化石　102，43–62，2017

Fossils
The Palaeontological Society of Japan

白亜紀古日本陸弧－海溝系の復元：日本列島の白亜紀地質記録からの再考

安藤寿男*・高橋雅紀**

*茨城大学理学部地球環境科学領域・**国立研究開発法人産業技術総合研究所地質情報研究部門

Reconstruction of the Cretaceous Paleo-Japan continental arc-trench system reconsidered from Cretaceous geologic records in the Japanese Islands

Hisao Ando* and Masaki Takahashi**

*Department of Earth Sciences, Faculty of Science, Ibaraki University, Mito 310-8512, Japan; **Research Institute of Geology and Geoinformation, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Higashi 1-1-1, Tsukuba 305-8567, Japan.

Abstract. As a premise for reconstructing the Paleo-Japan Cretaceous continental arc-trench system, its constituent geologic units such as Cretaceous plutonic, volcanic and sedimentary rocks are briefly reviewed, referring to recently updated geologic papers, books and maps concerned with regional geology, chronostratigraphy and lithofacies. The Cretaceous plutonic and volcanic rocks are widely distributed along the Inner Zone (the northern continental-side region) of Southwest (SW) Japan and the whole Northeast (NE) Japan, though volcanic rocks are dominated along the Pacific coast in NE Japan. These distributions indicate the intensive magmatism and volcanism had occurred within the Cretaceous volcanic arc. The southeastern margin of andesitic rock distributions drawn on the reconstructed map of the Paleo-Japan Cretaceous continental arc suggests the generally straight volcanic front throughout SW and NE Japan. Mainly non-marine Lower Cretaceous strata are sporadically distributed in separated intra- and back-arc small basins around the volcanic arc in Southewest Japan. On the other hand, mainly marine and subordinately fluvial Cretaceous strata are distributed sporadically but continuously along the Pacific coastal area and the offshore Pacific subsurface in NE Japan, and the southern end of the Inner Zone and the Chichibu Belt of the Outer Zone in SW Japan. Their stratigraphy and sedimentary environments are broadly correlated as forearc basin fills throughout two arcs of SW and NE Japan. The stratigraphic ranges of the strata entirely cover all Cretaceous stages, though the range and geographic distribution is not so wide in each distribution area of the strata. Based on the reconstructed configuration of the Paleo-Japan Cretaceous continental arc-trench system, the present land area of Northeast Japan is equivalent to the Inner Zone of Southwest Japan. On the other hand, the Outer Zone of Southwest Japan will be traced into the subsurface area of the offshore Pacific in Northeast Japan.

Key words: Japanese Islands, Cretaceous, correlation, arc-trench system, fore-arc basin, back-arc basin, paleogeography

はじめに

東アジアの内陸部には白亜系が広く分布するが，それらの大部分は陸成層である．それに対し，白亜紀の日本は古ユーラシア大陸東縁の陸弧－海溝系に位置していたため，大陸成堆積物から前弧堆積盆の河川～浅海～深海成堆積物，さらに四万十帯に代表される付加体までが分布している．また，陸弧の火山活動による噴出物やその砕屑物も，火山弧周辺に広がっている．日本列島では，これらの多様な地層記録を比較的容易に観察することができる．実際，こうした利点を活かして，白亜紀に関する層序・生物相・古環境などの膨大な研究が進められ，今後も日本から多くの先端的研究が発信されることは言を待たない．

小論では，高橋・安藤（2016, 図6）で復元した白亜紀における古日本弧（東北日本弧と西南日本弧が一体となっていた時期）の配置に基づき，既存の資料に基づいて，白亜紀の深成岩類，火山岩類の分布やその特徴を概観する（図1）．つづいて，化石等に基づいて推定された堆積岩類の年代層序を整理し，本州から九州にいたる広域対比を試みる．その上で，白亜紀の古日本陸弧－海溝系の基本的枠組みを提案し，あわせて先白亜紀の地体構造論に関する問題点を指摘したい．

日本列島の地質学的研究情報の蓄積

日本列島の非変成白亜紀堆積物の層序年代は，アンモナイトやイノセラムスに代表される大型化石や，放散虫，

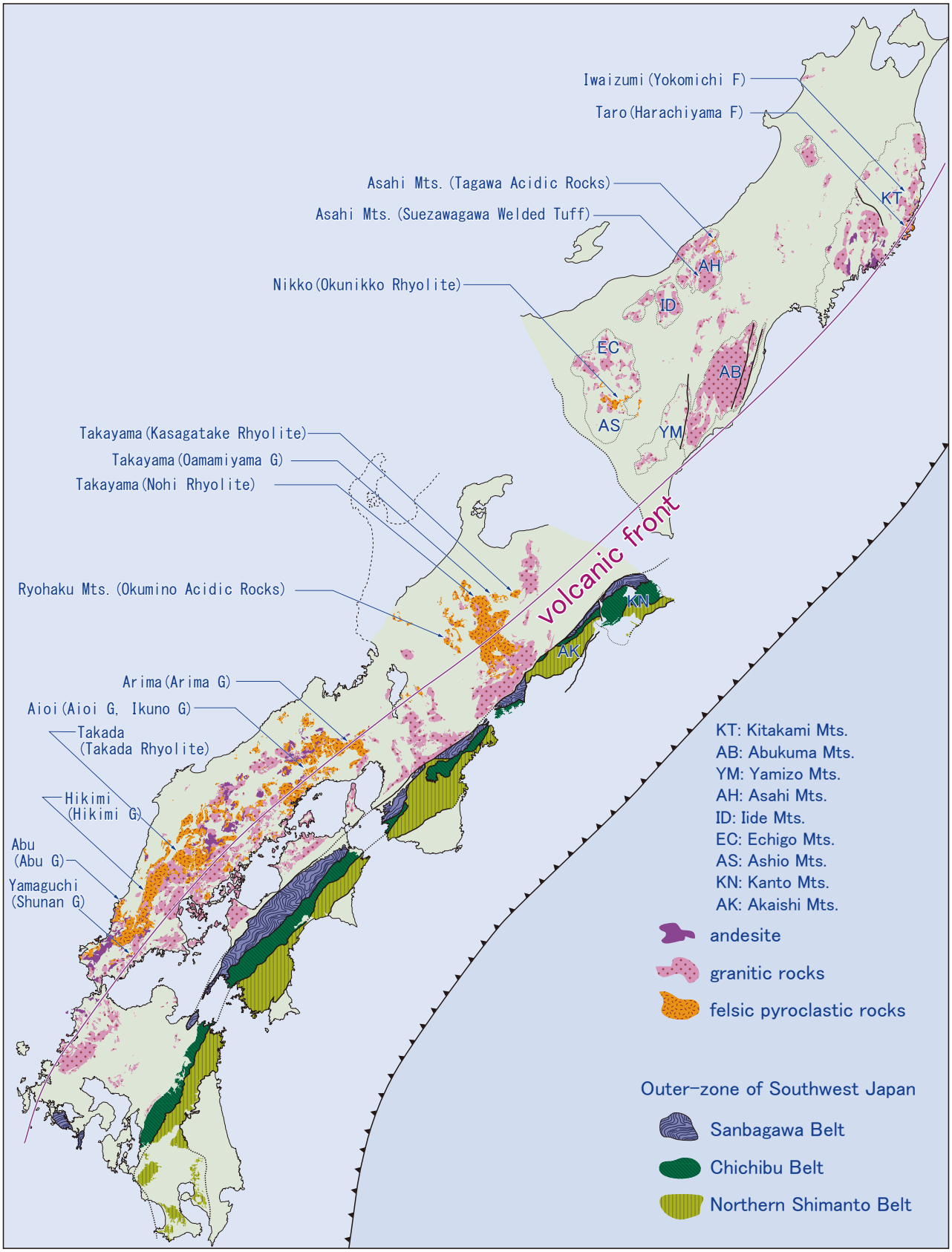

図1　古日本弧の火成岩分布．復元図は高橋・安藤（2016）の図6を改変．個々の岩体の分布は20万分1シームレス地質図（産総研地質調査総合センター）より作図した．

Fig. 1. Distribution of Cretaceous igneous rocks in the Paleo-Japan continental arc. The basic reconstruction map is modified after fig. 6 in Takahashi and Ando (2016). Each of rock distribution is modified after Seamless Digital Geological Map of Japan (1:200,000) by Geological Survey of Japan.

有孔虫，石灰質ナノプランクトン，渦鞭毛藻類などの微化石による化石層序により，1990年代までに大略が判明している（松本ほか, 1982; 小畠, 1988; 利光ほか, 1995; 石田, 1998など）．一方，1990年代以降に放射年代測定の手法や精度が大きく進展し，白亜紀の火成岩類や変成岩類が日本中に沢山分布することが明確になってきた（例えば，Yokoyama *et al.*, 2016）．さらに，堆積岩に含まれる砕屑性ジルコン粒子のU-Pb年代を短時間に多数（数100粒）測定することが可能となり，化石を含まない粗粒砕屑岩からなる地層や変成作用を被った付加体の原岩の年代推定も可能となっている（例えば，大藤ほか, 2010; Okawa *et al.*, 2013）．こうした多くの研究成果に基づいて，本邦白亜系の地理的広がりや層序分布，さらにその形成過程の概要が，「日本の地質」（日本の地質刊行委員会, 1986–1992; 日本の地質増補版編集委員会編, 2005）や日本地方地質誌（日本地質学会編, 2006–2016），そして*The Geology of Japan*（Moreno *et al.*, 2016）等にまとめられている．

産業技術総合研究所（以下，産総研）では，最近出版され数値化された20万分の1地質図幅の膨大な地質データから，全国統一の凡例と地理情報システム（GIS）を用いて，インターネットブラウザ上で閲覧できる20万分の1日本シームレス地質図（https://gbank.gsj.jp/seamless/）を作成し公開している．この地質図では，個々の地質単元の情報が画面上のポインターの位置で検索できるだけでなく，岩石種と地質時代のデータを絞り込み検索することにより，白亜紀の1）堆積岩類（付加体以外），2）付加体，3）火山岩類，4）深成岩類，5）変成岩類などの分布を地図上に描くことができる．さらに，火山岩類の場合は8種類（非アルカリ珪長質，非アルカリ苦鉄質，アルカリ珪長質，アルカリ苦鉄質など），深成岩類の場合は3種類（珪長質，苦鉄質，ミグマタイト），変成岩類の場合は2種類（低−中圧型，高圧型）に細分されている．その結果，白亜紀の各種の岩石分布の違いも容易に識別・比較することが可能となった．実際，白亜系は新第三系に次いで分布が広いことが確認できる．

そこで，産総研の20万分の1地質図幅および日本シームレス地質図を基に，近年公表されている代表的な地質文献を参照しながら，白亜紀の深成岩，火山岩，堆積岩の地理的・層序的分布を整理した．なお，西南日本，東北日本の境界については，高橋・安藤（2016）に詳述しているのでそれに従う．

白亜紀火成岩類の分布

深成岩類

1．西南日本

西南日本は中央構造線によって海溝側の外帯と日本海側の内帯に二分されるが，花崗岩，花崗閃緑岩などの白亜紀深成岩類は，西南日本内帯にのみ分布する（例えば，今岡・飯泉, 2009; Nakajima *et al.*, 2016など; 図1）．中国地方から近畿地方の西部においては，南から北に領家帯，山陽帯，山陰帯に細分されている．領家帯や山陽帯では110～75 Maに年代値が集中するが，山陰帯では85～30 Maと古第三紀におよぶ岩体が多く，年代軸に沿って深成岩の活動範囲が北方にシフトする傾向が見られる．

中国地方では，火成活動のステージが5つ識別されている．Yokoyama *et al.*（2016）は，閃ウラン鉱とトール石による大量のEPMA分析年代測定データに基づき，中国地方の領家帯で105～90 Ma，山陽帯で95～70 Ma，山陰帯では70～60 Maの年代範囲を認め，帯状配列は不明瞭ながらも北方に新しくなる年代極性を明らかにしている．

一方，近畿東部から中部地方の領家帯とその北東延長の富山県東部にも花崗岩体が分布するが，年代分布の帯状配列は明瞭でない（原山, 2006）．また，中部地方南部の深成岩類の形成年代は80～70 Maと，中国地方の領家帯深成岩類に比べて明らかに新しい（Yokoyama *et al.*, 2016）．

2．東北日本

高橋（2006）が再定義した利根川構造線より北側の東北日本では，新第三系の堆積岩や第四紀火山岩によって広範囲に被覆されるため，西南日本に比べて深成岩の分布が限られている（図1）．阿武隈山地やその北方延長（太平山岩体），北上山地，そして朝日山地，日光周辺，筑波山地にまとまって分布する．

地帯構造区分の阿武隈帯と南部北上帯は畑川断層で境され，両者で深成岩類の形成年代や岩石学的特徴が異なっている（廣井・田切，2008など）．例えば，土谷ほか（2015）は，阿武隈帯の花崗岩の年代は120～85 Maと幅広い（蟹沢・相田, 2013; Ishihara and Orihashi, 2015）が，北上山地の花崗岩の年代は若干古く，さらに東列の前期（128～124 Ma）と西列の後期（119～113 Ma）に二分されると指摘している（土谷ほか, 2015）．そして，沈み込んだ海洋地殻の部分溶融起源のアダカイト質花崗岩の東縁を，アダカイト質マグマが沈み込み帯地下深部で形成されるアダカイト前線と呼び，石狩－北上磁気異常帯（Finn, 1994; 安藤, 2005）と対応することを指摘している．

最近，Yokoyama *et al.*（2016）は，阿武隈帯の花崗岩類の年代が，西部（107～100 Ma）と東部（124～110 Ma）に二分できることを示した．さらに，仙台以北の東北日本の北部でも，奥羽山脈を境に西側（秋田－北海道奥尻島：109～101 Ma）と東側（北上山地－渡島半島西部：126～110 Ma）に二分され，西部（日本海側）に比べて東部（太平洋側）がより古いとする阿武隈帯や北上帯での年代極性と一致することを示している．

一方，日光地域の東部や筑波地域（70～63 Ma）と朝日山地の西部（70～60 Ma）の深成岩類の年代は対応するが，日光山地西部（99～97 Ma）は朝日山地東部（100～90 Ma）に対応する．したがって，日光－筑波地域と朝日山地では，それぞれの地域での時代極性が逆になっている．いずれにしても，阿武隈帯や東北日本北部から北海道西部の深成岩類の形成時期は130～100 Maであるのに対し，それより西側の深成岩類の殆どが100 Maより新しく，棚倉破砕帯を挟んで年代差があることは注目される（土谷ほか, 2015;Yokoyama *et al.*, 2016）．

白亜紀火山岩類

1．西南日本内帯

白亜紀火山岩類は，西南日本内帯の九州北縁部から中国地方，そして近畿・中部地方の北部にかけて，安山岩，デイサイト，流紋岩，それらの溶岩や火山砕屑岩，凝灰岩などが多様な岩相をなして広く分布している（今岡・飯泉, 2009; 八尾, 2009など; 図1）．一部は火砕流堆積物としてフローユニットが識別される．なお，領家帯では深成岩類が広く分布し，噴出岩は和泉山脈北部の泉南流紋岩類などわずかしか分布しない．

中国・近畿地方では山陽帯，山陰帯に対応した東西性の帯状分布をなすとされ，白亜紀火成活動のステージとして，Ⅰ（関門期：110～100 Ma），Ⅱ（周南期：100～90 Ma），Ⅲ（匹見－安武・広島・用瀬期：90～80 Ma），Ⅳ（大東～上島・因美期：80～50 Ma）が識別されている．関門層群（Ⅰ），山口県の周南層群（Ⅱ），匹見層群（Ⅲ），阿武層群（Ⅲ），矢田川層群（Ⅳ）が代表的な火山岩を含む地層群である（今岡・飯泉, 2009）．

兵庫県に広く分布する一連の火山岩相である相生，生野，有馬層群の形成時期は83～65 Maであり，ステージⅣに相当する．これらは関門層群脇野亜層群を除き殆どが陸上火山噴出物からなるが，まれに植物化石を含む泥岩などが含まれている（八尾, 2009）．西南日本内帯の火山岩類にはコールドロンがいくつも確認されている（今岡・飯泉, 2009）．また，中部地方（岐阜県）の濃飛流紋岩（85～65 Ma；小井土・原山, 2006）や関東地方（栃木県西部）の奥日光流紋岩なども，ステージⅣ（白亜紀後期）に相当する大規模な珪長質火山岩である．

2．東北日本

東北日本の白亜紀火山岩類は新生代の被覆層によって，南部北上帯の大船渡層群や北部北上帯の原地山層などに分布が限られるが，いずれも下部白亜系で，浅海成相と陸成相が互層する．土谷ほか（2015）によれば，原地山層の火山岩類は上述したアダカイト質花崗岩の東（海溝）側に近接して分布し，その噴出年代は北上山地の岩脈類や花崗岩の貫入より古く，原地山層の砕屑性ジルコン年代（原田ほか, 2013）から，132 Ma前後とみなされている．そして，同じ地域に分布する化学組成の類似するカルクアルカリ質花崗岩類と共に火山－深成岩複合体を形成し，さらにアダカイト質花崗岩体東列と一体となって，石狩－北上磁気異常帯の起源となっていたと推定している．そして，これらが石狩－北上磁気異常帯の規模（南北500－600 km）で分布していたものと考えている．つまり，現在の白亜紀火山岩の分布は僅かであるが，北上山地の太平洋岸海底下から，北海道の石狩低地帯地下に広く分布していた可能性が高いという．なお，東北日本では白亜紀後期の火山岩類は，横道層（加藤ほか, 1986）の溶結凝灰岩や久慈層群などに含まれる凝灰岩のほかは，まとまった岩体は確認されていない．

白亜紀堆積岩類の分布

付加体を除く白亜紀の堆積岩類の分布は火成岩に比べて散点的であるが（図2），堆積盆の広がりや白亜紀の古環境を復元するための重要な地質情報を提供する．ここでは，東北日本と西南日本に分布する白亜系について，層序分布と主要な堆積相を対比図（図2）に示し，陸弧－海溝系を構成する白亜系の特徴を整理する．各地域の層序・岩相と堆積環境については，Ando（2003），安藤（2005, 2006）に加えて，日本地質学会編（2006－2016）の白亜系を網羅するようにし，必要に応じて各地層群の最新の文献を参照した．

西南日本内帯

西南日本内帯には，河川成～湖成堆積物を主体とする非海成層が卓越し，中央構造線に沿った地域に海成主体の地層が分布する（図2）．前者は，関門層群（図2の柱状図1；以下柱状図番号のみを示す），豊西（とよにし）層群（2），篠山（ささやま）層群（22），手取（てとり）層群（23）などで，先白亜系基盤岩類を不整合に覆って点在している．それらの主体は下部白亜系で，上部白亜系は足羽（あすわ）層群などわずかで分布も限られる．

関門層群は山口県の西部から九州北縁部に分布する下部白亜系で，場所によって異なるが，蓮華帯の変成岩類や秋吉帯の石炭－ペルム系，ジュラ系豊浦（とよら）層群，ジュラ系最上部～白亜系最下部の豊西層群を不整合に覆い，下部の脇野亜層群と上部の下関亜層群に二分されている．脇野亜層群は土石流堆積物や河川および湖沼の堆積物などすべて陸域で堆積した地層からなり（徐ほか, 1992），岩相の側方変化が著しいため地域間の対比が難しいとされる．一方，下関亜層群は安山岩溶岩や火山角礫岩，火山礫凝灰岩などの火山噴出物が卓越する．関門層群の時代はバランギニアンからアルビアンと推定されており，積算層厚は脇野亜層群で1,000 m，下関亜層群で2,000 mほどである（吉冨, 2009; 中江, 2010）．

兵庫県の東部に分布する篠山層群は，丹波帯及び超丹

波帯の付加体の上に不整合に重なる下部白亜系で，下部と上部に区分されている（吉川, 1993）．篠山層群は陸成の礫岩，砂岩，泥岩からなり，下部には流紋岩質凝灰岩が挟まれるが，上部は角閃石安山岩質火砕岩を挟有する．この流紋岩質凝灰岩について得られたフィッション・トラック年代やカイエビ類化石の再検討により，篠山層群下部の時代はアルビアンからセノマニアンとされている（林ほか, 2010; Kusuhashi *et al.*, 2013）．篠山層群からは恐竜類，カエル類，トカゲ類などが発見されており，北陸の手取層群と並ぶ日本を代表する白亜紀脊椎動物の化石産出地となっている（Saegusa and Ikeda, 2014; 柴田ほか, 2017など）．篠山層群の全積算層厚は1,600 mに達し，流紋岩溶岩や溶結凝灰岩類からなる上部白亜系有馬層群に不整合に覆われる（吉川, 1993）．

北陸地方に分布する手取層群（広義：Sano, 2015による）は，飛騨外縁帯の基盤岩である飛騨変成岩，飛騨花崗岩や下部ジュラ系来馬層群を不整合に覆う，中期ジュラ紀から前期白亜紀の主として陸成層からなる地層である．古くから植物化石とともに汽水～淡水生軟体動物化石が発見され，最近では恐竜類に加えてカメ類，ワニ類，哺乳類などの骨格化石や，恐竜類・鳥類の足跡化石が多数報告されている（Matsukawa *et al.*, 2006; Sano and Yabe, 2016; 柴田ほか, 2017など）．白山地域の手取層群は積算層厚が3,000 mを超え，アンモナイトを産する海成層の多い中部～上部ジュラ系の九頭竜亜層群，汽水成～河川成層を主とする上部ジュラ系から下部白亜系の石徹白亜層群，および河川成～扇状地成層を主とする下部白亜系の赤岩亜層群に区分されてきた（公文・梅澤, 2001など）．しかしながら，本層群は大部分が陸成層であるため岩相の側方変化が大きく，地層の分布も散在的で隣接した幾つかの内陸堆積盆に形成されたため，地域によって堆積年代や堆積サイクルが異なることが指摘されている（松川ほか, 2014; 竹内ほか, 2015; Sano, 2015など）．手取層群は，東アジアにおける中生代後期の非海成堆積盆地のなかで最も東（海洋側）に位置し，一部の層準にアンモナイトやイノセラムス，腕足動物を含む海成層を挟む．それらはアジア大陸東縁における海進イベントの時期を表すとされている（松川ほか, 2007; Sano, 2015など）．

一方，中央構造線に沿った西南日本内帯の南縁に帯状に分布する和泉層群（11～14, 19）は，白亜紀末期に四国西部から和泉山脈までのおよそ300 kmに亘って堆積した地層で，左横ずれ断層に沿って形成された横ずれ堆積盆の充填層と考えられている（Tanaka, 1989; Noda and Toshimitsu, 2009など）．和泉層群はその北縁に沿ってわずかに陸成～浅海相を伴う（吉川ほか, 2011など）が，主体はタービダイト相と堆積盆底泥岩相を示す非常に厚い海成層からなる．和泉層群は，ほとんどの分布域において東に軸傾斜した向斜構造を示し，層厚は個々の地域では数kmであるが全地域を積算すると60 kmにも達し，時代も西（カンパニアン前期）から東（マーストリヒチアン前期）に順次新しくなる（Hashimoto *et al.*, 2015）．

九州地方（臼杵－八代構造線以北）

九州地方では，三波川変成岩の露出がなくなる佐賀関半島より西側では中央構造線が定義されない．しかし，佐賀関半島の南（臼杵）から豊後大野を経て，熊本県八代に至る臼杵－八代構造線は，その北側の白亜紀花崗岩類と南側のジュラ紀付加体を分ける断層帯で，いわゆる領家帯と秩父帯の境界断層と考えられている（Miyazaki *et al.*, 2016）．そこで，臼杵－八代構造線を境に南北に二分して考察を行う．

臼杵－八代構造線の北側には，御所浦層群（3），姫浦層群（3），御船層群（4），および大野川層群（6）が，南西－北東方向に帯状に分布している．

天草諸島に分布する御所浦層群（3）は陸成～海成堆積物からなり，干潟周辺の潮汐堆積物が頻繁に挟まれ，多くの二枚貝化石を産出する（田代・松田, 1984; Komatsu and Maeda, 2005など）．獅子島に分布する御所浦層群は，積算層厚が1,700 mに達する主として陸成～汽水成の堆積物からなり，トリゴニアなどの海生二枚貝密集層も数層準認められ，まれにアンモナイトを産する．時代はアルビアン～セノマニアンとされている．一方，姫浦層群は海生の軟体動物化石を多産する砂岩と泥岩を主体とし，層厚は700 mを超すサントニアン～マストリヒシアンの地層で，最上部は古第三系におよぶ可能性が指摘されている（田代・野田, 1973; Komatsu *et al.*, 2008; 小城ほか, 2011など）．

熊本市南部から阿蘇外輪山南東部にかけて分布する御船層群（4）は，全体として陸成から浅海成を経て陸成へと変化する一回の海進・海退シーケンスを示す上部白亜系（セノマニアン～カンパニアン下部）で，積算層厚は1,500 m以上に達する（黒木ほか, 1995; 池上ほか, 2007）．御船層群は，大局的には北西－南東方向の軸を有する向斜構造をなす．御船層群の下部は基底礫岩の上に汽水～浅海生の貝化石を産する砂岩および泥岩が重なるが，南翼側の地層は北翼側より厚く，またイノセラムスやアンモナイトなどの公海的環境を示す化石を産出する．一方，御船層群の上部は厚さが1,000 m以上で，淡水生の二枚貝化石や植物化石のほか，植物食恐竜などの脊椎動物化石も産出している（Ikegami, 2016）．

九州の東部には，積算層厚が26,000 mに達する大野川層群がまとまって分布している（野田, 1969; 寺岡, 1970など）．大野川層群は礫岩，砂岩，泥岩からなり，4つの亜層群に細分されている．最下部層は汽水～浅海生貝類化石を産するが，一部層準は赤色砂岩・礫岩からなる陸成層で化石を産しない．一方，大野川層群の下部から上部までは砂岩泥岩互層（タービダイト）を主とし，礫岩

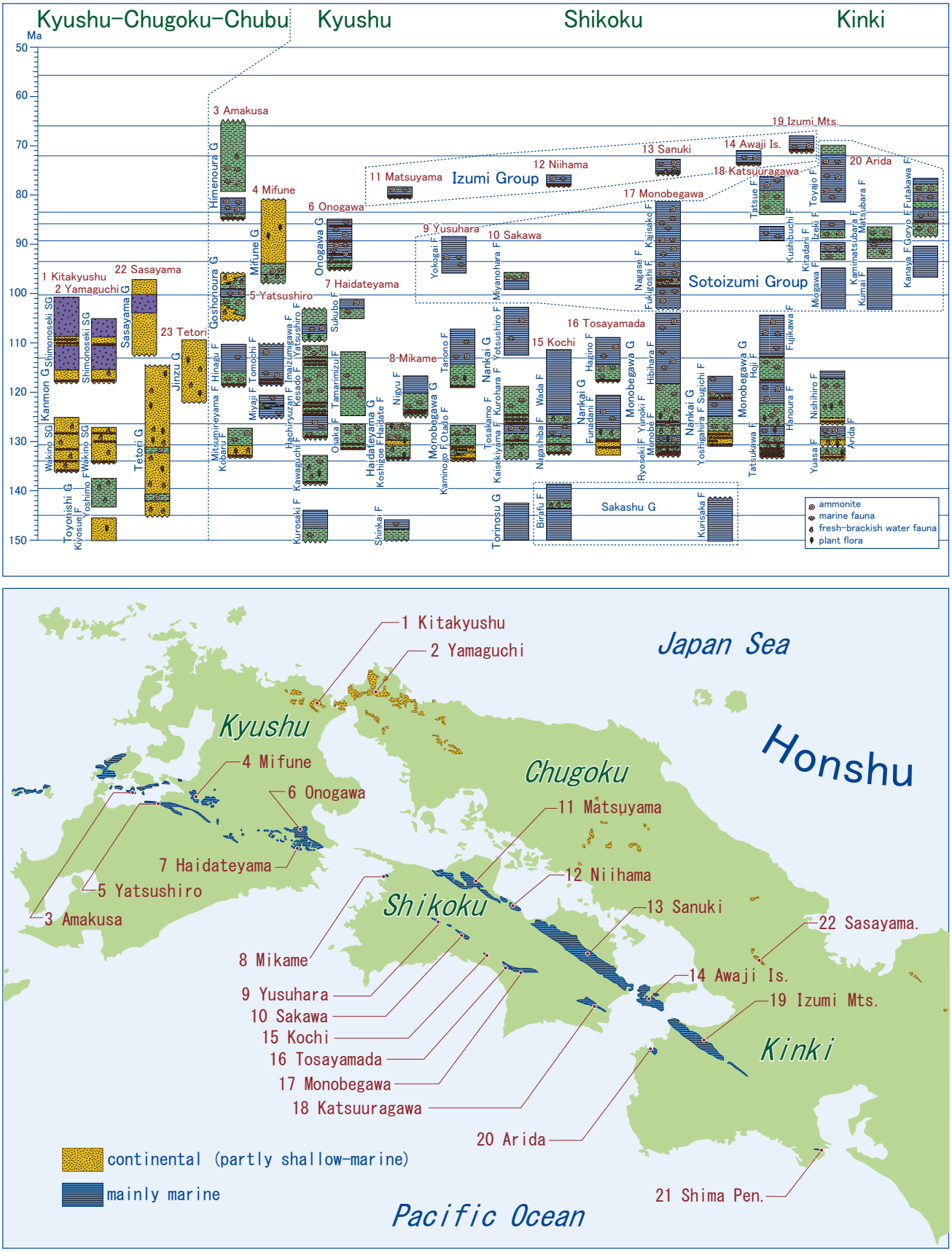

図2　日本列島の白亜系層序対比（付加体を除く）．柱状図25～48はAndo（2003），安藤（2005，2006）を改訂．ほかは各種文献から作成．地質時代区分はGTS 2012（Gradstein *et al.*, 2012）を参照．左ページの柱状図23（手取）と3（天草）の間の破線は，西南日本内帯（左）―西南日本外帯（右）境界を示す．

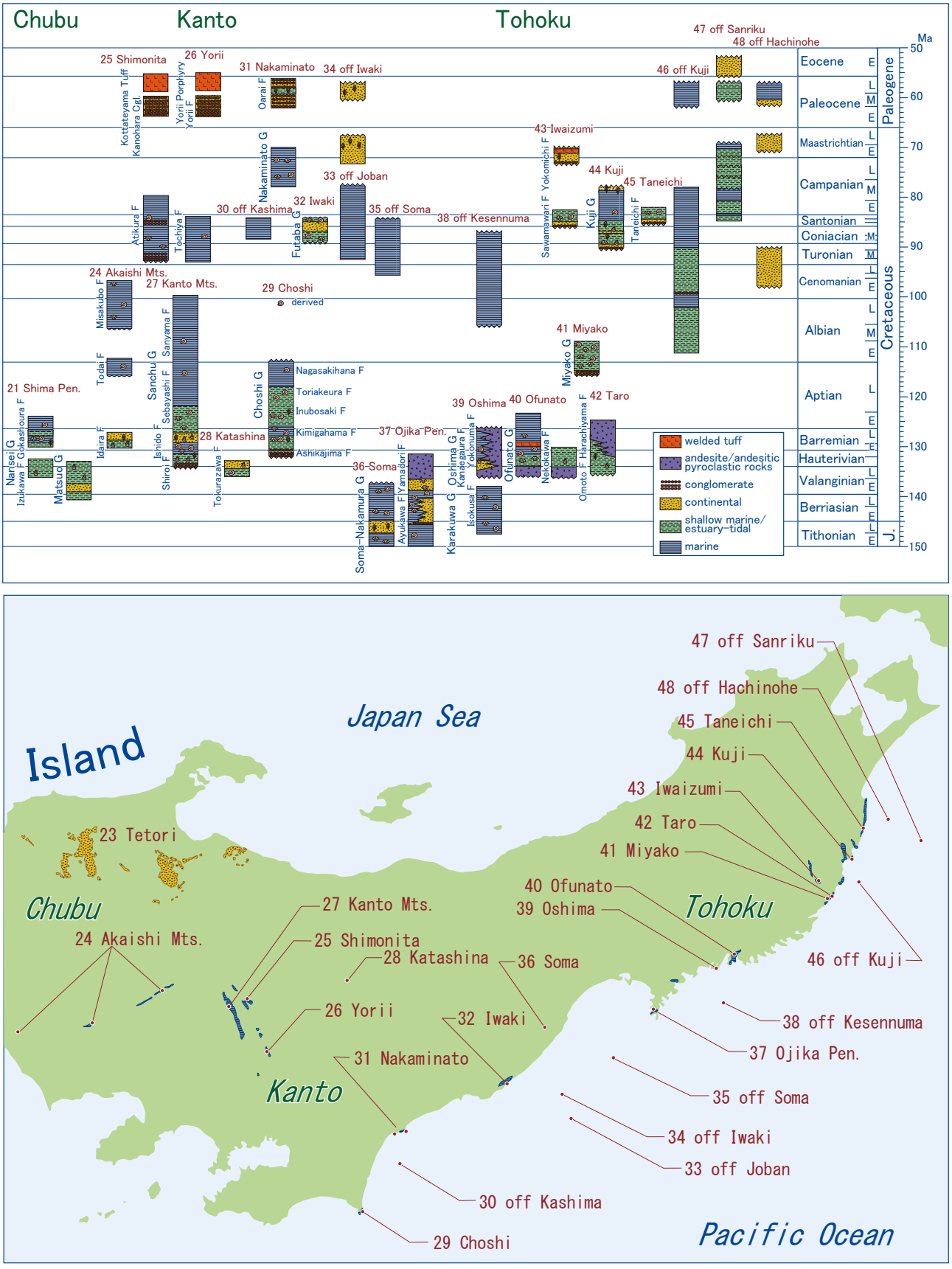

Fig. 2. Stratigraphic correlation of Cretaceous sediments throughout the Japanese Islands (except for accretionary complexes). Columns 25 to 48 are revised from Ando (2003, 2005, 2006). Other columns are made based on several references concerned with local stratigraphy of each formation. Geologic time scale after GTS 2012 (Gradstein *et al.*, 2012). Vertical dot line between column 23 and 3 indicates the boundary between Inner (left) and Outer (right) Zone of Southwest Japan.

やまれに珪長質凝灰岩を挟む．これらの海成層から多産するアンモナイトやイノセラムスなどの海生化石により，大野川層群の時代はチューロニアンからサントニアンと判断されている（野田, 1994）．なお，大野川層群下部と同時異相とされる田野層群の下限は，セノマニアンに及ぶとされる．これらの層相や地質構造，および異常に厚い積算層厚から，大野川層群は四国から紀伊半島にかけて分布する和泉層群に続く一連の左横ずれ堆積盆の充填層と考えられている（山北・大藤, 2000）．

九州地方（臼杵－八代構造線以南）

臼杵－八代構造線の南側に沿っては，約4億年前の年代を示す深成岩類や変成岩類が蛇紋岩メランジェ中に散在し，四国の秩父帯中軸部に断続的に続く黒瀬川帯の西方延長と考えられている．この地域には，シルル～デボン系から白亜系までの陸成・汽水～陸棚堆積物が散点的に分布している．このうち，白亜系は西から北薩地域（田中ほか, 1999），八代地域（5），五ヶ瀬川流域，佩楯山地域（7），無垢島（高橋・田中, 2003など）に分布している（田中, 2010）．

これらの白亜系は，四国の黒瀬川帯の白亜系（物部川層群）に対応する地層群と，“先外和泉層群”（田代・池田, 1987）あるいは中九州層群（田中, 2005）に大別されている．後者は御所浦層群や御船層群などの，九州中軸部に分布する白亜系に類似する．物部川層群相当層は八代地域の小原層，三峰山層，日奈久層（田中ほか，1998）や砥用層（斎藤ほか, 2005），佩楯山地域の佩楯山層群（寺岡, 1970）で代表され，時代はオーテリビアン～アルビアンの範囲にある．下部は領石型植物化石や汽水生二枚貝化石を産し，中部は浅海生二枚貝化石やアンモナイトを含む砂岩および泥岩からなる．上部は礫岩や礫質砂岩の上位にトリゴニア片密集層を含む砂岩泥岩互層が重なり，上方に向かって砂岩泥岩互層を経て暗灰色泥岩に移行する（田中, 2010）．

一方，“先外和泉層群”（田中ほか, 2012）は，物部川層群相当層とは岩相および化石相が異なり，一部に汽水成層を含む浅海成相の下部白亜系（ベリアシアン～アルビアン）である．佩楯山地域では，“先外和泉層群”の小坂層が年代の重なる佩楯山層群の上に低角度の断層を介して衝上したナップをなすと解釈されることから，その堆積場はより陸（西南日本内帯）側であったと推察されている（田中ほか, 2012）．しかし，三宅ほか（2015）によれば，八代地域では同様の関係は認められないとしている．

西南日本外帯（四国地方）

北から三波川帯，秩父帯，四万十帯に三分される西南日本外帯においては，主としてジュラ紀付加体が分布する秩父帯に，白亜系が散点的に分布する．この秩父帯は，その中軸に沿って先ジュラ系が断層に挟まれたレンズ状の岩体として残存しているので，それらの分布範囲を黒瀬川帯とし，その北および南側のジュラ紀付加体はそれぞれ秩父帯北帯および秩父帯南帯（三宝山帯）と細分されている（田代, 1985; 村田, 2016など）．西南日本外帯の白亜系のほとんどは，このうち黒瀬川帯の先ジュラ系と密接に分布し，一部では不整合で重なって狭長に分布する．そのため，白亜系の年代や地質構造は，黒瀬川帯の成因を解く際の制約となっている．

秩父帯の白亜系は，大きく上下に大別されている．上部は上部白亜系の外和泉層群としてまとめられているが，岩相および化石相により異なる2つのグループに分けられる下部は，分布域の特徴に基づいて，秩父帯北帯側に分布する下部白亜系（物部川層群）と，秩父帯南帯側に分布する下部白亜系（南海層群）に二分されている（田代, 1985）．これらの白亜系は，西から三瓶（8），檮原（9），佐川（10），高知（15），土佐山田（16），物部川流域（17），および勝浦川地域（18）などに断続的に分布している（村田, 2016; 石田・香西, 2016）．西南日本外帯の非変成白亜系は東西日本の白亜紀陸弧を復元する際に重要となるため，ここでは詳しく解説する．

愛媛県西部の三瓶地域は，三波川帯に属する御荷鉾緑色岩類と黒瀬川帯に対比されうる地質体が接しており，西南日本外帯の地帯配列が乱されているため真穴構造帯と呼ばれている（村田, 2016など）．この地域には，蛇紋岩の上に衝上したナップとして分布する真穴層（砂岩泥岩互層；全層厚は400ｍ程度）のほか，下部の砂岩に浅海生貝化石を産する二及層（層厚約50ｍ）と砂岩泥岩互層の周木層がわずかに孤立して分布する（武田ほか, 1993）．真穴層からは後期ジュラ紀～白亜紀の異常巻きアンモナイトが産出するが詳しい年代は未詳であった（鹿島, 1992）．周木層も未詳であったが，二及層の化石群集はアプチアンを示し物部川層群に相当する（田代, 1985）とされた．中畑ほか（2016）は，砕屑性ジルコンU-Pb年代より，真穴層はバランギニアン以降，周木層，二及層は，それぞれアルビアン，セノマニアン以降と推論している．とくに二及層については，化石年代より新しい年代が得られている．

高知県の檮原周辺には，下部白亜系物部川層群と上部白亜系外和泉層群が分布している（香西ほか, 1991; 石田・香西, 2016）．本地域の物部川層群はペルム紀付加体を不整合に覆い，下部（上ノ郷層：オーテリビアン～バレミアン）は赤色の礫岩や砂岩，および領石型の植物化石を産する泥岩で，海進期の堆積物と考えられている．その上位に浅海生二枚貝化石を産する砂岩および砂岩泥岩互層（太田戸層：バレミアン）が重なり，さらに上部（田野々層：アプチアン～アルビアン）は礫岩や砂岩など粗粒堆積物が卓越するが，浅海生二枚貝化石のほかアンモナイトを産出する．積算層厚は1,400ｍほどである．一

方，当地域の外和泉層群横貝層（セノマニアン～コニアシアン）は，下部はトリゴニアやカキ化石を含む砂岩，上部は放散虫化石を含み二枚貝やアンモナイトを産する黒色泥岩からなる．上位・下位とも断層関係にあり，層厚は115ｍほどである．

佐川地域には黒瀬川帯構成岩類とともに，三畳系～白亜系の整然堆積物が分布し，大型化石が多産することから古くより調査・研究が行われてきた．本地域の下部白亜系はデルタ～浅海相で，南海層群（全積算層厚2,400ｍ）としてまとめられている．最下部（介石山層：400ｍ，以下括弧内のｍ表示は層厚を表す）はシルル～デボン系を不整合に覆う礫岩の上に陸成層から浅海成層が繰り返し，汽水生二枚貝化石を産出する（利光, 2007）．その上位に礫岩，砂岩，砂岩泥岩互層へと上方細粒化する層序が繰り返す（土佐加茂層：600ｍ；黒原層：800ｍ）．最上部（四ッ白層：600ｍ）は黒色泥岩および砂岩泥岩互層である．海生二枚貝化石やアンモナイトを産出するこれらの地層は整合一連で，時代はオーテリビアン～アルビアンと考えられている（石田・香西，2016）．

また，佐川地域には宮ノ原層と呼ばれる上部白亜系がわずかに分布し（利光, 2007），外和泉層群に位置付けられている．最下部は砂岩泥岩互層が岩塊として集積した海底地滑り堆積物で，その上位に泥岩およびアルコース砂岩が重なる．宮ノ原層の中・上部からは多数の二枚貝化石が産出し，時代はセノマニアン前期～中期とされているが，周囲の地質体とは断層関係にある．

高知市の鴻ノ森から東方にかけて，黒瀬川構造帯を特徴づけるシルル～デボン系や花崗岩類が分布し，これらを不整合に覆う白亜系が分布する（香西・石田, 2003など）．下部（長柴層）は赤紫色礫岩の上に汽水生二枚貝化石を含む泥岩が重なり，礫質砂岩を経て海生二枚貝化石やアンモナイトを産する泥岩となり，海進期の堆積物であることを示す．その上位の和田層は，汽水生二枚貝，さらにトリゴニアを産する砂岩が重なったのち，最上部は再び泥岩および砂質泥岩が重なる．積算層厚は1,300ｍほどで，時代はバレミアン前期もしくはオーテリビアン～アプチアンないしアルビアンと考えられている（石田・香西, 2016）．

高知県土佐山田から物部川に沿っては，西南日本外帯の下部白亜系の模式的層序である物部川層群がまとまって分布している．また，断層に囲まれた下部白亜系の南海層群と上部白亜系の外和泉層群も分布するのでここでは詳しく記述する．本地域の物部川層群は下位より領石層，物部層，柚ノ木層，および日比原層に区分され，積算層厚は2,300ｍほどで，時代はオーテリビアン～アルビアンと考えられている（田中ほか, 1984; 石田・香西, 2016）．

領石層（700ｍ）はペルム紀付加体を不整合に覆い，赤紫色を呈する礫岩で特徴づけられる．植物化石を多産するほか汽水生二枚貝化石を産する．その上位に整合に重なる物部層（350ｍ）は有機物に富む砂質泥岩および泥岩からなり，多数の海生二枚貝化石を産する．柚ノ木層（520ｍ）は礫岩および礫質砂岩からなり汽水生二枚貝化石を産する下部と，砂岩泥岩互層および泥岩からなりアンモナイトを産する上部からなる．柚ノ木層は物部層に整合に重なり，バレミアン下部に対比されている．最上位の日比原層（720ｍ）は，下部は細礫岩ないし礫質砂岩から炭質物に富む砂質泥岩泥岩互層に至る堆積サイクルが繰り返し，中部は礫岩や凝灰岩の薄層を挟む砂岩となり，上部は泥岩および砂岩泥岩互層となる．日比原層の最下部は汽水生貝化石を産するが，中部にはトリゴニアの密集層が挟まり，上部の泥岩からはアルビアン後期のアンモナイトが産出する．

ペルム系の上に堆積したこれら物部川層群に対して，本地域の南海層群は周囲の地質体としばしば蛇紋岩を介した断層関係にあり，レンズ状，あるいはくさび状に寸断されて分布する（石田・香西, 2016）．ここでは南海層群は，下位の船谷層（200ｍ）と上位の萩野層（250ｍ）に二分されている．船谷層の下部は汽水生二枚貝化石を産する砂岩と植物片を含む泥岩，および礫岩が繰り返し，上部は砂岩，黒色泥岩，および砂岩泥岩互層からなりアンモナイトが産出している．時代はオーテリビアンないしバレミアンからアプチアン後期に対比されている．一方，上位の萩野層は礫岩，砂岩，砂岩泥岩互層および黒色泥岩からなり，海生二枚貝化石のほかアンモナイトが産出していて，アプチアンからアルビアンに対比されている．このように，断層を隔てて並列配置する物部川層群と南海層群は，時代がほとんど重なっている．

他方，本地域には上部白亜系の外和泉層群がわずかに分布している．本層群は断層で鳥巣層群相当層と接するため下限は不明で，下位より吹越層（320ｍ），永瀬層（110ｍ），および楮佐古層（200ｍ）に区分されている（石田・香西, 2016）．吹越層は暗灰色砂質泥岩，黒色泥岩，砂岩からなり海生二枚貝化石を産出し，アルビアン上部からセノマニアン下部に対比されている（Tashiro and Matsuda, 1982）．その上位に整合に重なる永瀬層は礫岩，砂岩，砂岩泥岩互層からなり，泥岩から産出する海生二枚貝化石やアンモナイトにより，本層はセノマニアン下部～上部に対比されている（Tashiro and Kozai, 1982）．楮佐古層は永瀬層に整合に重なり，凝灰岩を頻繁に挟む砂岩泥岩互層からなる．海生二枚貝化石やアンモナイトを多産し，チューロニアン下部からカンパニアンに及ぶと考えられている．

四国東部の勝浦川周辺には，下部白亜系の物部川層群と南海層群，および上部白亜系の外和泉層群が分布している．本地域の物部川層群は千枚岩化したペルム紀付加体を不整合に覆い，下位より立川層（400ｍ；オーテリビアン），羽ノ浦層下部（260ｍ；バレミアン），羽ノ浦

層上部（270 m；アプチアン下部），傍示層（550 m；アプチアン上部），および藤川層（500 m；アルビアン）に区分されている（石田・香西, 2016）．藤川層は下位層を傾斜不整合に覆う．これらの地層は汽水デルタ～浅海の堆積物で構成され，海進－海退に連動した堆積サイクルを記録していると考えられている（松川・江藤, 1987; 石田ほか, 1992, 1996 など）．

一方，これら物部川層群の南側には，断層を隔てて南海層群が分布し，吉ヶ平層（330 m）とそれに整合で重なる杉地層（250 m）に区分されており（石田・香西, 2003, 2016）バレミアン～アプチアンに対比されている．さらに南側には断層を介して竹ヶ谷層群と新称（石田・香西, 2003）されたデルタ～浅海堆積物が分布しており，菖蒲層（400 m），紅葉川層（100 m），内山層（380 m）が定義され，オーテリビアン～アプチアンに対比されている．どちらの層群もすぐ北側に分布する物部川層群と時代が重なる．南海層群と竹ヶ谷層群は，岩相や時代や二枚貝化石組成（Kozai *et al.*, 2005）が幾らか異なっているが物部川層群との違いほど大きくないこと，竹ヶ谷層群の詳細な層序記載は勝浦川地域に限られていること，竹ヶ谷層群の構成層は先行研究では南海層群とされていた（田代, 1985 など）ことから，図2では竹ヶ谷層群は示していない．

松川・江藤（1987）は，勝浦川地域の物部川層群と南海層群の岩相および生物相の相違は，堆積場の違い，すなわち陸側浅海域と陸から離れた沖合の環境や，海流の種類やその経路の違いを反映したものと考えている．

他方，本地域の外和泉層群は，泥岩および砂岩泥岩互層からなる櫛渕層（700 m；コニアシアン）と立江層（700 m；サントニアン～カンパニアン）からなり，アンモナイトやイノセラムスを産するが，いずれも周囲の地質体と断層関係にあり，下限・上限とも不明である．

なお，佐川地域の秩父帯南帯では，砂岩・泥岩を主として鳥巣式（礁性）石灰岩岩体を含む鳥巣層群が知られている．上部の鳥巣層は挟在する酸性凝灰岩より産する放散虫から，時代はジュラ紀後期からベリアシアンとされている（須鎗・石田, 1985 など）．一方，物部川地域の黒瀬川帯にも鳥巣式石灰岩を含む美良布層（600 m）が知られ，放散虫やアンモナイトから上部ジュラ系～ベリアシアンに対比される（香西ほか, 2004）．また，勝浦川地域の黒瀬川帯には泥岩を主体とする栗坂層（310 m）があり，放散虫とアンモナイトから中部ジュラ系からベリアシアンとみなされている．栗坂層は，下部白亜系竹ヶ谷層群に不整合で覆われるが，下位に位置する泥岩，砂岩泥岩互層からなる広瀬層（210 m；下部ジュラ系）と合わせて，坂州層群としてまとめられている（石田・香西, 2004）．栗坂層と同時代の美良布層も坂州層群に位置付けられている．これらの地層群はいずれもジュラ紀～白亜紀最前期の前弧海盆－浅海相とみなされている（石田・香西, 2016）．

西南日本外帯（近畿・中部地方～赤石・関東山地）

紀伊半島西部の有田川流域（20）には，秩父帯と黒瀬川帯にまたがって白亜系が分布している（前島, 2009）．下部白亜系は基盤を不整合に覆う湯浅層（層厚300 m＋）と，その上に整合に重なる有田層（300 m），および平行不整合に覆う西広層（450 m）からなる．湯浅層は領石型植物化石のほか汽水生の貝化石を産し，オーテリビアンの陸成～瀬海成層と考えられている．有田層は，扇状地成の礫岩層の上位に，浅海生二枚貝化石やバレミアンのアンモナイトを産する砂岩や泥岩が重なる．西広層は基底礫岩の上に砂岩と泥岩が繰り返して重なり，トリゴニアなどの浅海生貝化石が産出し，バレミアン後半からアプチアンの地層と考えられている．

一方，有田川地域には浅海成層を主体とする上部白亜系が分布する．岩相の違いが大きいため地域毎に多くの層名が付けられているが，外和泉層群としてまとめられている．それらは，下位より三尾川層，熊井層（アルビアン上部～セノマニアン），北谷層，金屋層，上松原層（チューロニアン），井関層，御霊層，松原層（コニアシアン），二川層，鳥屋城層（サントニアン～カンパニアン）に区分されている．砂岩，泥岩，砂岩泥岩互層からなるが，全体としては泥岩が卓越し，アンモナイトや二枚貝を産する．積算層厚は最大2,900 m を超えており，鳥屋城層では1,780 m 以上である（Misaki and Maeda, 2009）．

紀伊半島の東部に位置する志摩半島（21）においても，下部白亜系である松尾層群と南勢層群が，断層に分断されて分布している（坂ほか, 1988）．松尾層群は汽水～浅海成の地層で，凝灰岩のフィッション・トラック年代は130 Ma を示す（坂, 2001）．また，放散虫化石によるとバランギニアン～バレミアン（川端, 2001），二枚貝化石によるとベリアシアン～オーテリビアンと推定されている（本田, 2001）．一方，南勢層群（泉川層：60 m＋，五ヶ所浦層：690 m）は汽水生二枚貝化石を産する砂岩泥岩互層や礫岩砂岩互層からなり，上部の泥岩からはアンモナイトが産出し，バレミアン～アプチアン下部に対比されている（小畠ほか, 1979）．

静岡県浜名湖北方に，秩父帯のジュラ紀付加体を不整合に覆う下部白亜系の伊平層（24）がわずかに分布している（小松・安藤, 1996; 田中ほか, 2000）．伊平層（380 m）は下部の赤紫色礫岩に始まり，扇状地から入り江ないし干潟の堆積物の上位に，臨海扇状地から外側陸棚の泥質堆積物が重なる海進期の地層である．産出したアンモナイトにより，時代はバレミアン前期と考えられている．

西南日本外帯の東端部は，1,500万年前以降の伊豆弧の衝突によって日本海側に大きく押し込められた赤石山地

と関東山地であるが，両山地においても断層に囲まれた白亜系が断続的に分布している．下部白亜系の戸台層（24）は，赤石山地北部に位置する長野県戸台地域を中心に，南北およそ30 kmに亘って分布している．戸台層の下部と上部は礫岩が，中部は砂岩泥岩互層が卓越し，砂岩からトリゴニアを泥岩からアンモナイトを多産する（北村ほか, 1979）．戸台層の層厚は300 mほどで，アプチアン上部に対比されている．一方，田代ほか（1986）は，戸台層の下部とされた地層から領石フォーナに特徴的な汽水生貝化石を採取し，その時代をオーテリビアンと考えている．

水窪層（24）は，東縁で秩父帯の付加コンプレックスと，西縁で新第三系と断層で接する，層厚750 mに達する白亜系である．主に黒色泥岩からなり，トリゴニアに代表される多数の浅海生二枚貝化石を含む砂岩層を挟む．産出するアンモナイトによりアルビアンに対比されている（吉原・小松, 2006）．

関東山地の白亜系は，秩父帯の中軸部に帯状に分布する山中層群（27）のほか，山地の東端の高麗付近（石井・田口, 1988）に小露出がある．また，関東山地の北縁に沿っては，三波川変成岩の上にクリッペとして重なる跡倉層が，下仁田地域（25）から寄居地域（26）にかけて点在する．

山中層群は汽水成～浅海成の下部白亜系で，古くから多くの研究がなされてきた（Matsukawa, 1983; Takei, 1985; 小泉, 1991など）．松川・冨島（2009）の総括によると，山中層群は，下位より白井層（290 m；オーテリビアン），石堂層（500 m；オーテリビアン～バレミアン），瀬林層（450 m；バレミアン～アプチアン），および三山層（900 m；アプチアン～アルビアンで，セノマニアンにおよぶ可能性がある）に区分される．

関東山地の北西端に位置する下仁田地域は，三波川変成岩（御荷鉾緑色岩）の上にクリッペとして重なる白亜系跡倉層が分布している（新井・高木, 1998など）．跡倉層は，砂岩に指交する礫岩（460 m＋）の上に，厚い砂岩泥岩互層（タービダイト；700 m＋）が重なる上方細粒化の層序からなるが，横臥褶曲によって地層の多くは逆転している．イノセラムスと放散虫からチューロニアン～カンパニアンの範囲とされていたが，最近，跡倉層からサントニアンを指示するアンモナイトとイノセラムスが産出した（Matsukawa and Obata, 2012）．

同様のクリッペは東方へ三波川帯と秩父帯の境界部にも点在し，埼玉県の寄居地域にまとまって分布している（小坂, 1979など）．栃谷層（＝跡倉層）は礫岩，砂岩，および泥岩からなるが，変形が著しく（近重, 2000），層厚は800 m以上と算定されている．本地域から，後期白亜紀を示すアンモナイトが報告されている（渡辺ほか, 1990）．最近，中畑ほか（2015）は跡倉層と栃谷層の砂岩の砕屑性ジルコン年代分布から，後背地の地質特性について考察しているが，上述の年代推定とは調和的である．

東北日本（陸域）

東北日本では新生界が広く分布するため，白亜系は主に太平洋沿岸部に沿って散点的に分布するに過ぎない．しかし，群馬県北部の片品村（28）には，汽水生二枚貝を産する砂岩泥岩互層の小分布（戸倉沢層：500 m）が確認され，その下部からは海生のベレムナイトが産出し海成層を含んでいる（松川ほか, 2015）．戸倉沢層は飛騨外縁帯に相当するとされる上越帯に位置し，中部地方の手取層群相当層とみなされている．

一方，太平洋沿岸部に沿っては，南から銚子（29），相馬（36），牡鹿半島（37），気仙沼大島（39），大船渡（40），宮古（41），田老（42）に下部白亜系が，那珂湊（31），いわき（32），岩泉（43），久慈（44），種市（45）に上部白亜系が分布している．下部白亜系は海成層が卓越し，とくに北上山地の東縁（牡鹿半島から田老）では，特徴的に安山岩質～デイサイト質火山噴出物を挟有し，一部に玄武岩や流紋岩を含む（土谷ほか, 2015）．これに対し，上部白亜系は，例えば比較的内陸に位置する岩泉や，太平洋沿岸に位置するいわきや久慈，種市では非海成～浅海成相を示すが，那珂湊では沖合泥岩相を主体とし，地域と時代によって層序・層相が異なる．

千葉県銚子半島に露出する銚子層群は，砂岩に富む浅海成の地層が主体で，積算層厚は900 mほどと算定されている（Obata *et al.*, 1982; Ando *et al.*, 2014）．ジュラ紀付加体と考えられる愛宕山ユニットと断層関係にあるが，もともとは不整合に覆っていたと考えられる．銚子層群は植物化石のほかアンモナイトやトリゴニアを産出し，バレミアン前期～アプチアン後期と考えられているが，銚子層群を不整合に覆う“名洗層”（上部中新統～鮮新統）からアルビアンを示すアンモナイトを含むノジュール礫が発見されている（Obata and Matsukawa, 2009）．

茨城県の那珂湊地域には，海岸に沿って上部白亜系の那珂湊層群が孤立して分布している．那珂湊層群は主に砂岩，泥岩，および砂岩泥岩互層（タービダイト）からなり礫岩を挟む地層で，和泉層群に類似するため西南日本の東方延長と考えられた（田中, 1970）．泥岩から産出したアンモナイトやイノセラムスは，カンパニアン中期～マーストリヒチアン前期を示し，積算層厚は1,900 mに達する（安藤, 2006; Ando *et al.*, 2014）．

福島県いわき地域には，阿武隈山地の東縁に沿って白亜紀花崗岩類もしくは上部古生界を不整合に覆う双葉層群（400 m）が分布する（安藤ほか, 1995; Ando *et al.*, 2014）．双葉層群は，相対的海水準変動の繰り返しにより，臨海扇状地や沖積平野から陸棚上に至る堆積場で形成された砂岩を主体とする地層で，産出するアンモナイ

トやイノセラムスにより，コニアシアン前期～サントニアン前期と考えられている．

阿武隈山地の東縁に沿って走る双葉断層の東側には，中部ジュラ系～白亜系最下部の相馬中村層群が分布する（竹谷・遅沢, 2013 など）．相馬中村層群は浅海成堆積物と河川成堆積物が繰り返し，ジュラ紀の軟体動物化石や植物化石のほかアンモナイトが産出している．白亜系は珪長質凝灰岩を挟む砂岩からなる小山田層（120 m）で，放散虫化石やアンモナイトによりベリアシアン～バランギニアンと考えられている（竹谷, 2013 など）．

宮城県の牡鹿半島には，三畳系（稲井層群）を不整合に覆うジュラ系～白亜系最下部である牡鹿層群が分布する（滝沢, 1975）．牡鹿層群で白亜系を含むのは鮎川層（2,000 m；ジュラ系最上部～バランギニアン）であり，安山岩～玄武岩質火山噴出物からなる下部白亜系（オーテリビアン）の山鳥層（1,600 m）に不整合に覆われる．鮎川層は砂岩と泥岩からなり，中部に厚い海成の黒色泥岩を挟み，上部は河川成とみなされている．中・下部からカキやトリゴニアのほかアンモナイトを産出する．

一方，宮城県北東部の唐桑地域では，中部ジュラ系～白亜系最下部の鹿折層群と下部白亜系の大島層群が分布する．鹿折層群における白亜系は，上部の砂岩，泥岩，砂岩泥岩互層からなる小々汐層（800 m；上部ジュラ系～バランジニアン下部）と，主に泥岩からなる磯草層（60 m＋；バランギニアン上部）である（奈良ほか, 1994）．磯草層を不整合に覆う大島層群（オーテリアビアン～バレミアン）は安山岩質，一部玄武岩質の火山噴出物からなる鼎浦層（～1,200 m）と砂岩・泥岩および泥質石灰含からなる横沼層（360 m；オーテリビアン上部からバレミアン）から構成されるが，横沼層は鼎ヶ浦層の上部と指交関係にある（奈良ほか, 1994）．

岩手県の大船渡周辺に分布する大船渡層群は，ペルム紀陸棚堆積物を不整合に覆う下部白亜系で，積算層厚は3,000 m を超す（小貫・森, 1961）．大船渡層群は，厚い火山砕屑岩からなる下部の上に，植物化石やサンゴ，トリゴニア，アンモナイト等を含む砂岩と泥岩が重なり，時代はオーテリビアン～アプチアンと考えられている．

岩手県の宮古地域には，二枚貝やアンモナイト，ベレムナイト，サンゴ，ウミユリ，そして大型有孔虫 *Orbitolina* 等の化石を多産する宮古層群が分布している（梅津ほか, 2013 など）．宮古層群は，ジュラ紀付加体や前期白亜紀の花崗岩や下部白亜系原地山層を不整合に覆い，基底礫岩から斜交層理の発達した河川～浅海成の砂岩，および砂岩泥岩互層からなる．層厚は200 m ほどで，時代はアンモナイトからアプチアン後期～アルビアン前期と考えられている．

岩手県北部には久慈層群（44）およびその相当層である沢廻層（43），横道層（43），および種市層（45）の河川成～浅海成相が点在する．久慈層群はジュラ紀付加体と白亜紀花崗岩を不整合に覆い，基底礫岩の上に河川，エスチュアリー，さらに浅海成の堆積物が重なったのち，再び河川成堆積物が覆う．久慈層群は砂岩が卓越し，下部にはカキ化石密集層が多数含まれ，中部はアンモナイトやイノセラムスを含み，上部は凝灰岩を多く挟む．層厚は400 m ほどで，アンモナイトやイノセラムス，花粉・胞子化石から，時代はサントニアン～カンパニアンとされている（梅津・栗田, 2007; 梅津ほか, 2013 など）が，有元ほか（2015）では下限がチューロニアンまで及ぶと指摘されている．久慈市北方の種市層は層厚が300 m で，岩相や化石相から久慈層群中・下部に対比される．

岩泉地域の沢廻層は，基盤を不整合に覆う礫岩および緑色砂岩からなる層厚200 m の地層（加瀬ほか, 1984）で，アンモナイト，イノセラムスにより，時代はサントニアン後期と考えられている．沢廻層の北西側には，上部白亜系の横道層が分布している（加藤ほか, 1986 など）．横道層は基底礫岩に重なる陸成の砂岩泥岩互層と，ラテライト化した流紋岩質溶結凝灰岩からなり，フィッション・トラック年代からマーストリヒチアン前期と考えられている（加藤ほか, 1986）．

なお，田代・香西（1989）は，底生軟体動物群組成から，大船渡層群が物部川層群に，相馬中村層群と大島層群，宮古層群が南海層群に相当するものと考えている．

東北日本（海域）

東北日本の陸域では白亜系の分布が非常に限られるが，東北日本沖の太平洋海底下には，前弧堆積盆を埋積した厚い地層が伏在している（図3）．実際，炭化水素鉱床探査を目的とした試錐調査（30, 33～35, 38, 46～48）では，浅海～非海成相に加えて沖合の海成泥岩相が厚く伏在していることが確認されている（大澤ほか, 2002; Ando, 2003; 安藤, 2005, 2006）．

海底試錐で最も下位の層準に達したものは，久慈沖（46）のアルビアンであるが，アプチアン上部にまでおよぶ可能性がある．気仙沼沖（38）ではアルビアン上部層が花崗岩基盤上にのっている．八戸沖（48），久慈沖（46）のセノマニアン～チューロニアンについては，河川相や浅海相を含んでおり，気仙沼沖ではセノマニアンとチューロニアン上部～コニアシアンの2層準に浅海相が確認されている（Takano and Tsuji, 2017）．カンパニアン上部～マーストリヒチアンにはどのセクションでも浅海～河川平野相がよく発達しており，この層準には石炭層を含む非海成堆積盆が発達し，三陸沖（47）から常磐沖（33）まで断続的に陸域が広がっていたことを示唆する．

図3A は東北日本弧の東西地殻断面（Niitsuma, 2004; 安藤, 2005; 図2の八戸沖（48）と三陸沖（47）付近を通る）を表したもので，現在の東北日本の東方沖の海底下に厚く堆積した白亜紀以降の地層が，広い範囲にわたっ

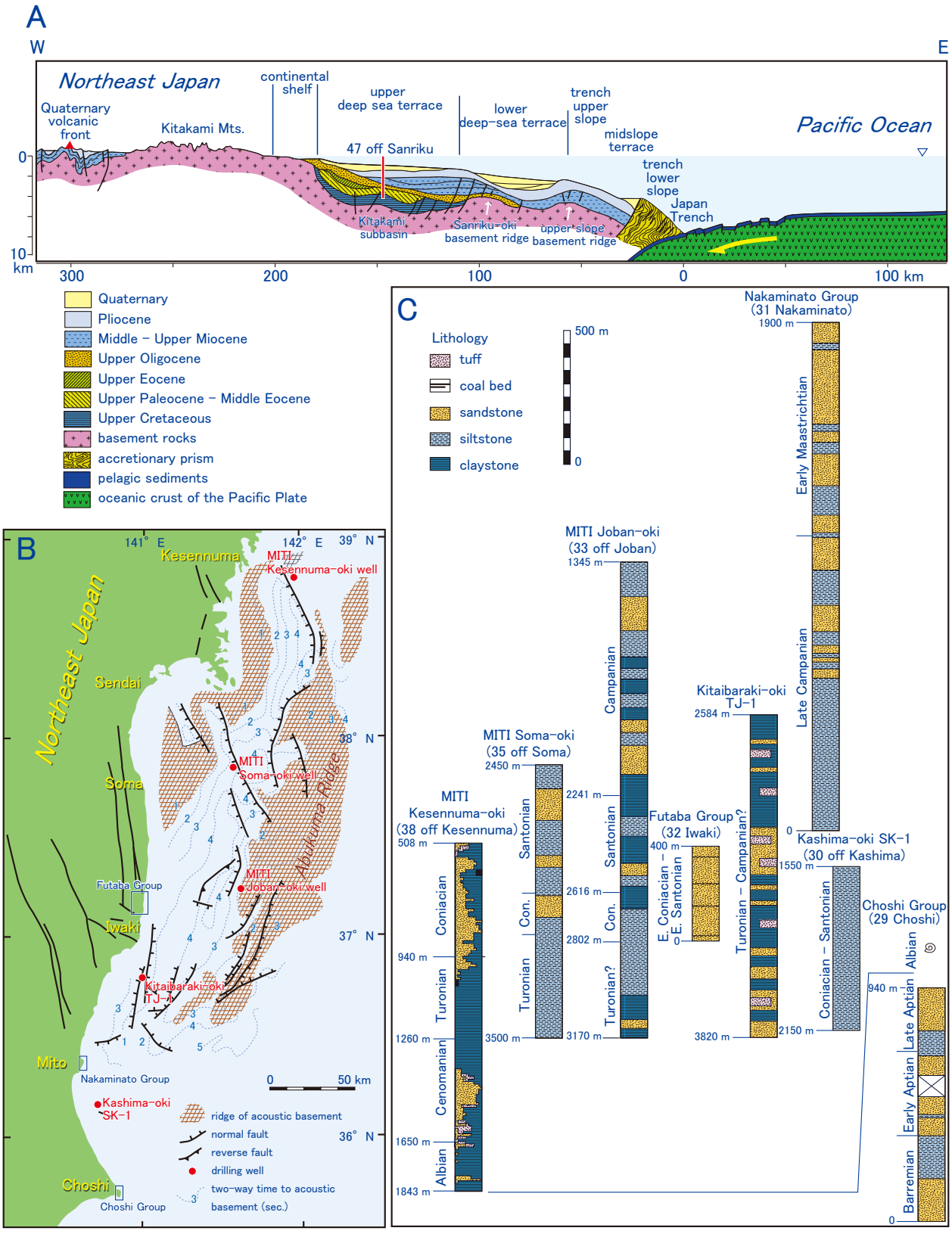

図3　東北日本北部における東西模式地質断面（A），常磐沖堆積盆の音響基盤構造図（B），および，東北日本陸域・海域の主な白亜系層序（C）．米谷ほか（1981），Obata *et al.*（1982），加藤ほか（1996），大澤ほか（2002），Niitsuma（2004），および安藤（2005, 2006），稲葉ほか（2009）をもとに作成．（A）は図2の地点47と48を通る断面．Niitsuma（2004）と安藤（2005）を改訂．

Fig. 3. Schematic east-west cross section of the northern part of Northeast Japan (A), acoustic basement structure of the Offshore Joban Basin (B), and stratigraphic correlation of some onland and offshore Cretaceous sequences (C), modified from Maiya *et al.* (1981), Obata *et al.* (1982), Kato *et al.* (1996), Osawa *et al.* (2002), Ando (2005, 2006) and Inaba *et al.* (2009). The east-west cross line of (A) is passing near through localities 47 and 48 on Fig. 2, referring to Niitsuma (2004) and Ando (2005).

て伏在していることが分かる．この前弧堆積盆を埋積した地層のうち，白亜系は三陸沖の基盤の高まり（三陸沖基盤リッジ）までの範囲の幅数十kmの範囲に，緩く複向斜した構造で伏在している．その白亜系の一部が，前述の東北日本の東海岸に沿って断続的に露出しているものと考えられる．また，向斜の東翼（沖合）側は西翼（陸）側より層厚が厚くなっており，三陸沖基盤リッジの沖合側にも背斜構造の東側に白亜系が分布している可能性が指摘されている（安藤, 2005）．

気仙沼沖から鹿島沖にかけては，幅が数十kmの前弧堆積盆（常磐沖堆積盆; 図3B）が伏在し，新生界に覆われた厚い上部白亜系が確認されている（加藤ほか, 1996; 岩田ほか, 2002; 稲葉ほか, 2009など）．そこで，海域（気仙沼沖，常磐沖（33），北茨城沖TJ-1，鹿島沖SK-1（30））と陸域（双葉層群，那珂湊層群，銚子層群）の層序対比を行った（図3C）．

基礎試錐「気仙沼沖」では，泥岩主体の層準と砂岩が卓越する層準が大きく2回繰り返すが，石灰質ナンノ化石からアルビアンからコニアシアンまでの地層が確認されている（佐藤, 1986）．一方，北茨城沖では，泥岩主体ながら砂岩を伴う層準が幾つかある岩相で，チューロニアンからカンパニアンとされる厚い上部白亜系が海底下2,500m以深に伏在しており，陸上に露出する那珂湊層群に連続する地層と考えられる（稲葉ほか, 2009）．そして南の鹿島沖では，海底下およそ1,550～2,150mに浅海成の上部白亜系が伏在し（加藤ほか, 1996），その数十km南に位置する銚子には，1,000m近い厚さの浅海成下部白亜系である銚子層群が露出している．さらに阿武隈リッジと銚子の間の太平洋沖の海底下には，音響基盤深度が4,000mを超え，厚い白亜系の存在が想定されている（安藤, 2006）．これらのことから，東北日本の太平洋沿岸部に点在する下部白亜系に連続する地層が，東北日本沖の太平洋海底下にも上部白亜系の下に広く伏在している可能性が指摘できる．

白亜紀の古日本陸弧－海溝系

火成弧

高橋・安藤（2016, 図5）で示した，前期中新世の火山フロントに基づく東北日本弧と西南日本弧の配置の上に，白亜紀安山岩質噴出岩類の分布を重ねその東縁をトレースすると，前期白亜紀の火山フロントを推定することができる（図1）．前期白亜紀の火山フロントは，東北日本では太平洋沿岸に位置するが，西南日本では中部地方の中央部・近畿地方の北部を通って，中国地方の中央部の南縁から九州の北端に連続的に続いている．

さらに，図1に白亜紀の深成岩や珪長質火砕岩類の分布を重ねてみると，西南日本では，火山フロントを挟んでこれらが幅広く分布している．西南日本内帯が大量の深成岩類やカルデラに伴う大量の珪長質火砕岩類の噴出で特徴づけられる火成弧（magmatic arc）に相当すること示している．これに対し，外帯には全く火成活動の証拠が認められない．

一方，東北日本の現在の陸域は，珪長質火砕岩類の分布が限られ，深成岩の幅が西南日本より広いが，当時の火成弧の北西側をなしていることが分かる．このことは，東北日本の陸域が西南日本内帯の北半部に，太平洋岸沖海底下が内帯南半部に相当すると考えられる．すなわち，現在の東北日本と西南日本の陸域に露出する白亜紀陸弧は，本州中央部を境に大きく右ずれに変位していることを示している．

これらのことは，少なくとも白亜紀から日本海の拡大が開始したおよそ2500万年前まで，日本は大局的にはこのような配置の陸弧であったことを示唆している．

背弧堆積盆

西南日本内帯では，先白亜系基盤岩類の上に，一部に汽水～海成層を含む砕屑物主体の陸成層（西から関門（脇野亜層群），豊西，篠山（中・下部），手取層群）や，陸上に噴出した火山岩や火山砕屑物（関門（下関亜層群），周南，匹見，阿武，相生，生野，篠山（上部），有馬層群）が分布する（図2, 4）．前者の地層群は，火山弧もしくはその背弧側に発達した河川成～湖成堆積物を主体とし，木村（1979）が西南日本内帯側堆積区と呼んだものに相当する．一方，後者は当時の火山弧中軸部で形成され，白亜紀の後半以降は活発な珪長質火成活動の場となった．このように，西南日本内帯では，場所や時期によって海水準変動等により海水が進入し汽水成層や海成層が堆積することがあったものの，概ね陸域堆積盆が形成されていたと考えられる．

一方，東北日本では，太平洋沿岸に沿って山鳥層や原地山層など陸上に噴出した火山岩が分布し，その西側には，戸倉沢層や横道層など主に陸成層が点在している．したがって，現在の東北日本の陸域は，白亜紀においても概ね陸域であり，火山弧周辺からその背弧域に相当していたと考えられる．

したがって，これらの白亜系の層相と地理的広がりや年代層序を勘案すると，時代や地域によって変化していたと思われるが，西南日本ではおおよそ瀬戸内海付近，一方，東北日本では太平洋沿岸に沿って，当時の海陸境界（海岸線）があったと推定される．

前弧堆積盆

これらに対し，西南日本外帯は海成層が卓越し，火山岩類は全く挟在しないことから，当時の前弧域に相当すると考えられる（図2, 4, 5）．例えば，関東山地の山中層群はジュラ紀付加体を不整合に覆う下部白亜系で，非海成層を挟むものの海成層が卓越し，積算層厚は2,000m

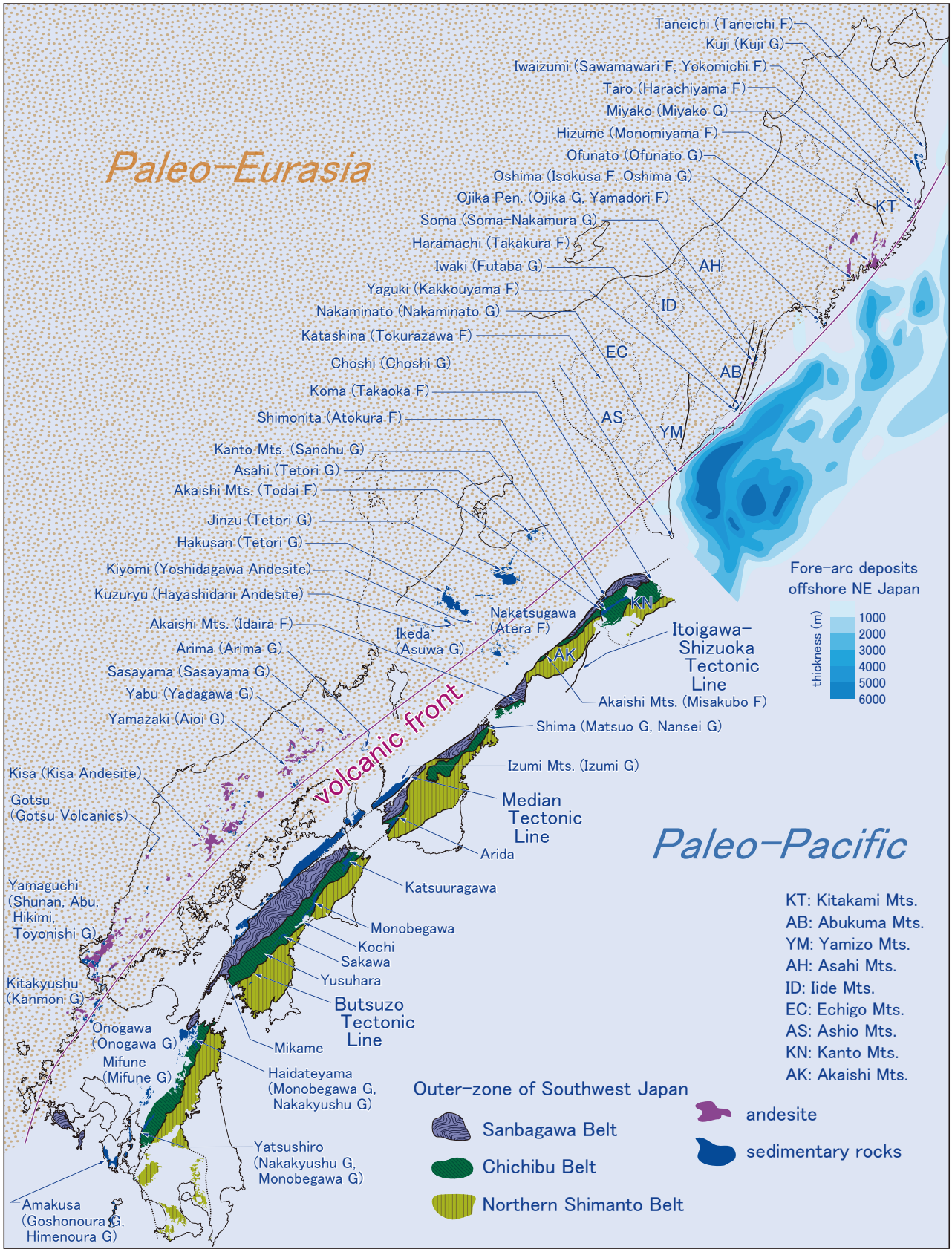

図4　白亜紀の古日本陸弧－海溝系復元図．東北日本太平洋沖の堆積物等層厚線図は，地質調査所（1992）の燃料資源図より作成．西南日本外帯の三波川帯と四万十北帯は，白亜紀付加体およびその深部変成相として表示．

Fig. 4. Paleogeographic reconstruction of Paleo-Japan continental arc-trench system during the Cretaceous time. The sedimentary isopach map in offshore Pacific of Northeast Japan is after Geological Survey of Japan (1992). Cretaceous accretionary complex (Northern Shimanto Belt) and its high-P/T metamorphosed facies (Sanbagawa Belt) are also shown.

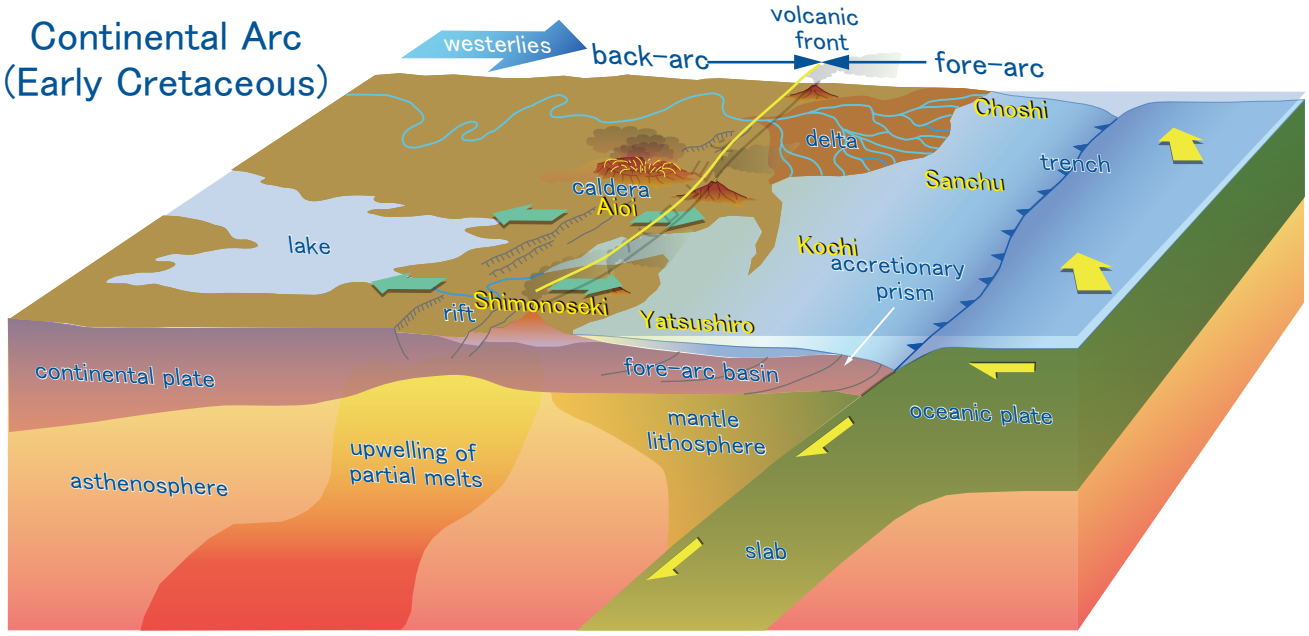

図5　前期白亜紀の古日本陸弧－海溝系模式概念図.
Fig. 5. Schematic paleogeographic map of Paleo-Japan continental arc-trench system during the Early Cretaceous time.

を超える．また，高知県中央部に分布する物部川層群は，ペルム紀付加体を不整合に覆い，陸成層を挟むものの汽水生～海生貝化石等を多産する砕屑岩類からなり，積算層厚は2,300 m に達する．陸成層と浅海成層が何度も繰り返す層序は海水準変動の影響を直接被る当時の沿岸部で形成され，海成層が連続し海生化石が多産する地層は，それよりも沖合側の堆積場に位置したのであろう．そして，当時の火山フロントよりも明らかに海溝側に位置していることから，非火山性砕屑岩類からなる西南日本外帯の白亜系のほとんどは，当時の前弧堆積盆を埋積した地層であると考えられる．

考察

西南日本外帯の白亜系は，テチス北方型動物群（物部川層群のフォーナ）とテチス型動物群（南海層群のフォーナ）に大別される化石を含む地層群が断層を境に並列配置していることから，その成因を大規模な横ずれ断層とみなす推定がなされてきた（田代, 1994）．一方，松川・江藤（1987）では，両者の違いは海流（暖流／寒流）や，浅海－沖合いとう堆積場の違いによるものと考えていた．近年，幾つかの地域では，両動物群にそれぞれ固有と見なされた属種が同一層準から産出することが明らかとなり，再考を必要としている（香西・石田, 2003）．Kozai *et al.*（2005）では，両者の地層群から同一の放散虫群集が産出することから古海洋学的には海流の違いでは説明できず，塩分濃度を含む環境要因や堆積環境の違いを指摘している．これらのことは，西南日本外帯における白亜紀以降の大規模な横ずれ断層運動を，必ずしも想定する必要はないことを示唆している．

ここでもう一度東北日本を見てみると，現在の東北日本の東方沖の太平洋海底下には，前弧堆積盆を埋積した厚い白亜系が広く伏在しており（地質調査所, 1992 の燃料資源図；棚橋ほか, 2005 など），少なくとも一部は下部白亜系に達している可能性がある（安藤, 2005; 棚橋ほか, 2005）．東北日本と西南日本を白亜紀当時の配置に戻したならば，西南日本外帯の白亜系が東北日本沖の前弧堆積盆の白亜系に相当することになる．このことは，西南日本外帯に散点的に分布する白亜系は，東北日本の東方沖の海底下に伏在する堆積物が，その後の地殻変動によって隆起・変形し，浸食され残ったものに相当すると考えられる．その地殻変動は，前期中新世の日本海の拡大時期であった可能性が示唆される（高橋, 2009; 高橋・安藤, 2016）．

白亜紀の陸弧－海溝系を復元するにあたって，東北日本では陸域での露出が限られているとはいえ，日本の白亜系は背弧から前弧までの多様なセッティングや堆積環境の地層を比較的に連続的に調査・観察することができる．このことは，白亜紀の地質学的研究における大きなアドバンテージであることは間違いない．しかしながら，西南日本のとくに外帯の白亜系は，東北日本沖の海底下の白亜系に相当する地層群が，中新世以降の変形を被ったものに対応することから，個々の地域の地質を当時の陸弧－海溝系にあてはめて復元する場合には注意が必要である．

例えば，九州地方に見られるナップとされた白亜系（田

代・池田, 1987; 田中ほか, 2012など）は，構造的にそれらがもともと堆積した場所から移動していることを表している．また，西南日本外帯の白亜系のうち，南海層群のように，多くの地域で周囲の地質体と断層関係にあるとされた断片的分布を示す地層は，同様に陸側から海溝側へスライドした地層（地滑りブロック）であると考えるとどうであろうか．大きな地滑りブロックが広汎に分布している顕著な例としては，時代が中新世と異なるが，いわゆる岬オリストストローム（勘米良, 1977; 酒井, 1988など）が知られている．かつて広範囲に覆っていた白亜系が中新世に海溝側に海底地滑りし，秩父帯のジュラ紀付加体の上にスライドした後も残存している可能性がある．その場合は，岬オリストストローム同様にスライドしたブロックをとり囲む基質部分の解明が重要となろう．

したがって，西南日本外帯の白亜系をもとに当時の陸弧－海溝系の実態を明らかにするためには，先白亜系に整合ないし不整合で重なる地層を優先的に扱い，下位層との関係が不明な白亜系については，堆積後に移動した異地性岩体かどうかを考慮する必要があろう．いずれにしても，大規模な異地性堆積岩体である場合には，その実態や形成のタイミングを検証していくことが望まれる．

おわりに

地質学に限らないが，自然科学においては一般に目に見えるものに対して過剰に評価し，反対に見えないものに対して考慮されることが少ないのは，生物としての人間の本性に起因するのかもしれない．小論では，東北日本の東方沖の太平洋海底下には，西南日本外帯秩父帯に散点的ながら広く分布する白亜系前弧堆積盆の地層群に対応する地層が，あまり変形・浸食されずに保存されていることを指摘した．したがって，直接手にとって観察できる西南日本の陸域地質と，直接見ることはできないが，確かに存在している東北日本の海域地質の統合が，白亜紀陸弧－海溝系を紐解く視点といえる．

日本の白亜系が東アジアの古環境・古生態系復元の標準地域となるためには，陸－海域を統合した高精度の年代対比を，それに対応した岩石学やテクトニクスなどの視点を考慮しながら，見直ししていく必要がある．そして，白亜紀の古日本弧における動植物化石群の時空分布と多様性変動は，実証性の高い古地理復元に基づいて行っていくべきであろう．

謝辞

本論は2016年1月29日(金)に京都大学で開催された日本古生物学会第165回例会のシンポジウム（1)「白亜紀の層序学・古生物学の進展と環境変動」において講演した内容の一部を関連する情報を追加・補填してまとめたものである．本特集号に際しては「化石」編集長の東京学芸大学の佐藤たまき准教授にお世話になった．また2名の査読者からは建設的な意見をいただき，原稿の改善に助力いただいた．なお，本論の基礎となる研究にあたり，日本学術振興会による科学研究費補助金（No. 25302011，17K05688，代表者：安藤寿男；No. 26350220，代表者：高橋雅紀）を使用した．以上の方々・機関に厚くお礼申し上げる．なお，本論およびシンポジウムはIGCP608「白亜紀のアジア－西太平洋地域の生態系システムと環境変動」の活動の一貫として行われた．本論を白亜紀研究に多大な貢献をされた，IGCP434リーダーであった故平野弘道先生に捧げたい．

文献

Ando, H., 2003. Stratigraphic correlation of Upper Cretaceous to Paleocene forearc basin sediments in Northeast Japan: cyclic sedimentation and basin evolution. *Journal of Asian Earth Sciences*, **21**, 919–933.

安藤寿男，2005．東北日本の白亜系－古第三系蝦夷前弧堆積盆の地質学的位置づけと層序対比．石油技術協会誌，**70**，24–36.

安藤寿男，2006．関東平野東端の太平洋岸に分布する銚子層群・那珂湊層群・大洗層の地質学的位置づけ．地質学雑誌，**112**，84–97.

Ando, H., Kashiwagi, K., Hirayama, R. and Toshimitsu, S., 2014. Cretaceous forearc basin siliciclastic successions along the Pacific coast, central Japan: Choshi, Nakaminato and Futaba groups. *Field Excursion Guide of the Second International Symposium of International Geoscience Programme (IGCP) Project*, **608**, 1–42.

安藤寿男・勢司理生・大島光春・松丸哲也，1995．上部白亜系双葉層群の河川成～浅海成堆積システム―堆積相と堆積シーケンス―．地学雑誌，**104**，284–303.

新井宏嘉・高木秀雄，1998．関東山地，跡倉ナップの構造発達：押被せ褶曲の復元．地質学雑誌，**104**，861–876.

有元　純・高嶋礼詩・西　弘嗣・條　将太・山中寿郎・折橋裕二・高地吉一・山本鋼志・梅津慶太，2015．上部白亜系久慈層群における炭素同位体比・U-Pb放射年代統合層序を用いた高精度年代決定．日本地質学会第122年学術大会講演要旨，66.

近重史朗，2000．関東山地北東縁部上部白亜系栃谷層の褶曲と基底断層．構造地質，(44)，22–45.

地質調査所（編），1992．日本地質アトラス（第2版）．52p.，朝倉書店，東京.

Finn, C., 1994. Aeromagnetic evidence for a buried Early Cretaceous magmatic arc, northeast Japan. *Journal of Geophysical Research*, **99**, 22165–22185.

Gradstein, F. M., Ogg, J. G., Schmitz, M. D. and Ogg, G. M., 2012. *The Geologic Time Scale 2012*. 1144p., Elsevier, Amsterdam.

原田拓也・小原北士・高地吉一・大川泰幸・森田祥子・横川実和・川越雄太・柳井修一・大藤　茂，2013．北部北上帯，槇木沢層及び小本層の砕屑性ジルコンのU-Pb年代分布．日本地球惑星科学連合2013年大会要旨，SGL41–P14.

原山　智，2006．10．白亜紀－古第三紀深成岩類．大陸東縁の陸弧深成活動．日本地質学会編，日本地方地質誌4　中部地方，284–291，朝倉書店，東京.

Hashimoto, H., Ishida, K., Yamasaki, T., Tsujino, Y. and Kozai, T., 2015. Revised radiolarian zonation of the Upper Cretaceous Izumi inter-arc basin (SW Japan). *Revue de Micropaléontologie*, **58**, 29–50.

林　慶一・松川正樹・大平寛人・陳　丕基・甄　金生・伊藤　慎・小荒千人・小畠郁生，2010. 貝形虫およびカイエビ化石の生層序

とジルコン-フィッション・トラック法に基づく篠山層群の年代の再考．地質学雑誌，**116**，283–286.
廣井美邦・田切美智雄，2008．2.6.3　阿武隈山地南部．日本地質学会編，日本地方地質誌3　関東地方，123–126，朝倉書店，東京.
本田　裕，2001．松尾層群の貝類化石．鳥羽の恐竜化石－三重県鳥羽市産恐竜化石調査研究報告書，55–57，三重県立博物館.
Ikegami, N., 2016. The first record of an ornithomimosaurian dinosaur from the Upper Cretaceous of Japan. *Historical Biology*, **28**, 264–269.
池上直樹・岩野英樹・檀原　徹・酒井治孝，2007．上部白亜系御船層群の凝灰岩層のフィッション・トラック年代．地質学雑誌，**113**，127–130.
今岡照喜・飯泉　茂，2009．5．白亜紀－古第三紀の火成活動．日本地質学会編，日本地方地質誌6　中国地方，247–339，朝倉書店，東京.
稲葉土誌典・三瓶良和・永松　健・米倉優太，2009．常磐沖前弧堆積盆地における白亜系海成泥質岩の石油根源岩能力．石油技術協会誌，**74**，560–572.
石田啓祐，1998．四国東部，四万十累層群の岩相層序と放散虫年代．大阪微化石研究会誌，特別号，(11)，189–209.
石田啓祐・橋本寿夫・香西　武，1992．四国東部の下部白亜系羽ノ浦層の岩相層序と生層序―その1．勝浦川地域の日浦ならびに月ヶ谷ルート―．徳島大学教養部紀要（自然科学），**26**，1–57.
石田啓祐・橋本寿夫・香西　武，1996．四国東部の下部白亜系羽ノ浦層の岩相層序と生層序―その2．羽ノ浦丘陵下部白亜系の再検討―．徳島大学総合科学部自然科学研究，**9**，23–47.
石田啓祐・香西　武，2003．四国東部秩父累帯の地帯区分と層序．徳島大学総合科学部自然科学研究，**16**，11–41.
石田啓祐・香西　武，2004．四国東部南部黒瀬川帯（坂州帯）坂州層群（新称）の層序と放散虫年代．大阪微化石研究会誌，特別号，(13)，135–148.
石田啓祐・香西　武，2016．5.3　秩父累帯のジュラ紀－初期白亜紀前弧堆積盆堆積相と白亜紀デルタ－浅海相．日本地質学会編，日本地方地質誌7　四国地方，165–201，朝倉書店，東京.
Ishihara, S. and Orihashi, Y., 2015. Cretaceous granitoids and their zircon U-Pb ages across the south-central part of the Abukuma Highland, Japan. *Island Arc*, **24**, 159–168
石井　醇・田口聡史，1988．埼玉県日高町，高麗川北岸の下部白亜系高岡層．東京学芸大学紀要，4部門，**40**，165–175.
岩田尊夫・平井明夫・稲場土誌典・平野真史，2002．常磐沖堆積盆における石油システム．石油技術協会誌，**67**，62–71.
蟹澤聰史・相田　優，2013．福島県の地質．大地，東北地質調査業協会誌，(53)，3–26.
勘米良亀齢，1977．地向斜堆積物におけるオリストストロームとその認定．地学団体研究会専報，(20)，145–159.
加瀬友喜・小畠郁生・花井哲郎・川上雄司・柳沢忠昭・照井一明，1984. 北部北上山地岩泉地溝帯，沢廻層の時代．岩手県立博物館研究報告，**2**，164–177.
鹿島愛彦，1992．四国西部白亜系の砂岩組成と堆積環境．地質学論集，(38)，291–297.
加藤　誠・藤原嘉樹・箕浦名知男・輿水達司・斉藤真人，1986．北部北上山地の上部白亜系横道層ジルコンのフィッション・トラック年代．地質学雑誌，**92**，821–822.
加藤　進・秋葉文雄・守屋成博，1996，相馬沖海域における上部白亜系・新生界の層序．地質学雑誌，**102**，1039–1051.
川端清司，2001．恐竜化石胚胎層準における松尾層群の放散虫化石．鳥羽の恐竜化石－三重県鳥羽市産恐竜化石調査研究報告書，59–62，三重県立博物館.
木村敏雄，1979．日本列島－その形成に至るまで．第二巻［上］日本列島の骨組みの形成．245–578，古今書院，東京.
北村健治・松川正樹・小畠郁生・松本達郎，1979．赤石山地白亜系戸台層の時代．国立科学博物館専報，(12)，55–64.
小井土由光・原山　智，2006．9．白亜紀－古第三紀火山岩類　大陸東縁の陸弧火山活動，日本地質学会編，日本地方地質誌4　中部地方，270–283，朝倉書店，東京.
小泉　潔，1991．山中地溝帯東半部に分布する白亜系の層序と地質構造．地質学雑誌，**97**，799–815.
小松俊文・安藤寿男，1996．静岡県西部下部白亜系伊平層の層序と堆積環境．地学雑誌，**105**，67–76.
Komatsu, T. and Maeda, H., 2005. Stratigraphy and fossil bivalve assemblages of the mid-Cretaceous Goshoura Group, southwest Japan. *Paleontological Research*, **9**, 119–142.
Komatsu, T., Ono, M., Naruse, H. and Kumagae, T., 2008. Upper Cretaceous depositional environments and bivalve assemblages of far-east Asia: the Himenoura Group, Kyushu, Japan. *Cretaceous Research*, **29**, 489–508.
小坂和夫，1979．関東山地北東縁部付近の白亜紀以降の断層運動史．地質学雑誌，**85**，157–176.
小城祐樹・小松俊文・岩本忠剛・高嶋礼詩・高橋　修・西　弘嗣，2011．天草上島東部に分布する上部白亜系姫浦層群の層序と詳細な地質年代．地質学雑誌，**117**，398–416.
香西　武・石田啓祐，2003．四国中央部黒瀬川帯下部白亜系産の“テチス”－“テチス北方”の混在型群集．鳴門教育大学研究紀要（自然科学編），**18**，19–28.
香西　武・石田啓祐・近藤康生，2004．四国中央部黒瀬川帯美良布層の放散虫年代と二枚貝群集．大阪微化石研究会誌，特別号，(13)，149–165.
Kozai, T., Ishida, K., Hirsch, F., Park, S.O. and Chang, K.H., 2005, Early Cretaceous non-marine mollusc faunas of Japan and Korea. *Cretaceous Research*, **26**, 97–112.
香西　武・田代正之・奥村　清，1991．高知県梼原－東津野地域の秩父帯白亜系．高知大学学術研究報告，**40**，223–237.
公文富士夫・梅澤貴司，2001．岐阜県荘川村，御手洗川支流松山谷に分布する手取層群の堆積相．地球科学，**55**，321–328.
黒木慎二郎・岡田博有・坂井　卓，1995．九州中軸帯上部白亜系御船層群の堆積相と堆積環境．堆積学研究，(41)，65–83.
Kusuhashi, N., Tsutsumi, Y., Saegusa, H., Horie, K., Ikeda, T., Yokoyama, K. and Shiraishi, K., 2013. A new Early Cretaceous eutherian mammal from the Sasayama Group, Hyogo, Japan. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, **280** (1759), 20130142.
前島　渉，2009．3.3.3，外帯の浅海成白亜系，日本地質学会編，日本地方地質誌5　近畿地方，164–169，朝倉書店，東京.
米谷盛寿郎・井上洋子・秋葉文雄，1981．6．鹿島灘．日本の新第三系の生層序及び年代層序に関する基本資料「続編」，13–17.
Matsukawa, M., 1983. Stratigraphy and sedimentary environments of the Sanchu Cretaceous, Japan. *Memoirs of Ehime University, Natural Science, Series D*, **9**, 1–50.
松川正樹・江藤史哉，1987．徳島県勝浦川盆地の下部白亜系の層序と堆積環境―特に秩父帯の南北2帯の白亜系を比較して―．地質学雑誌，**93**，491–511.
松川正樹・福井真木子・小荒井千人・浅倉　努・青野宏美，2007．手取層群で確認された三番目の海進相－岐阜県飛騨市古川町周辺に分布する手取層群に基づいて．地質学雑誌，**105**，147–164.
松川正樹・福井真木子・小河佑太力・田子　豪・小荒井千人・大平寛人・林　慶一，2014．手取層群の分布域東部（富山・岐阜県境）の層序の再検討と神通層群（新称）の提案．地質学雑誌，**113**，417–437.
Matsukawa, M., Ito, M., Nishida, N., Koarai, K., Lockley, M. G. and Nichols, D. J., 2006. The Cretaceous Tetori biota in Japan and its evolutionary significance for terrestrial ecosystems in Asia. *Cretaceous Research*, **27**, 199–225.
Matsukawa, M. and Obata, I., 2012. Santonian fossils from the Upper Cretaceous Atokura Formation in Kwanto Mountains, Japan, and their significances. *Bulletin of Tokyo Gakugei University, Division of Natural Sciences*, **64**, 143–152.
松川正樹・柴田健一郎・小荒井千人，2015．群馬県の白亜系戸倉沢層の軟体動物化石群集とそれに基づく手取層群との対比．東京学芸大学紀要　自然科学系，**67**，45–53.

松川正樹・冨島耕大郎，2009．山中白亜系の層序と堆積環境に関するMatsukawa（1983）以後の研究の評価．東京学芸大学紀要自然科学系，**61**，119–144.
松本達郎・小畠郁生・田代正之・太田喜久・田村　実・松川正樹・田中　均，1982．本邦白亜系における海成・非海成層の対比．化石，(31)，1–26.
Misaki, A. and Maeda, H., 2009. Lithostratigraphy and biostratigraphy of the Campanian-Maastrichtian Toyajo Formation in Wakayama, southwestern Japan. *Cretaceous Research*, **30**, 1398–1414.
三宅由洋・田中　均・高橋　努・赤星征典・島田俊祐，2015．熊本県八代山地日奈久帯下部白亜系先外和泉層群の層序と構造．地質学雑誌，**121**，447–462.
Miyazaki, K., Ozaki, M., Saito, M. and Toshimitsu, S., 2016. 2e The Kyushu-Ryukyu Arc. *In* Moreno, T., Wallis, S. R., Kojima, T. and Gibbons, W., *eds*., *Geology of Japan*, 139–174, the Geological Society of London.
Moreno, T., Wallis, S., Kojima, T. and Gibbons, W., *eds*., 2016. *The Geology of Japan*. 522p., The Geological Society, London.
村田明弘，2016．5　秩父帯　5.1　秩父帯の付加コンプレックス・陸棚層．日本地質学会編，日本地方地質誌7　四国地方，101–151，朝倉書店，東京.
中江　訓，2010．4.3　シルル系～白亜系陸棚成・非海成堆積物，4.3.1　関門層群．日本地質学会編，日本地方地質誌8　九州・沖縄地方，222–227，朝倉書店，東京.
中畑浩基・磯崎行雄・小坂和夫・坂田周平・平田岳史，2015．関東山地北縁，上部白亜系跡倉層・栃谷層の砕屑性ジルコン年代パタン―飛騨帯と中央構造線南縁との弧横断方向の関連―．地学雑誌，**124**，633–656.
中畑浩基・磯崎行雄・堤　之恭，2016．四国西部の3種の浅海成白亜系と砕屑性ジルコンU-Pb年代スペクトル－白亜紀日本の前弧・背弧砂岩の識別．地学雑誌，**125**，717–745.
Nakajima, T., Tahahashi, M., Imaoka, T. and Shimura, T. 2016, Granitic rocks. *In* Moreno, T., Wallis, S., Kojima, T. and Gibbons, W., *eds*., *The Geology of Japan*, 251–272, the Geological Society, London,
奈良親芳・竹谷陽二郎・箕浦幸治，1994．南部北上山地気仙沼・唐桑地域のジュラ系～白亜系層序．福島県立博物館紀要，(8)，29–63.
日本地質学会編，2006–2016．日本地方地質誌．全8巻，朝倉書店，東京.
日本の地質刊行委員会，1986–1992．日本の地質．全9巻，共立出版，東京.
日本の地質増補版編集委員会編，2005．日本の地質　増補版（CD-ROM付）．共立出版，東京，384p.
Niitsuma, N., 2004. Japan Trench and tectonics of the Japanese Island Arcs. *Island Arc*, **13**, 306–317.
Noda, A. and Toshimitsu, S., 2009. Backward stacking of submarine channel-fan successions controlled by strike-slip faulting: the Izumi Group (Cretaceous), southwest Japan. *Lithosphere*, **1**, 41–59.
野田雅之，1969．九州大野川層群の化石層序学的研究．九州大学理学部研究報告（地質学），**10**，1–10.
野田雅之，1994．九州田野層群ならびに大野川層群より産出する白亜系イノセラムス．大分地質学会誌特別号，(1)，1–49.
小畠郁生，1988．東北日本の白亜系．地球科学，**42**，385–395.
Obata, I., Maiya, S., Inoue, Y. and Matsukawa, M., 1982. Integrated mega- and micro-fossil biostratigraphy of the lower Cretaceous Choshi Group, Japan. *Bulletin of National Science Musuem*, **8**, 145–179.
Obata, I. and Matsukawa, M., 2009. Supplementary description of the ammonoids from the Barremian to the Albian of the Choshi Peninsula, Japan. *Cretaceous Research*, **30**, 253–269.
小畠郁生・坂　幸恭・松川正樹・加瀬友喜・田中啓策，1979．志摩半島白亜系の時代論．国立科学博物館専報，(12)，73–82.
Okawa, H., Orihashi, Y., Yamamoto, K., Hirata, T., Sano, S., Ishizaki, Y. Kouchi, Y., Yanai, S. and Otoh, S., 2013. Detrital zircon geochronology of the Silurian-Lower Cretaceous continuous succession of the South Kitakami Belt, Northeast Japan. *Memoir of the Fukui Prefectural Dinosaur Museum*, (12), 35–78.
小貫義男・森　啓，1961，南部北上山地，岩手県大船渡地方の地質．地質学雑誌，**67**，641–654.
大澤正博・中西　敏・棚橋　学・小田　浩，2002．三陸～日高沖前弧堆積盆の地質構造・構造発達史とガス鉱床ポテンシャル．石油技術協会誌，**67**，38–51.
大藤　茂・下條将徳：青木一勝・中間隆晃・丸山茂徳・柳井修一，2010．砂質片岩中のジルコンの年代分布に基づく三波川帯再区分の試み．地学雑誌，**119**，333–346.
Saegusa, H. and Ikeda, T., 2014. A new titanosauriform sauropod (Dinosauria: Saurischia) from the Lower Cretaceous of Hyogo, Japan. *Zootaxa*, **3848**, 1–66.
斎藤　眞・宮崎一博・利光誠一・星住英夫，2005．砥用地域の地質．地域地質研究報告（5万分の1地質図幅）．産総研地質調査総合センター，218p.
坂　幸恭，2001．志摩半島の秩父帯．鳥羽の恐竜化石－三重県鳥羽市産恐竜化石調査研究報告書，33–47，三重県立博物館.
坂　幸恭・手塚茂雄・岡田洋一・市川昌則・高木秀雄，1988．蛇紋岩メランジェとしての志摩半島，五ヶ所－安楽島構造線．地質学雑誌，**94**，19–34.
酒井治孝，1988. 岬オリストストローム帯の成因と高千穂変動の再検討．地質学雑誌，**94**，945–961.
Sano, S., 2015. New view of the stratigraphy of the Tetori Group in Central Japan. *Memoir of the Fukui Prefectural Dinosaur Museum*, (14), 25–61.
Sano, S. and Yabe, A., 2016. Fauna and flora of Early Cretaceous Tetori Group in Central Japan: the clues to revealing the evolution of Cretaceous terrestrial ecosystem in East Asia. *Palaeoworld*, **26**, 253–267.
佐藤時幸，1986．基礎試錐「気仙沼沖」より産出した白亜紀石灰質ナンノ化石群集とその時代．石油技術協会誌，**51**，9–12.
柴田正輝・尤　海魯・東　洋一，2017．日本の恐竜研究はどこまできたのか？：東・東南アジアの前期白亜紀恐竜フォーナの比較．化石，(101)，23–41.
徐　相達・坂井　卓・岡田　博，1992．下部白亜系関門層群砂岩の岩石学的性質と起源．地質学論集，(38)，155–169.
須鎗和巳・石田啓祐，1985．鳥巣層群の放散虫年代．徳島大学教養部紀要（自然科学），**18**，83–101.
高橋雅紀，2006．日本海拡大時の東北日本弧と西南日本弧の境界．地質学雑誌，**112**，14–32.
高橋雅紀，2009．西南日本外帯前期中新世形成仮説．日本地質学会第116年学術大会講演要旨，S–22，12.
高橋雅紀・安藤寿男，2016．弧－海溝系の視点に基づく白亜紀陸弧の配置．化石，(100)，45–59.
高橋　努・田中　均，2003．大分県津久見市無垢島の下部白亜系．熊本地学会誌，(133)，2–11.
Takano, O. and Tsuji, T., 2017. Fluvial to bay sequence stratigraphy and seismic facies of the Cretaceous to Paleogene successions in the MITI Sanriku-oki well and the vicinities, the Sanriku-oki forearc basin, northeast Japan. *Island Arc*, **26**, DOI: 10.1111/iar.12184.
武田賢治・槇坂　敏・板谷徹丸・西村祐二郎，1993．四国西端部三瓶地域の真穴帯―構成と地体構造的位置づけ―．地質学雑誌，**99**，255–279.
Takei, K., 1985. Development of the Cretaceous sedimentary basin of the Sanchu Graben, Kanto Mountains, Japan. *Journal of Geoscience, Osaka City University*, **28**, 1–44.
竹谷陽二郎，2013．相馬中村層群小山田層から産出した最下部白亜系放散虫化石群集．福島県立博物館紀要，(27)，1–24.
竹谷陽二郎・遅沢壮一，2013．中部ジュラ系～下部白亜系相馬中村層群の層序と化石．地質学雑誌，**119**，68–81.
竹内 誠・大川真弘・川原健太郎・冨田　覚・横田秀晴・常盤哲也・古川竜太，2015．ジルコンU-Pb年代からみた富山県北東部白亜系陸成層の再定義．地質学雑誌，**121**，1–17.

滝沢文教，1975．南部北上牡鹿半島の白亜紀層の堆積．地質調査所月報，**26**，267–305.

棚橋　学・大澤正博・中西　敏・小田　浩・佐藤俊二・畑中　実・鈴木祐一郎・中嶋健・徳橋秀一（編），2005．燃料資源地質図「三陸沖」．数値地質図FR-1，地質調査総合センター．

田中　均，2005．秩父累帯下部白亜系．日本の地質増補版編集委員会編，日本の地質増補版，324–325，共立出版，東京．

田中　均，2010．4　中・古生界　4.3.4　黒瀬川帯のシルル系～白亜系正常堆積物　g．白亜系．日本地質学会編，日本地方地質誌8　九州・沖縄地方，251–255，朝倉書店，東京．

田中　均・一瀬めぐみ・島田礼二・小林るみ・中村育栄，1998．八代山地東部の下部白亜系物部川層群相当層．熊本地学会誌，(119)，2–10.

田中　均・一瀬めぐみ・高橋　努・宮本隆実・小松俊文，2000．静岡県西部下部白亜系伊平層の層序と化石相．熊本大学教育学部紀要，自然科学，(49)，73–86.

田中　均・香西　武・田代正之，1984．高知県物部村日比原川流域の下部白亜系の層序．高知大学学術研究報告，**32**，215–223.

田中　均・尾上哲治・一瀬めぐみ・高橋　努，1999．鹿児島県川内市西方の中生界．熊本大学教育学部紀要，(48)，119–132.

田中　均・高橋　努・内田暁雄・三宅由洋・島田駿祐・赤星征典・福本祥大，2012．大分県秩父帯（小坂亜帯）白亜系の衝上ナップ．熊本大学教育学部紀要，自然科学，(61)，29–38.

Tanaka, J., 1989. Sedimentary facies of the Izumi Group of the Cretaceous Izumi turbidite system, Southwest Japan: an example of turbidite sedimentation in an elongated strike-slip tectonic basin. *Journal of Geological Society of Japan*, **95**, 119–128.

田中啓策，1970．茨城県那珂湊海岸の上部白亜紀タービダイト層．地質調査所月報，**21**，579–593.

田代正之，1985．四国秩父帯の白亜系―下部白亜系の横ずれ断層について―．化石，(38)，23–35.

田代正之，1994．二枚貝群集から観た白亜系のテクトニズム．高知大学学術研究報告，**43**，43–54.

Tashiro, M. and Kozai, T., 1982. Bivalve fossils from the Upper Cretaceous of the Monobe area, Shikoku. *Palaeontological Society of Japan, Special Papers*, (25), 69–92.

田代正之・池田雅久，1987．熊本県八代山地の下部白亜系．高知大学学術研究報告，**36**，71–91.

田代正之・香西　武，1989．二枚貝フォーナからみた東北日本と西南日本の白亜系の関連について．地球科学，**43**，129–139.

田代正之・松田智子，1984．鹿児島県獅子島の御所浦層群の地質と層序．高知大学学術研究報告，**34**，11–20.

Tashiro, M. and Matsuda, T., 1982. The bivalve fossils from the Cretaceous Fukigoshi Formation of the Monobe area, Shikoku. *Transactions and Proceedings of the Palaeontological Society of Japan, New Series*, (127), 393–419.

田代正之・野田雅之，1973．九州のいわゆる姫浦層群の地質時代．地質学雑誌，**79**，465–480.

田代正之・柳澤秀樹・北村健治，1986．赤石山地戸台地域から領石フォーナの発見．地質学雑誌，**92**，757–759.

寺岡易司，1970．九州大野川盆地付近の白亜紀層．地質調査所報告，(237)，87p.

利光誠一，2007．伊野地域の地質．第13章　白亜紀正常堆積物，地域地質研究報告（5万分の1地質図幅）．産総研地質調査総合センター，72–85.

利光誠一・松本達郎・野田雅之・西田民雄・米谷盛寿郎，1995．本邦上部白亜系の大型化石－微化石層序および古地磁気層序の統合に向けて．地質学雑誌，**101**，19–29.

土谷信高・武田朋代・足立達朗・中野伸彦・小山内康人・足立佳子，2015．北上山地の前期白亜紀アダカイト質火成活動とテクトニクス．岩石鉱物科学，**44**，69–90.

梅津慶太・平山　廉・薗田哲平・高嶋礼詩，2013．岩手県に分布する白亜系宮古層群および久慈層群の浅海～非海成堆積物と後期白亜紀陸成脊椎動物群．地質学雑誌，**119**，補遺，82–96.

梅津慶太・栗田裕司，2007．岩手県北東部，上部白亜系久慈層群の花粉化石層序と年代．石油技術協会誌，**72**，215–223.

渡辺嘉士・浅野浩正・伊能正行・北村恵美子・高橋　修・益子進一・宮地竜彦・石井　醇，1990．関東山地北東部の栃谷層から後期白亜紀化石の産出．地質学雑誌，**96**，683–685.

山北　聡・大藤　茂，2000．中央構造線の後期白亜紀左横すべり変位量の推定とその西南日本の地帯配列における意味．地学団体研究会専報，(49)，93–104.

八尾　昭編，2009．3．中・古生界．3.4　白亜紀～古第三紀火成岩類．日本地質学会編，日本地方地質誌5　近畿地方，173–192，朝倉書店，東京．

Yokoyama, K., Shigeoka, M., Otomo, Y., Tokuno, K. and Tsutsumi, Y., 2016. Uraninite and thorite ages of around 400 granitoids in the Japanese Islands. *Memoirs of the National Museum of Nature and Science*, (51), 1–24.

吉川武憲・安藤寿男・香西　武・近藤康生，2011．香川県まんのう地域に分布する上部白亜系和泉層群北縁相の大規模カキ礁．地質学雑誌，**117**，523–537.

吉川敏之，1993.兵庫県篠山地域の下部白亜系篠山層群の層序と構造．地質学雑誌，**99**，29–38.

吉冨健一，2009．2　中・古生界　2.7.3　白亜系　b．関門層群．日本地質学会編，日本地方地質誌6　中国地方，102–105，朝倉書店，東京．

吉原一城・小松俊文，2006．静岡県北部に露出する白亜系水窪層の地質と軟体動物化石．地学雑誌，**115**，626–637.

（2016年4月30日受付，2017年7月1日受理）