X 線回折像に見られる石墨の結晶構造に近づく。変成領域での石墨化には、変形を伴う剪断圧が伴ったと考えられている (BONIJOLY *et al.*, 1982)。

各種堆積有機物が多様な形態で堆積物中に固定される機構は堆積盆の動きに、また、堆積後の続成的変化に係わる埋没経過もその構造運動に規制される。この一連の経過で有機物の続成～変成作用を規制する反応温度は古地温勾配に依存し、同時に埋没深度に応じた封圧や岩圧も関与する。地温勾配は地殻熱構造の反映で、日本列島の場合は、沈み込んだ海洋プレートと大陸縁辺部の熱構造と、沈み込み過程で両者間に生じた火成活動とに著し

く規制されている。これら地殻表層部で互いに関連する複雑な要因が堆積有機物の埋積から質的変化の一連の経過として堆積物の有機続成～変成現象に表現されていると言える。

4. まとめ

4-1. 堆積有機物情報

地層中の古生物起源の有機物から読み取れる地球科学的情報を研究対象の一つとする有機地球科学の一課題として、古植物起源の固体堆積有機物の質的变化から堆積岩の続成～変成経過が解析できて、有機変成現象として扱えることを示した。一例として、筆者らの調査結果を中心に、日本列島新生界を主体に有機変成を扱い、新生代の変動帯での構造形成に伴う被熱履歴の特性が見出せる概要を示し、地域的・時代的展開の可能性を示した。

島弧の典型として情報量に富む日本列島新生界の有機変成解析の事例は、同様手法による他の地質体の解析や、それらの結果との地質構造的比較などで、同様に適用可能であろう。その場合、特に地殻表層部の堆積岩体を対象にした従来の構造解析に加え、その中の堆積有機物を扱って判読した有機変成情報を加えて地殻熱構造を考慮に入れば、新たな発想や展開も可能になるであろう。

変動帯にあるわが国の有機地下資源は小規模のため、今後の探査・開発活動は必ずしも活発になるとは限らない。しかし、海外資源探査での堆積盆解析や、その基礎理論展開の実験的検証や、堆積有機物の有機変成度調査などの基本的な調査・研究としても、地の利を生かして活動を継続・試行すべきである。

堆積有機物は石炭化古植物に限らず多種・多様で変化にも富むので、地球科学的のみならず、物質科学的な調査・研究の対象になり得る。物質科学的な詳細な調査・研究結果は地球科学的な調査検討に際し貴重な情報を提供するであろうし、両者相互の情報交換は新分野の発展をもたらすと予測できる。

4-2. 関連する諸問題

堆積有機物の顕微光学的調査・研究により続成～変成現象の解析が効果的に行える様になったが、これは有機地球科学で扱うべき課題の一部に過ぎ

ない。更に堆積有機物に残る微細な情報を読み取るために、対象を選んで高精度の調査・分析手法の導入ができる(例えば村江ら, 1993a, b, c, など)しかし、対象が有機物のため風化され易く、また、汚染もされ易いので、新鮮な試料入手の問題は常に付きまとう。従来通り地質調査に合わせた地表試料を用いると、分析手法も精度も試料の性状に見合った抑制を受けることになる。今後、学術試錐などが容易に行えて、任意に新鮮な試料が得られれば、この問題は解決できるであろう。

西南日本外帯のオリストストローム堆積物には、高有機質と見られる黒色乱雑相を伴う場合が多い。この超顕微鏡サイズの分散型堆積有機物の新鮮な試料が任意の地点と層準で得られ、広範の続成～変成領域を解析できる有機地化学的指標が得られれば、付加体形成の構造問題の解明に寄与できるであろう。

多くの情報を化石から得て来た古生物学で古生態の研究に現生の動・植物からの情報が重視されるのと同様に、有機地球科学でも現生の動・植物や現世堆積物中の有機物からの情報は貴重である。しかし、それらが地質時代の堆積有機物と全く同じでは有り得ず、新鮮な地質試料が得られても、続成の極めて初期に始まった変質と安定化に向かった物質変化の結果が残っている。この限られた地質時代の情報を基にした、当時の環境の復元や原物質の推定に、現世の高精度で多様な情報がどの程度対応可能かは未解決の問題である。

地史の中での顕著な地球環境の変化と生物進化・変遷における有機物質を通した物質循環や関連現象、例えばペルム紀とトリアス紀間や白亜紀と古第三紀間などの境界にしばしば出現する高有機質黒色層の原因などを探るにも、先ず続成的変化を経た堆積有機物を扱わねばならない。これら汎地球的問題も有機地球科学で扱わねばならぬ地球環境に係わる課題の一つになるであろう。

堆積有機物に関する多くの情報を提供できた濃集型堆積有機物は、化石燃料として古くから扱われて来た歴史の延長で、その工学的重要性も認識しなければならない。同時に、非再生産性の有限な地下資源に係わる地球科学的情報の提供による資源の有効利用や利用に伴う地球環境問題対策などへの貢献も、新時代に向けての新たな課題になるであろう。

5. 文 献

- 相原安津夫 (1977): 輝炭反射率からみた北海道古第三紀炭の石炭化度の層位的変化. 九大理研報, [地質], **12**, (3), 228—233.
- (1979): 北海道第三系・上部白亜系の有機変成と石油の熟成. 石油技協誌, **4**, (3), 124—133.
- (1980): 九州内帯新生界有機変成の予察的研究. 九大理研報, [地質], **13**, (2) 295—305.
- (1981): 九州内帯中生界の有機変成 (予報). 日本地質学会西日本支部会報, **72**, 22.
- (1989): 有機続成～変成情報による付加体の考察. 地球, **11**, (11), 683—688.
- AIHARA, A. (1980a): Stratigraphic coalification pattern and its implication to geologic development of the Ishikari coalfield, Japan. *Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ.*, (D), **24**, (1), 33—46.
- (1980b): Formation and organic metamorphism of the Paleogene System in the Japanese Islands. *Indust. Minerale les Techniques*, Juin 307—314.
- (1989): Paleogeothermal influence on organic metamorphism in the neotectonics of the Japanese Islands. *Tectonophysics*, **159**, 291—305.
- ・中村盛之・峯苦彰吾 (1980): 石狩炭田における石炭化度変化と有機変成. 鉱山地質, **30**, (4), 229—240.
- ・坂井卓・靱田学 (1987a): 構造形成における変成・変形の情報源としての堆積岩中の固体有機物——九州四万十帯の例——日本地質学会第94回学術講演会演旨, 432.
- ・立石勝・前田純二・古賀義人・吉村辰朗・笠山浩昭・鮎沢潤・鶴田勝也・山田啄也・森昭宏 (1987b): 北部九州第三紀炭田の続成・埋没被熱の石炭化度調査による解析. 九大理研報, [地質] **15**, (1), 103—118.
- 鮎沢潤・相原安津夫 (1993): 有機続成～変成温度の流体包有物による検証, 有機・無機変成の対応. 九大理研報, [地質], **18**, (1), 65—71.
- BARKER, C. E. (1979): Vitrinite reflectance geothermometry in the Cerro Prieto geothermal system, Baja, California, Mexico. Ph. D. thesis, Dept. Earth Sci., Univ. of California, 127p.
- BONJOLY, M., Oberlin, M. & A. (1982): A possible mechanism for natural graphitization. *Int'l Jour. Coal Geology* **1**, (4), 283—312.
- BOSTICK N. H. (1974): Phytoclasts as indicators of thermal metamorphism. Franciscan assemblage and Great Valley sequence (Upper Mesozoic), California. *Geol. Soc. Amer., Spec. Pap.* **153**, 1—17.
- CHANDRA, D. (1965): Use of reflectance in evaluating temperature of carbonized or thermally meta-

- morphosed coal. *Fuel*, **44**, 171—176.
- CHUJWA, K. (1980) : Geology and sedimentological study of the Kumano Group in the vicinity of the Kumano coal field in southeastern Kii Peninsula, Japan. Kyushu Univ., Dept. of Geology Master Thesis, M. S. 64p.
- (1988) : Post-Shimanto sedimentation and organic metamorphism : An example of the Miocene Kumano Group, Kii Peninsula. *Modern Geology*, **12**, 363—387.
- COOMBS, D. S. (1954) : The nature and alteration of some Triassic sediments from Southland, New Zealand. *Trans. Roy. Soc. New Zealand*. **82**, 65—109.
- DIESSEL, C. F. K. (1992) : Coal-bearing depositional system. Springer-Verlag, 721p.
- HOOD, A. & CASTAÑO, J. R. (1974) : Organic metamorphism : its relationship to petroleum generation and application to studies of authigenic minerals. *U. N. Econ. Comm. Asia Far East, Tech. Bull.* **8**, 85—118.
- KARWEIL, J. (1956) : Die Metamorphose der Kohlen vom Standpunkt der physikalischen Chemie. *Z. Deutsch. Geol. Ges.*, **107**, 132—139.
- 金鐘憲・相原安津夫 (1993) : 韓国炭 (二疊紀—第三紀) における石炭化作用と被熱について, 日本地質学会西日本支部会報, **102**, 4.
- 倉橋稔幸 (1991) : 大嶺炭田における碎屑岩の続成～変成的変化の有機地球科学的研究. 九大卒業研究論文 (手記), 55p.
- (1993) : 赤石山脈四万十帯・瀬戸川帯の有機変成. 九大修士研究論文 (手記) 89p.
- 持田裕之 (1990) : 九州中西部中軸帯の上部中生界における有機変成の進行. 九大修士研究論文 (手記), 95p.
- 榎田学 (1985) : 宮崎県北部四万十帯——諸塚・日向層群——中の炭質物の光学性解析とその地質学的考察. 九大修士研究論文 (手記) 37p.
- 森山克郎・相原安津夫 (1993) : 紀伊半島南西部の地質構造と有機変成. 日本地質学会第100年学術講演会演旨, 246.
- 村江達士・倉橋稔幸・相原安津夫 (1993a) : 古植物の続成～埋没変成過程における顕微鏡光学的・有機地球化学的変化, 九大理研報 [地質] **18**, (1), 25—35.
- 村江達士・下川修司・相原安津夫 (1993b) : 古植物樹脂の続成過程における変化に関する有機地化学的研究, 九大理研報 [地質] **18**, (1), 13—23.
- 村江達士・田内信也・相原安津夫・佐野弘好 (1993c) : 高有機質石灰岩の形成と続成～埋没変成の有機地化学. 九大理研報 [地質] **18**, (1), 37—46.
- 大森琴江 (1993) : 四万十帯北帯の熱構造——輝炭反射率の付加帯上昇史解明への応用——第11回有機地球化学研究会演旨.
- OTTENJANN, K., TEICHMÜLLER, M. & WOLF, M. (1974) : Spectrale Fluoreszenz-Messungen an Sporiniten mit Auflicht-Anregung, eine Mikroskopische Methode zur Bestimmung des Inkohlungsgrades gering inkoller Kohlen. *Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.* **24**, 1—36.
- 坂口有人・大森琴江・山本浩士・相原安津夫・岡村真 (1992) : 輝炭反射率から見た四国四万十帯の熱構造——高知県中西部地域を例として, 高知大学術研報 [自然科学], **14**, 29—48.
- 阪口豊 (1974) : 泥炭の地学, 東大出版会, 329p.
- 坂井卓 (1978) : 宮崎県五ヶ瀬川中流域の地質構造と層序. 九大理研報, [地質], **13**, 23—38.
- 坂井卓・勘米良亀齡 (1981) : 宮崎県北部四万十帯の層序ならびに緑色岩の層序・構造的位相. 九大理研報, [地質], **14**, 31—48.
- SCOTT, A. C. (1987) : Coal and coal-bearing strata. Blackwell Sci. Publ., 332p.
- SUGGATE, R. P. (1959) : New Zealand's coal——their geological setting and its influence on their properties. *N. Z. Geol. Surv. Bull.*, **134**, 1—113.
- 杉村秀彦・大沢祥弘・畑見正男・佐藤春三・本田英昌 (1966) : 石炭の炭化初期段階に関する研究——加熱炭の調整および分析結果. 燃協誌, **45**, (476), 868—875.
- 田内信也 (1992) : 高有機質石灰岩の顕微鏡岩石学的並びに有機地球科学的研究. 九大修士研究論文 (手記), 83p.
- THOMPSON-RIZER, C. (1992) : The need for standardized quantitative fluorescence methods in petroleum exploration. Key-note adress. 44th I. C. C. P. meeting.
- TISSOT, B. P. & WELTE, D. H. (1978) : Petroleum formation and occurrence. Springer, 538p.
- TSUCHIYA, N., NAKAJUMA, H., CHIDA, T. (1992) : Rate expression of change in vitrinite reflectance during carbonization. *29th I. C. C. Abstract* **3**, 822.
- UNDERWOOD, W. B. ed. (1993) : Thermal evolution of the Tertiary Shimanto Belt, Southwest Japan : An example of ridge trench interaction. *Geol. Soc. Am., Spec. Paper*, **273**, 172p.
- 柳瀬晶 (1992) : 四国東部白亜系四万十帯のメランジの成因. 日本地質学会第99会学術大会演旨, 140.
- 山本浩士 (1992) : 西南日本四万十帯北帯の有機変成. 九大修士研究論文 (手記), 160p.
- 山本浩士・坂井卓・相原安津夫 (1992) : 有機変成作用から見た西南日本下部四万十帯層群の温度構造. 日本地質学会西日本支部報, **99**, 13.