

重鉱物分析の堆積学的解析への適用による新しい展開
—新潟堆積盆東縁部の前期鮮新世タービダイト砂岩への適用例—

徳橋秀一*

TOKUHASHI Shuichi (1994) New approach based on the application of heavy mineral analysis to sedimentological analysis : an example applied to the early Pliocene turbidite sandstones, eastern margin of the Niigata sedimentary basin, central Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 45 (8/9), p. 451-470, 15figs.

Abstract : In the southern part of the Higashiyama hills, at the eastern margin of the Niigata sedimentary basin, are widely outcropped the late Miocene to Pliocene, bathyal-to-shallow-marine, upward-shallowing sedimentary formations under the control of the north-south trending folding structures. Recent detailed stratigraphic works based on many tuff key beds revealed the lateral change of sedimentary facies from deep-marine one to shallow-marine one eastward. Detailed vertical and lateral heavy mineral analysis of the early Pliocene turbidite sandstones in the Kawaguchi formation, attaining 850 meters in maximum thickness, disclosed that heavy mineral composition of the turbidite sandstones in the eastern half of the study area are completely different from that in the western half of the area. The results of heavy mineral analysis and sedimentological analysis convinced the new conclusion that two kinds of turbidite sandstones, shallow-marine shelf turbidite sandstones in the eastern half and deep-marine submarine-fan turbidite sandstones in the western half, are concurrently formed in the study area during the early Pliocene age. The present study reveals that positive combination of heavy mineral analysis with sedimentological analysis leads to the new fact that heavy mineral analysis is a useful tool not only for the estimation of provenance but also for the analysis of sedimentary process itself. It is also stressed that heavy mineral analysis can be expected to play an important role for the exploration of the stratigraphic traps, because heavy mineral composition works as a good marker which characterizes the individual sandstone bodies occupying the specific spaces as shown in this paper.

要 旨

新第三系新潟含油堆積盆の東縁部に位置する新潟県東山南部域には、荒谷層、川口層、牛ヶ首層、白岩層、和南津層といった中新世後期から鮮新世の半深海から浅海成の地層が南北性の褶曲構造に規制されながら広く分布している。本地域では多数の凝灰岩鍵層を用いたこれまでの詳細な層序学的研究により、岩相(累層)境界と鍵層(時間)面が大きく斜交しており、東方へより浅い堆積環境下で形成された岩相に変化していくのが明らかにされている。タービダイト砂岩層から成る前期鮮新世川口層(最大層厚約850m)のタービダイト砂岩を対象に上下および横方向に広域的かつ詳細な重鉱物分析を行ったと

ころ、東部域の上部川口層タービダイト砂岩と西部域の上部川口層タービダイト砂岩とでは、その組成が基本的に異なっていることが明らかになり、その結果と堆積学的な解析結果とから、上部川口層形成時には、東部域には浅海成陸棚タービダイト砂岩が、西部域には半深海成海底扇状地タービダイト砂岩が同時に形成されていたことが明らかになった。このように重鉱物分析は、単に供給源地域の情報をもたらすのみでなく、堆積学的解析手法と積極的に結合させることにより、堆積作用そのものの解明にも全く新しい事実や解釈をもたらすことを示している。また重鉱物組成は、一定の空間を占める砂岩体の特徴づける安定した指標としても大変有効である

* 燃料資源部

Keywords : heavy mineral analysis, stratigraphic trap, turbidite sandstone, Niigata sedimentary basin

ことが明らかになり、今後複数の砂岩体相互の成因的關係の解明や砂岩体の空間的予測技術の確立に、したがって、石油や天然ガスの層位トラップ型鉱床の探鉱にも応用可能なことが指摘される。

1. はじめに

本邦における堆積岩の重鉱物分析は、1950年代から1960年代には各地で積極的に適用され多くのデータが蓄積されたが、堆積学が発達し堆積相解析が盛んになってきた1970年代以降はやや下火になり、細々と続けられてきた感がつよい(佐藤, 1971; 徳橋, 1990, 1992a)。一般に堆積学的解析は、堆積相の種類の記事と相互の關係の解明、堆積構造や古流向の解析、生痕や化石などの古生物学的情報の解析などの手法を使って堆積物のその場での堆積環境や堆積様式の解析・復元に用いられるのに対して、重鉱物分析は、砂岩などの堆積物をそこにもたらした供給源の岩質・地質系統や位置の解析・推定に用いられることが多い。その結果、両者はそれぞれ別々に用いられ、個別に研究されることが多い。本論では、両者の手法の成果を積極的に結合させることによって、新しい事実、新しい堆積様式を解明しうることを、新潟県東山南部に分布する前期鮮新世のタービダイト砂岩(川口層)を例に紹介する。川口層を対象とした著者の堆積学的・鉱物学的研究成果については、最近いくつかの論文で段階的に公表してきたが(徳橋, 1990, 1991, 1992b)、本論では現段階でのこれまでの成果を総括することにする。

2. 新潟県東山南部地域の層序・構造

新潟県小千谷市東方に位置する東山南部域は、新潟新第三系堆積盆の東縁部に位置し、後期中新世から更新世の堆積岩類が、荒谷背斜を中心とする北北東-南南西から南北方向の背斜・向斜構造に規制されつつ分布している。調査域の東北部には、後期中新世の鳥屋が峰安山岩質火山岩体(Tv)が分布する(Figs. 2-4)。調査域東縁部に位置する破間川沿いには、新発田一小出線が想定され、それより東方では、基盤岩類(中生代の堆積岩類とそれを貫く白亜紀後期の花崗岩類)を覆うかたちで、中新世前期から中期の堆積岩や火山砕屑岩類が薄く分布するにすぎない(柳沢ほか, 1986; Fig. 1)。

荒谷背斜の周辺には、下位より、主に暗灰色の泥岩から成る上部中新統の荒谷層、タービダイト砂岩と泥岩の互層から成る前期鮮新統の川口層、主に暗灰色から青灰色の泥岩から成る前期-中期鮮新統の牛ヶ首層、主に生痕の発達した砂質シルト岩から成る前期-中期鮮新統の

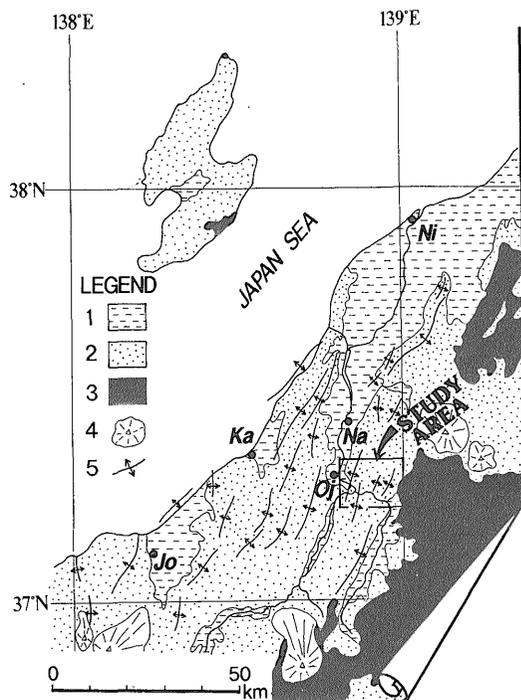


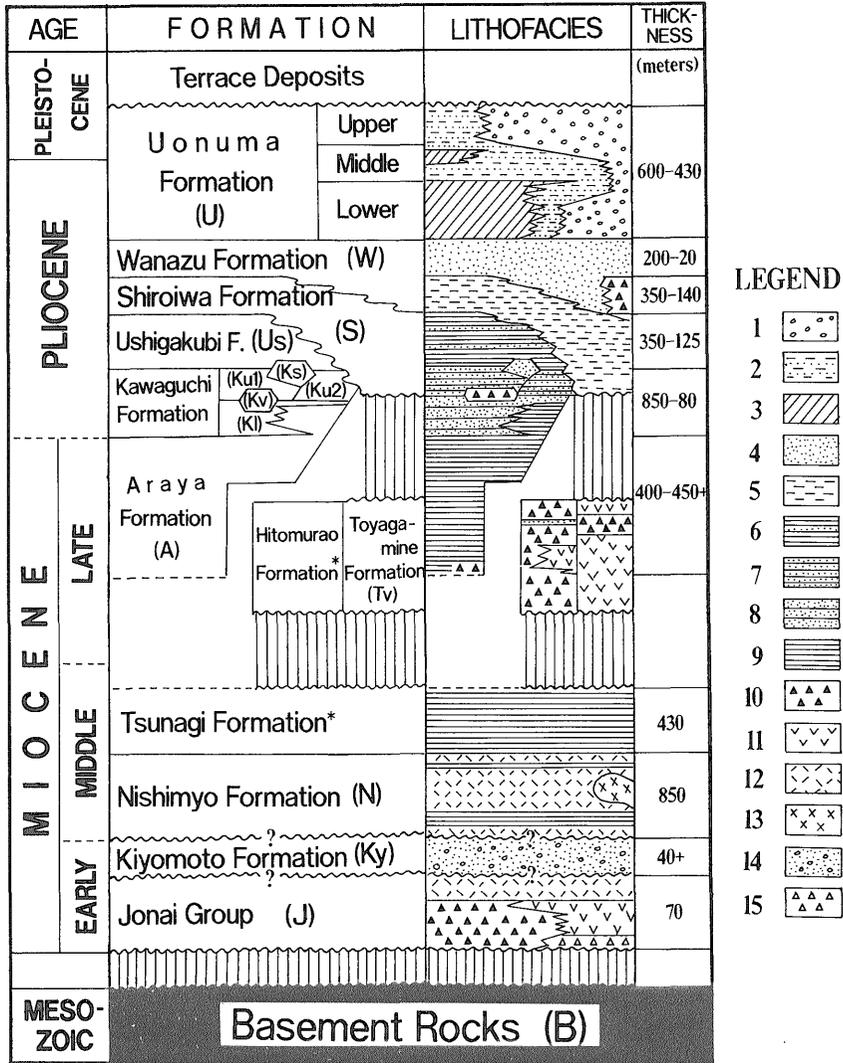
Fig.1 Index map of the study area.

1. Holocene fluvial deposits, 2. Miocene to Pleistocene sedimentary and volcanic rocks, 3. base mentrocks(Mesozoic sedimentary and plutonic rocks), 4. Late Quaternary volcanoes, 5. anticlinal axes.

Ni : Niigata, Ka : Kashiwazaki, Na : Nagaoka, Oj : Ojiya, Jo : Joetsu.

白岩層、浅海性の砂岩から成る前期-中期鮮新統の和南津層、主に陸水性から淡水性の堆積岩類から成る後期鮮新統から更新統の魚沼層が分布する。このうち川口層は、タービダイト砂岩が優勢な砂岩泥岩互層から成る下部と泥岩が優勢な砂岩泥岩互層から成る上部に区分できる(徳橋, 1985; 柳沢ほか, 1986; Figs. 2-4)。

本地域を含む東山地域の基本的な層序と地質構造については、石油の探鉱に関連した戦前・戦後の詳細な地表調査によりほぼ明らかにされ(大村, 1927; Iki, 1922; 金原, 1940; 池辺・細井, 1950; ほか)、それをもとに主にタービダイト砂岩を対象とした先駆的・予察的な堆積学的・鉱物学的研究が佐々木・牛島(1966, 1968)によってなされた。しかしそれ以後は、島田ほか(1974)などの層序学的研究を除くと、川口層を対象とした徳橋(1985)の研究まで、そうした堆積学的・鉱物学的研究は本地域ではほとんどなされてこなかったのが実情である。



* Not distributed in the study area.

Fig.2 Stratigraphy and lithology in the study area. Modified from Yanagisawa *et al.* (1986).

1. gravel, 2. sand and silt, 3. marine silt and sand, 4. sand, 5. sandy silt, 6. mudstone with intercalation of sandstone, 7. mudstone-dominated alternation, 8. sandstone-dominated alternation, 9. mudstone, 10. andesitic and dacitic volcanic breccia, 11. andesitic and dacitic lava, 12. dacitic pyroclastic rocks, 13. rhyolitic lava, 14. sandstone and conglomerate, 15. andesitic pyroclastic rocks

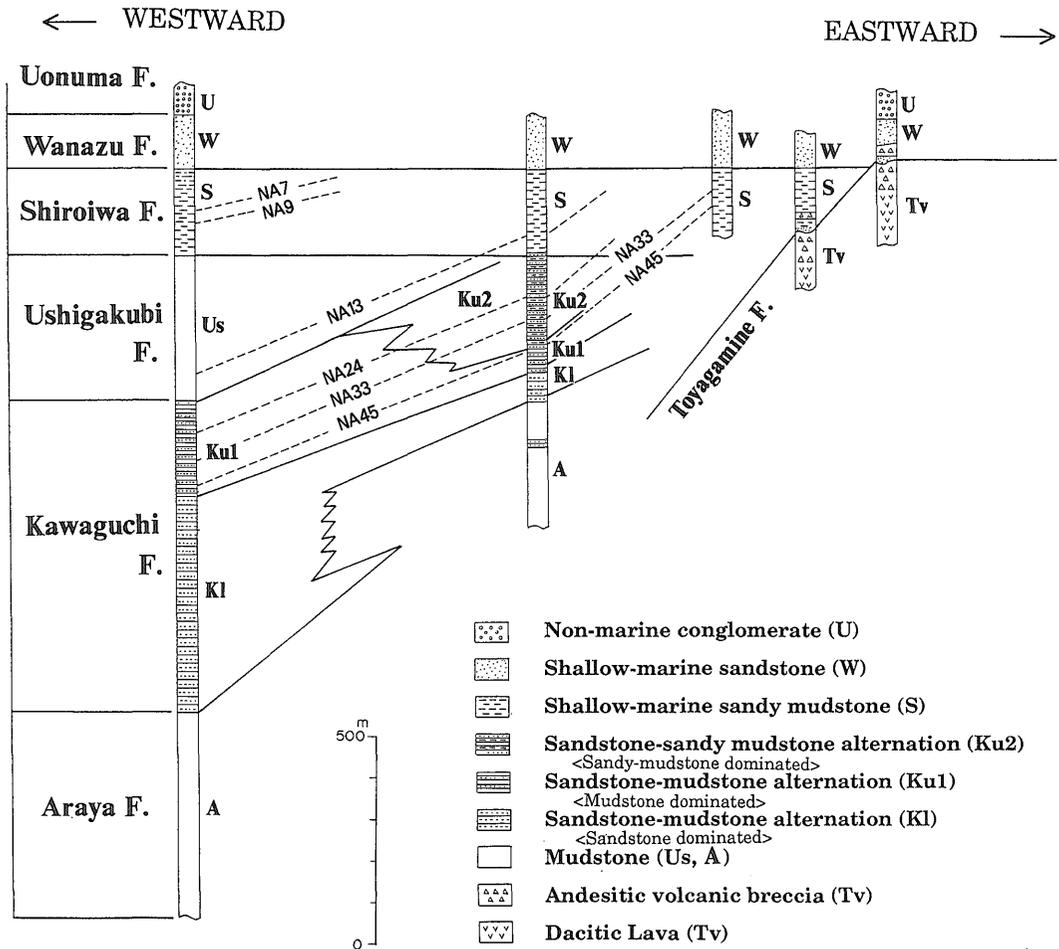


Fig. 3 Lateral change of lithofacies along the east-west direction, Modified from Yanagisawa *et al.* (1986).

3. 川口層の概要

東山南部域の荒谷層から和南津層にかけては、多数の凝灰岩薄層が挟まれ鍵層として大変有用であることから、系統的な名称がつけられている。これらの凝灰岩鍵層は、最初徳橋(1985)が東山南部の西部域で設定し、柳沢ほか(1986)ではそれらを東山南部全域に追跡した。その結果、本地域では、岩相(累層)境界と凝灰岩鍵層(時間面)とが東西で大きく斜交し、同一凝灰岩鍵層面では東側へ浅い岩相(上位の累層)へと変化していくこと、牛ヶ首層は西部域にのみ分布していることが明らかとなった(Figs. 2-4)。

西部域(荒谷背斜両翼部)の川口層は、数メートル以上の厚層理タービダイト砂岩を頻繁に挟む砂岩優勢な砂岩泥岩互層から成る下部川口層(K1)と数メートル以下の

タービダイト砂岩を挟み泥岩優勢な砂岩泥岩互層から成る上部川口層(Ku)に区分される。そのうち川口層下部は荒谷背斜の東翼で急激に薄くなり、実質的には西部域にのみ分布している。上部・下部を問わず、川口層中のタービダイト砂岩は上下に密集して産出する傾向が強く、徳橋(1985)は、このようにまとまって産出する部分を堆積舌状体(DT: depositional tongue)と名づけている。徳橋(1985)は、川口層上部に挟まれる多数の凝灰岩鍵層を用いて、川口層上部の堆積舌状体や個々のタービダイト砂岩単層の南北方向への連続性を検討した結果、連続性に大変乏しいことを明らかにした。また徳橋(1985)は、川口層のタービダイト砂岩の古流向が基本的に東から西であることを明らかにするとともに、川口層は、堆積舌状体を南北に移動させながら堆積した古海底扇状地堆積物であろうと推察した。

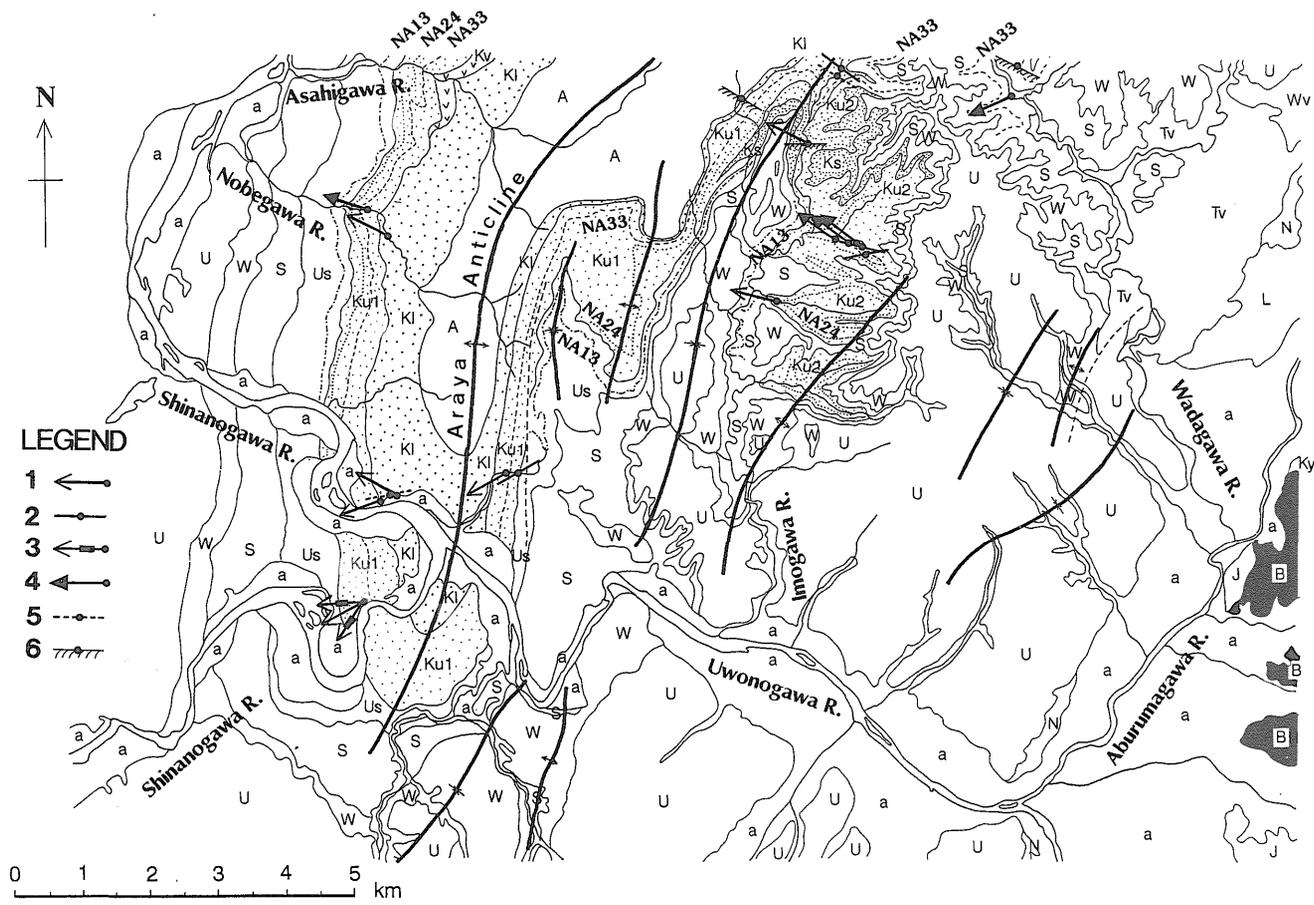


Fig.4 Geologic map of the study area and paleocurrent directions measured from various sedimentary structures of the turbidite sandstones in the Kawaguchi formation. Geologic map is modified from Yanagisawa *et al.* (1986).

1. sole mark, 2. sole mark (Sense is unknown.), 3. preferred orientation of gravels in the sandstone beds, 4. current ripple laminations, 5. preferred orientation of wood fragments in the sandstone beds (Sense is unknown.), 6. Orientation of the wall of small channels (Sense is unknown.).
 a : Holocene fluvial deposits, L : Pleistocene landslide deposits, U : Uonuma formation, W : Wanazu formation, Us : Ushigakubi formation, Ku1 : Upper Kawaguchi formation in the western half of the study area, Kl : Lower Kawaguchi formation, A : Araya formation, Tv : Toyagamine formation, N : Nishimyo formation, Ky : Kiyomoto formation, J : Jonai group, B : Pre-Tertiary basement rocks.

一方柳沢ほか(1986)は、東山南部域全体の調査から、西部と東部で川口層上部の岩相が少し異なることから、西部域の岩相をKu1、東部域のそれをKu2として区別して扱った(Figs. 2-4)。西部域のKu1は、タービダイト砂岩と均質な泥岩の互層で、断面で生痕が観察されることは比較的稀である。タービダイト砂岩の厚さは1メートル以上あることはごく普通であり、堆積舌状体を形成しながら産出する傾向が強い(Fig. 5)。一方東部域のKu2では、タービダイト砂岩と不均質な砂質泥岩の互層であり、しばしば断面で生痕が観察される(Fig. 6)。タービダイト砂岩の厚さが1メートルを越すことは、比較的稀であり、密集して堆積舌状体を形成するという傾向も弱い。しかし、これら両者の岩相の境界は漸移的である。

岩本(1989a, b)は、東部域の砂岩砂質泥岩互層(Ku2)中の砂岩を陸棚上に堆積したストーム堆積物と解釈している。一方徳橋(1992b, 1993b)は、東部域の砂岩砂質泥岩(Ku2)中の砂岩には、ストーム堆積物に特徴的なハンモッキー斜交層理(HCS: hummocky cross stratification)が特に観察されないことや基本的にはタービダイト砂岩と似たような堆積構造を有することか

ら、これらの砂岩は暴風時波浪限界(storm wave base)以深で形成された浅海成(陸棚)タービダイト砂岩であろうと考えた。このように上部川口層堆積時には、調査域の西部域では海底扇状地タービダイト砂岩が東部域では陸棚タービダイト砂岩がといったように、堆積環境と特徴を異にする2種類のタービダイト砂岩が東西に並存して形成されていたことになる。しかし、両者の直接的・成因的な関係あるいは両者の堆積様式については、堆積相や古流向の解析といった従来の堆積学的手法のみではこれ以上の説明は不可能である。

4. 重鉱物分析の適用

東山南部の西部域(荒谷背斜両翼部)に分布する川口層(K1, Ku1)中のタービダイト砂岩の古流向が東から西であることは、徳橋(1985)によって明らかにされたが、東山南部の東部域に分布する上部川口層(Ku2)中のタービダイト砂岩の古流向を検討するとやはりここでも東から西への古流向が得られた(Fig. 4)。そこで東西両地域に分布するこれらのタービダイト砂岩の間に成因的關係があるのかどうかを検討するためにこれらの砂岩の重鉱物分析を行った。



Fig. 5 Alternation of turbidite sandstone and mudstone in the upper Kawaguchi formation in the western part of the study area. Locality is at 1g in Fig. 10.

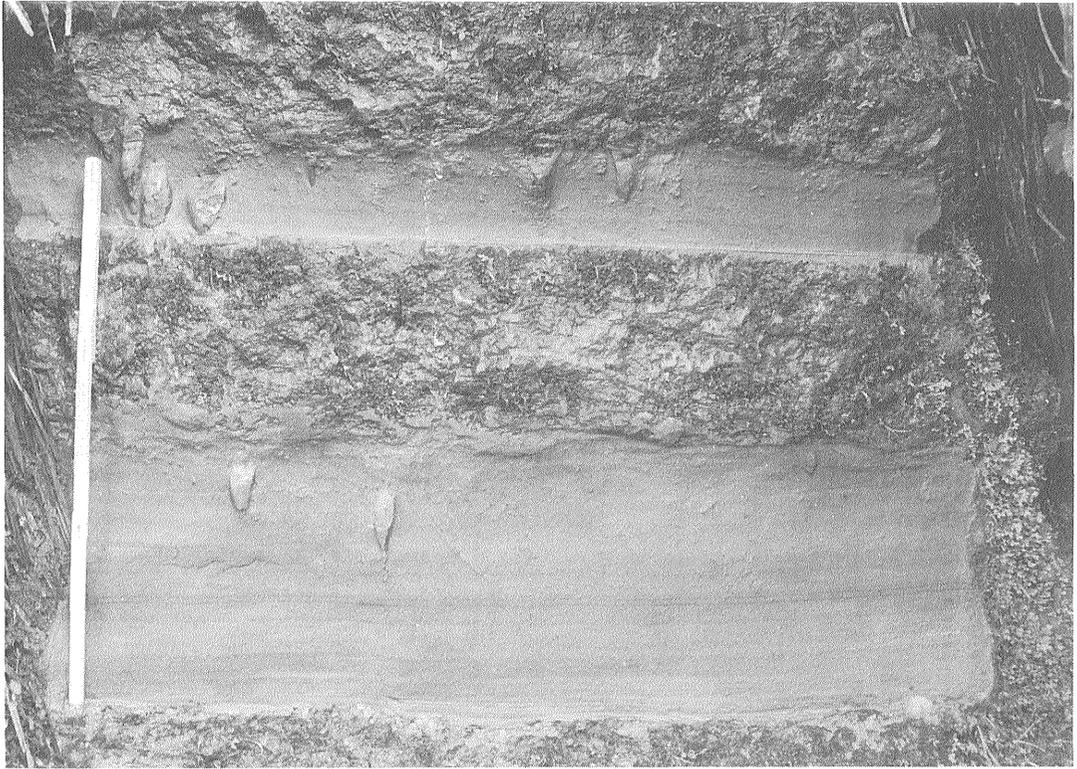


Fig.6 Alternation of turbidite sandstone and sandy mudstone in the upper Kawaguchi formation in the western part of the study area. Locality is at 1b in Fig.10.

4.1 野辺川における垂直方向の重鉱物分析

東山南部の西部域のタイプルートとされる野辺川沿いには、荒谷層から和南津層にかけての各累層が順序よく露出していることから、まず、これらの累層に含まれる砂岩について重鉱物分析を行った。試料の採取地点をFig.7に、また野辺川における模式柱状図と試料の採取層準をFig.8に示す。重鉱物の分析手法は徳橋(1990, 1992a)や佐藤・鈴木(1991)に示した通りである。重鉱物分析の結果をFig.9に示す。重鉱物分析を行った試料のうち2点(試料番号27, 28)は凝灰(角礫)岩であるが、他はすべて砂岩である。これらの砂岩のうち、和南津層から得られた試料(試料番号1-6)は浅海成の砂岩であるが、他の試料はすべてタービダイト砂岩である。Fig.9に示したように、野辺川に分布する砂岩の重鉱物組成は次のようないくつかのタイプに分類することが可能である。

Type I : 不透明鉱物が大部分を占め、残りをガーネット、ジルコン、エピドート、ゾイサイトなどが占め、

一部ホルンブレンドが含まれることがある(Opaque >> Gar, Zir, Epi, Zoi, Hor)。このタイプの砂岩は、最下位の荒谷層最上部に含まれるタービダイト砂岩及び下部川口層に含まれるタービダイト砂岩の一部、及び牛ヶ首層のタービダイト砂岩の一部に認められる。

Type II : ホルンブレンドが大部分を占め、残りをホルンブレンドを除いたType Iの鉱物がほぼType Iの場合と同じような組み合わせと割合で占めている(Hor > Opaque >> Gar, Zir, Epi, Zoi)。上部川口層のタービダイト砂岩はほとんどがこのタイプの砂岩である。

Type I-II : 不透明鉱物が最も多い点は、Type Iと似ているが、その次にホルンブレンドが多く、残りをガーネット、ジルコン、エピドート、ゾイサイトなどType Iと同じ種類の鉱物が占めている(Opaque > Hor > Gar, Zir, Epi, Zoi)。このタイプはType IとType IIの中間のタイプである。このタイプの砂岩は、下部川口層のタービダイト砂岩の一部及び牛ヶ首層のタービダイト砂岩の一部に認められる。

Type III : ハイパーシオン、オージャイト、ホルンブレ

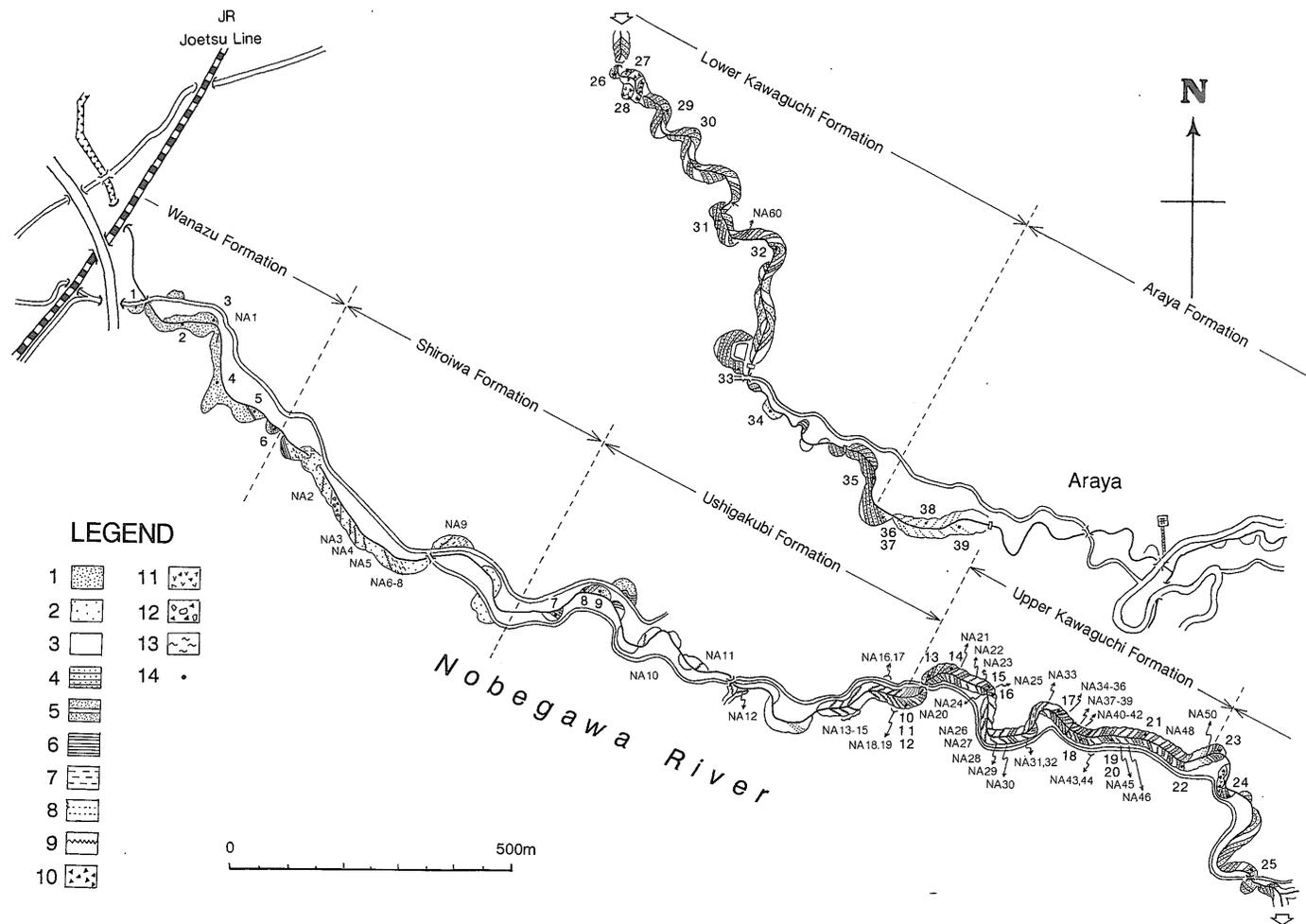


Fig.7 Exposure map showing sampling points along the Nobegawa River. Arabic numbers along the river show the sampling points and sample numbers in Fig.9.

1, sandstone, 2, sandy mudstone, 3, massive mudstone, 4, sandstone-dominated alternation, 5, intercalation of thin-bedded mudstone bed in massive sandstone, 6, alternation of thin-bedded sand stone and mudstone, 7, unclear alternation of thin-bedded sandstone and sandy mudstone, 8, sporadic intercalation of thin-bedded sandstone in massive mudstone, 9, intercalation of tuff marker, 10, inter calation of tuff marker, 11, tuff or tuff breccia, 12, pebbly mudstone with outside volcanic breccia and mudstone, 13, slumped deposits, 14, sampling point.

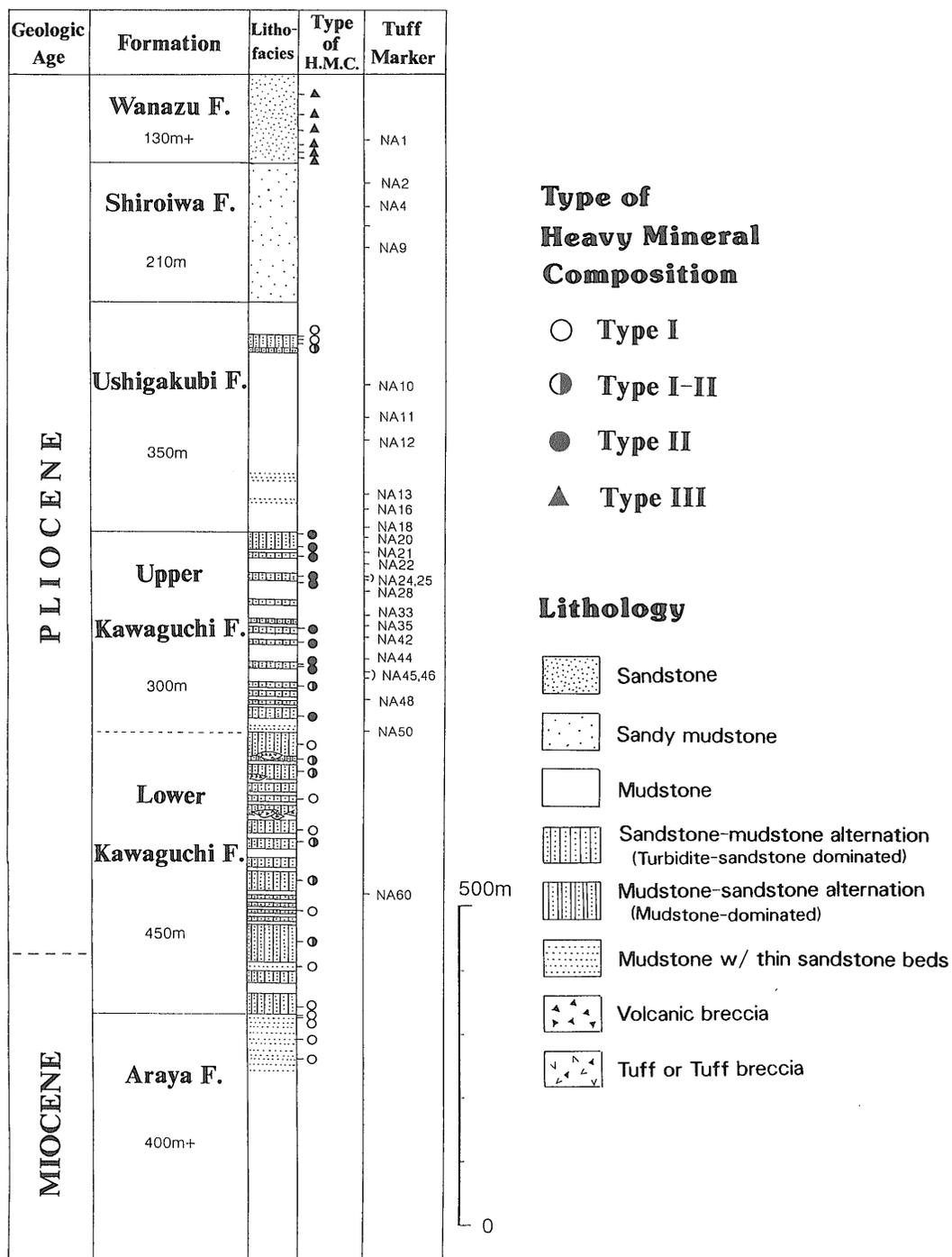
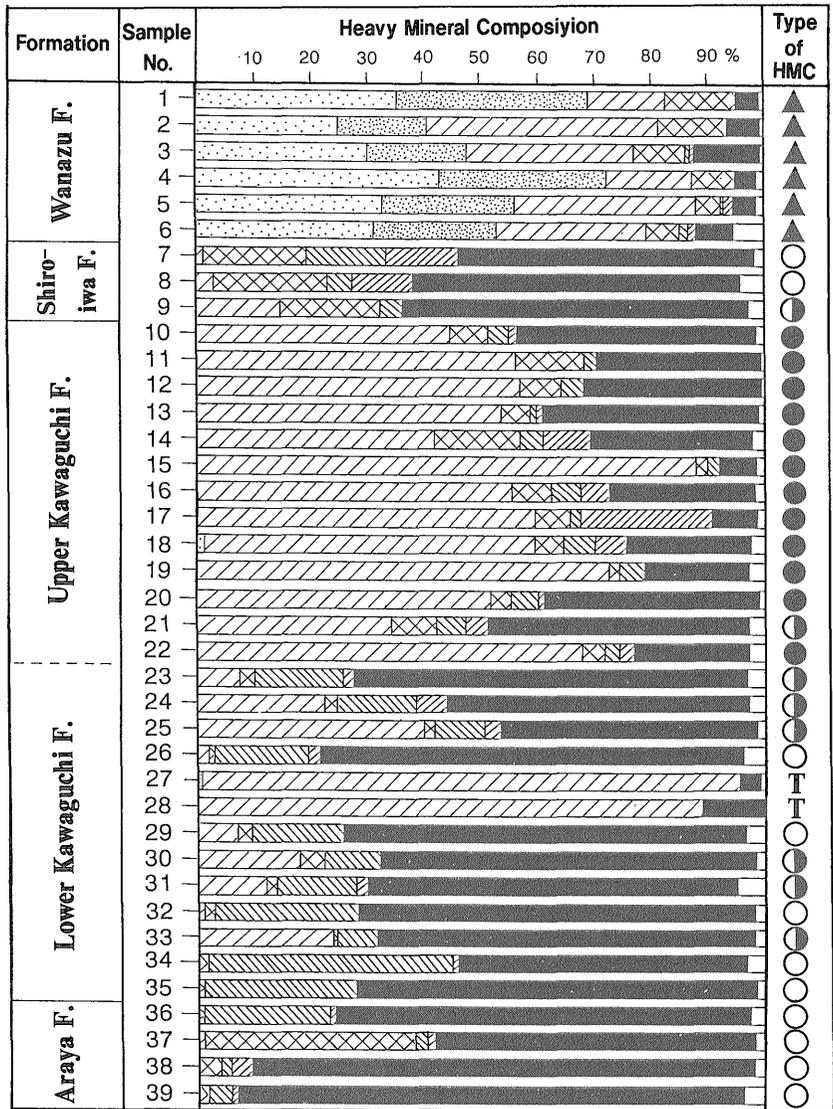


Fig. 8 Lithologic column of the succession along the Nobegawa river with sampling horizon and type of heavy mineral composition, and with horizon of major tuff markers (NA1-NA60).



[Pattern] Hyp [Pattern] Aug [Pattern] Hor [Pattern] Epi+Zoi
 [Pattern] Zir+Gar [Pattern] Bio+Chl [Pattern] Opaque [Pattern] Others

- Type I : Opaque>>Gar,Zir,Epi,Zoi,Hor
- Type I-II : Opaque>Hor>Gar,Zir,Epi,Zoi
- Type II : Hor>Opaque>>Gar,Zir,Epi,Zoi
- ▲ Type III : Hyp,Aug,Hor>>Epi,Opaque>Gar,Zir,Zoi

Fig. 9 Results of heavy mineral analysis along the Nobegawa River. Each sample point is shown by number in Fig. 7 and each sample horizon is shown in Fig. 8.

Hyp : hypersthene, Aug : augite, Hor : Hornblende, Epi : epidote, Zoi : zoisite, Zir : zircon, Gar : garnet, Bio : biotite, Chl : chlorite, Opaque : opaque minerals.

ンドの3者が大半を占め、残りをエピソード、不透明鋇物、ガーネット、ジルコン、ゾイサイトなどの鋇物が占める(Hyp, Aug, Hor >> Epi, Opaque > Gar, Zir, Zoi). このタイプは、和南津層の浅海成砂岩にのみ認められる。

なお試料27, 28は凝灰岩であることから、Fig. 9ではタイプTとして他の砂岩の重鋇物組成のタイプとは区別した。

このような砂岩の重鋇物分析の結果を下位からの時代順の変化として検討すると、最下位の荒谷層最上部のタービダイト砂岩は不透明鋇物を大量に含みホルンブレンドをほとんど含まないType Iであるのに対して、川口層になると徐々にホルンブレンドの割合が増え、下部川口層では、Type IないしType I-IIのタービダイト砂岩に、そして上部川口層ではホルンブレンドが最も卓越するType IIのタービダイト砂岩にとってかわられるという変化が認められる。牛ヶ首層の上部の層準に一部含まれるタービダイト砂岩のタイプは、再びType I, Type I-IIと荒谷層や下部川口層のタービダイト砂岩と同じようなタイプを示す。一方、最上位の和南津層の浅海成砂岩の場合には、これまでの下位のタービダイト砂岩にはほとんど含まれていなかったハイパーシンやオージャイトを大量に含むType IIIから構成されており、下位のタービダイト砂岩とは、基本的に異なった重鋇物組成の特徴を有している(Figs. 8, 9)。

これらのことから、野辺川に分布する砂岩の重鋇物組成は、その特徴から少なくとも4つのタイプ(Type I, Type I-II, Type II, Type III)にタイプ分け可能であることが明らかになった(Figs. 8 and 9)。

4.2 上部川口層の特定層準の重鋇物分析

上部川口層に多くの凝灰岩鍵層が挟在し、それらが東山南部域の広い範囲に追跡可能であることは既に指摘したが、ここでは、主要な凝灰岩鍵層であるNA24とNA33の前後の互層中に挟在する東西のタービダイト砂岩を対象とした重鋇物分析の結果について述べる。

4.2.1 NA24層準

NA24層準の柱状図作成地点をFig. 10に示す。このうち、野辺川を通る東西方向における柱状図を並べたのがFig. 11である。これらの柱状図からも既に指摘した上部川口層の東西の岩相、堆積相の特徴の違いが認められる。西部域では、タービダイト砂岩は細粒の泥岩中にやや密集してすなわち堆積舌状体(DT)を形成して出現する傾向が強いのにに対して、東部域では、タービダイト砂岩は生痕に富む砂質泥岩中に不規則に挟在していて、堆積舌状体のような上下に密集して挟在する傾向は弱いと

いえる。

NA24層準におけるタービダイト砂岩の重鋇物分析の結果は、Fig. 11の柱状図の右横に記号で示されている。黒丸は野辺川でみられたType IIの重鋇物組成から成ることを、黒三角は野辺川でみられたType IIIの重鋇物組成であることを示している。この図から西部域の1g地点のタービダイト砂岩は厚い砂岩も薄い砂岩もいずれもType IIの砂岩から成るのに対して、東部域の1d, 1e, 1b地点では厚い砂岩も薄い砂岩も、いずれもType IIとは特徴が基本的に異なるType IIIの砂岩から構成されていることがわかる。すなわち、西部域の1g地点のNA24層準のタービダイト砂岩はType II(黒丸)で、東部域の1d, 1e, 1b地点のNA24層準のタービダイト砂岩はType III(黒三角)で代表させることができる。

次にFig. 10に示した柱状図の作成地点以外の地点におけるNA24層準のタービダイト砂岩の重鋇物組成を検討するとやはりいずれの地点でもType II(黒丸)もしくはType III(黒三角)で代表させることができる(徳橋, 1992b)。そこでこうした記号で砂岩の重鋇物組成の特徴を代表させ地図上に示したのがFig. 10である(地点1a-1i)。この図から、NA24層準のタービダイト砂岩は、西部域ではいずれもType II(黒丸)の砂岩から成るのに対して、東部域ではいずれもType III(黒三角)の砂岩から構成されていることが明らかである。

4.2.2 NA33層準

次にやはり上部川口層に属するNA33層準のタービダイト砂岩の重鋇物組成について、NA24層準の場合と同じような検討を行なった。Fig. 12は、野辺川を通る東西に位置する地点の柱状図を並べたものであるが、岩相上の特徴は、NA24層準で指摘されたことがこの層準でもほぼそのまま指摘される。一方、砂岩の重鋇物組成の特徴についても、全く同じような特徴を示している。すなわち、西部域の2g地点では、NA33層準のタービダイト砂岩は厚い砂岩も薄い砂岩もいずれもType II(黒丸)の砂岩から成るのに対して、東部域の2d, 2c, 2a地点では厚い砂岩も薄い砂岩も、いずれもType IIとは特徴が基本的に異なるType III(黒三角)の砂岩から構成されていることが指摘される。このようにNA33層準においても、一つの地点のタービダイト砂岩は、同じタイプの重鋇物組成から構成されていて、一つのタイプで代表させることができる。Fig. 12に示した柱状図作成地点以外の地点でもやはり同じことが指摘され(徳橋, 1992b)、各柱状図作成及び重鋇物分析地点での重鋇物組成のタイプの分布を記号で示したのがFig. 10である(地点2a-2i)。この図から、NA33層準においても、

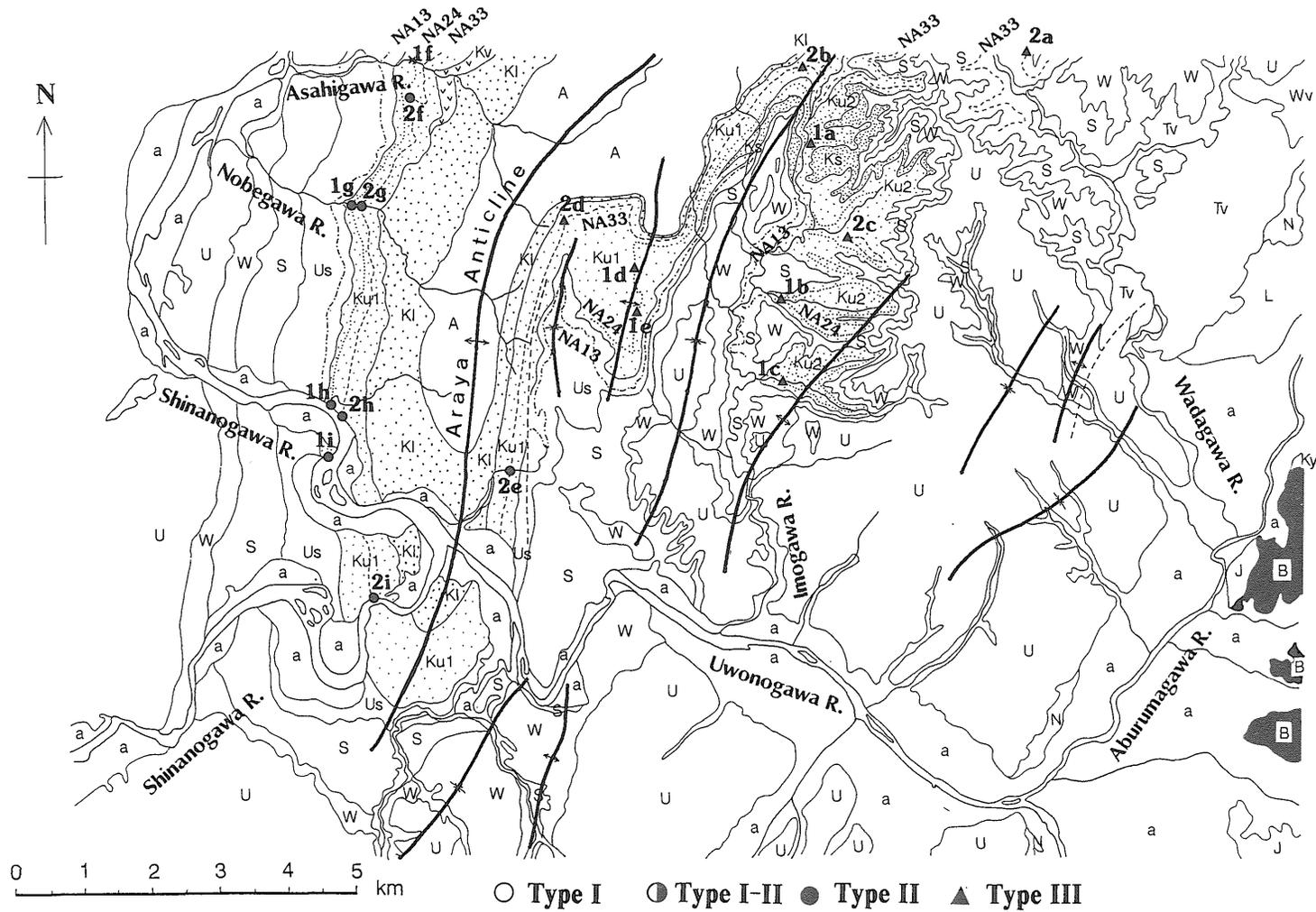


Fig. 10 Locality map of lithologic columns (Fig. 11 and Fig. 12) and samples for the NA 24 and NA33 tuff marker horizons.

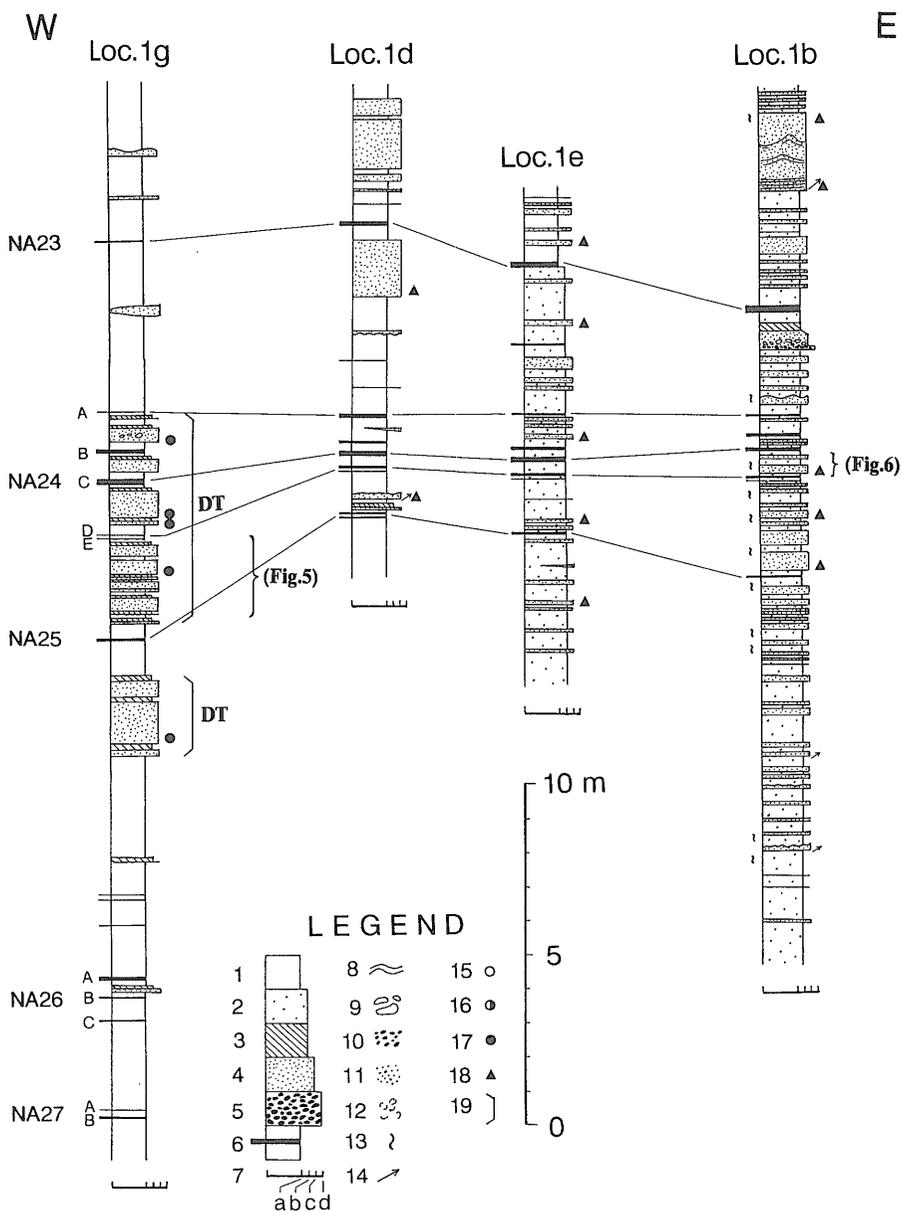


Fig. 11 Lithologic columns of NA24 horizon arranged along the east-west direction and type of heavy mineral composition of turbidite sandstones.

1. mudstone, 2. sandy mudstone, 3. turbidite mudstone (sandy mudstone), 4. sandstone, 5. conglomerate, 6. tuff marker, 7. lithology indicator (a: mudstone, b: sandy mudstone, c: sandstone, d: conglomerate), 8. laminated structure in sandstone bed, 9. mudstone clast, 10. gravel (pebble to cobble), 11. very coarse sand to granule, 12. shell fragments, 13. trace fossil, 14. reverse grading in the lower part of the bed, 15. "Type I" heavy mineral composition, 16. "Type I-II" heavy mineral composition, 17. "Type II" heavy mineral composition, 18. "Type III" heavy mineral composition, 19. DT (depositional tongue).

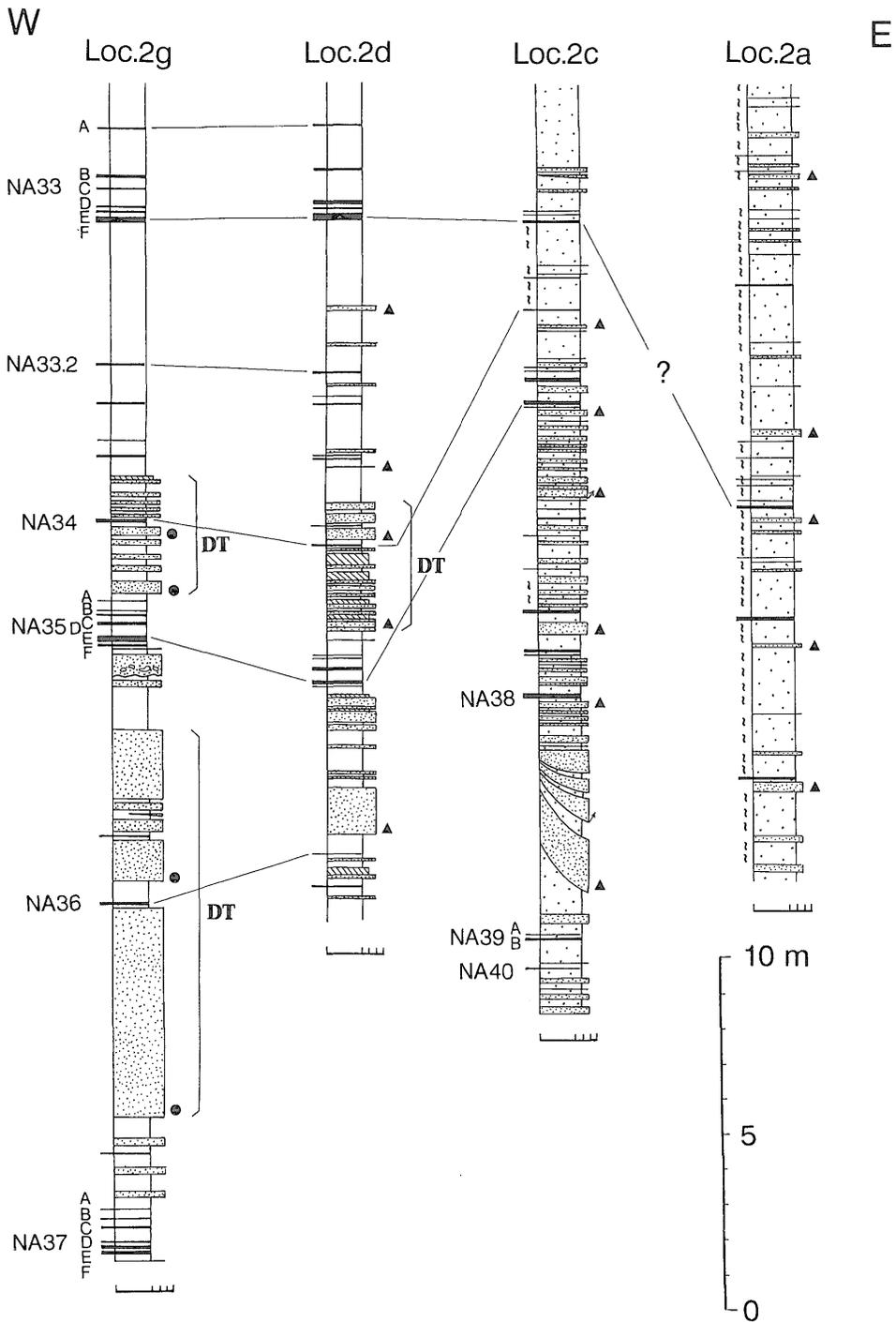


Fig.12 Lithologic columns of NA24 horizon arranged along the east-west direction and type of heavy mineral composition of turbidite sandstones. For legend see Fig.11.

西部域のタービダイト砂岩はType II(黒丸)の、東部域のタービダイト砂岩はType III(黒三角)の砂岩から構成されていることが指摘される。

以上のことから、上部川口層に属するNA24層準及びNA33層準のタービダイト砂岩は、西部域ではType II(黒丸)の砂岩(ホルンブレンドが卓越し、ハイパーシンやオージャイトをほとんど含まないタイプの砂岩)から構成されるのに対して、全く同じ層準に属しているにもかかわらず、東部域の砂岩は基本的な特徴を異にし西部域の野辺川ルートでは最上位の和南津層の浅海成砂岩にのみ認められたType III(黒三角)の砂岩(ホルンブレンドとともにハイパーシンやオージャイトが卓越する砂岩)から構成されていることが明らかになった。すなわち、西部域の砂岩(海底扇状地タービダイト砂岩)と東部域の砂岩(陸棚タービダイト砂岩)とでは、岩相上の特徴を異にするのみならず、重鋇物組成上の特徴も異にしていることが明らかとなったのである。

4.3 川口層全体の重鋇物分析

次に野辺川ルート及びNA24, NA33層準以外の川口層中のタービダイト砂岩の重鋇物分析結果を中心にまとめたのがFig. 13である。この図で、白丸はType Iを、半白半黒丸はType I-IIを、黒丸はType IIを、そして黒三角はType IIIをそれぞれ示している。この図から、西部域(荒谷背斜両翼部)では、下部川口層(K1)から上部川口層(Ku1)に向かって、野辺川でみられたと同じようなタービダイト砂岩組成の垂直方向への変化が認められる。すなわち下部川口層ではType IからType I-IIへと変化し、上部川口層ではほぼType IIが卓越するという変化である。すなわち、Type I→Type I-II→Type IIという変化(ホルンブレンドの占める割合が上方に増大していく変化)は、野辺川ルートにのみ認められる傾向ではなく、西部域全体の川口層のタービダイト砂岩に認められる変化であることが指摘される。

一方、東部域に分布する上部川口層(Ku2)のタービダイト砂岩はType IIIの砂岩から構成され、NA24, NA33層準のタービダイト砂岩の場合と同じであることが指摘される。このように上部川口層形成期には、西部域では、Type IIの重鋇物組成を有する海底扇状地タービダイト砂岩が、東部域ではType IIIの重鋇物組成を有する陸棚タービダイト砂岩が堆積していたことになる。

5. 重鋇物分析がもたらした新しい成果

東山南部域に分布する前期鮮新世川口層を対象とした最近の層序学的・堆積学的研究により、本地域には多数

の凝灰岩鍵層が挟在すること(徳橋, 1985)、これを東西に追跡することによって、累層(岩相)境界と時間面が大きく斜交するとともに、上部川口層の互層は西部の砂岩泥岩互層から東部の砂岩砂質泥岩互層に変化すること(柳沢ほか, 1986)、川口層は陸棚から海底扇状地の堆積環境下で形成されたこと(岩本, 1989a, b)、川口層のタービダイト砂岩の古流向は西部域でも東部域でも基本的に東から西であること(徳橋, 1985; 徳橋, 1992b)が明らかにされた。また、西部域と東部域のタービダイト砂岩の成因的關係については、岩本(1989a, b)は、東部域に分布する陸棚上の砂堆(Figs. 2, 4のKs)が西部域のタービダイト砂岩の供給源になったのであろうと推測した。

今回、川口層のタービダイト砂岩について垂直的・水平的に広い範囲で詳細な重鋇物分析を行った結果、前章で述べたような結果を得た。すなわち、西部域の川口層のタービダイト砂岩は、下部から上部に向かって、ホルンブレンドをほとんど含まないType Iから中間のType I-IIを経て、ホルンブレンドの卓越するType IIへと広い範囲で共通して変化していることが明らかになった。また東部域に分布する上部川口層のタービダイト砂岩は、全く同じ時代のものであるにもかかわらず、ホルンブレンドとともにハイパーシンやオージャイトに富むType IIIの砂岩から構成されていること、すなわち、西部域の海底扇状地タービダイト砂岩は、厚い砂岩も薄い砂岩もあるいは粗粒な砂岩も細粒の砂岩も、いずれもType IIの砂岩から、一方東部域の陸棚タービダイト砂岩は、やはり厚い砂岩も薄い砂岩もあるいは粗粒な砂岩も細粒の砂岩も、西部域のType IIの砂岩とは基本的に特徴の異なるType IIIの砂岩から構成されていることが明らかになった。このことは、上部川口層堆積時には、東方のしかし別々の供給源から供給された陸棚タービダイト砂岩と海底扇状地タービダイト砂岩がそれぞれ東部域と西部域にほぼ同時に形成されていたことを示している(Fig. 14)。なお、これら両者の砂岩の供給源がどのようなものでどのようにして形成されたかについては、別の機会に論じることとする。

一般的にいて、砂岩中に占める重鋇物の割合は1%前後かそれ以下のことが多い。したがって、重鋇物組成の特徴の違いを野外で肉眼的に識別することは、通常の砂岩の場合は不可能である。今回の上部川口層の場合も、東部域のタービダイト砂岩と西部域のタービダイト砂岩との間で重鋇物組成上基本的な違いが認められたが、このことを野外で肉眼的に識別することは不可能であった。西部域の川口層の場合、下部川口層と上部川口層と

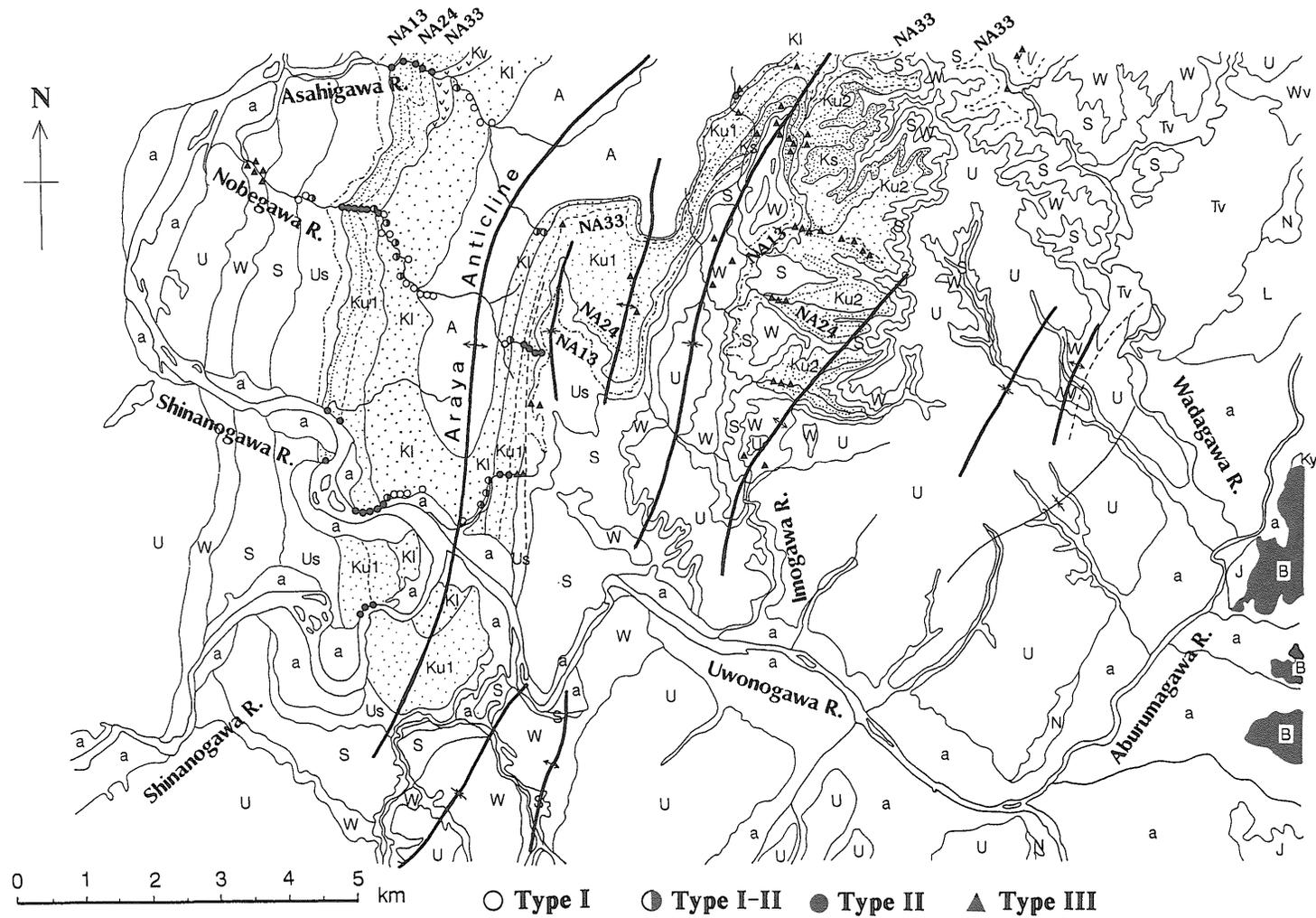


Fig.13 Sampling localities and type of heavy mineral composition of sandstones in the study area.

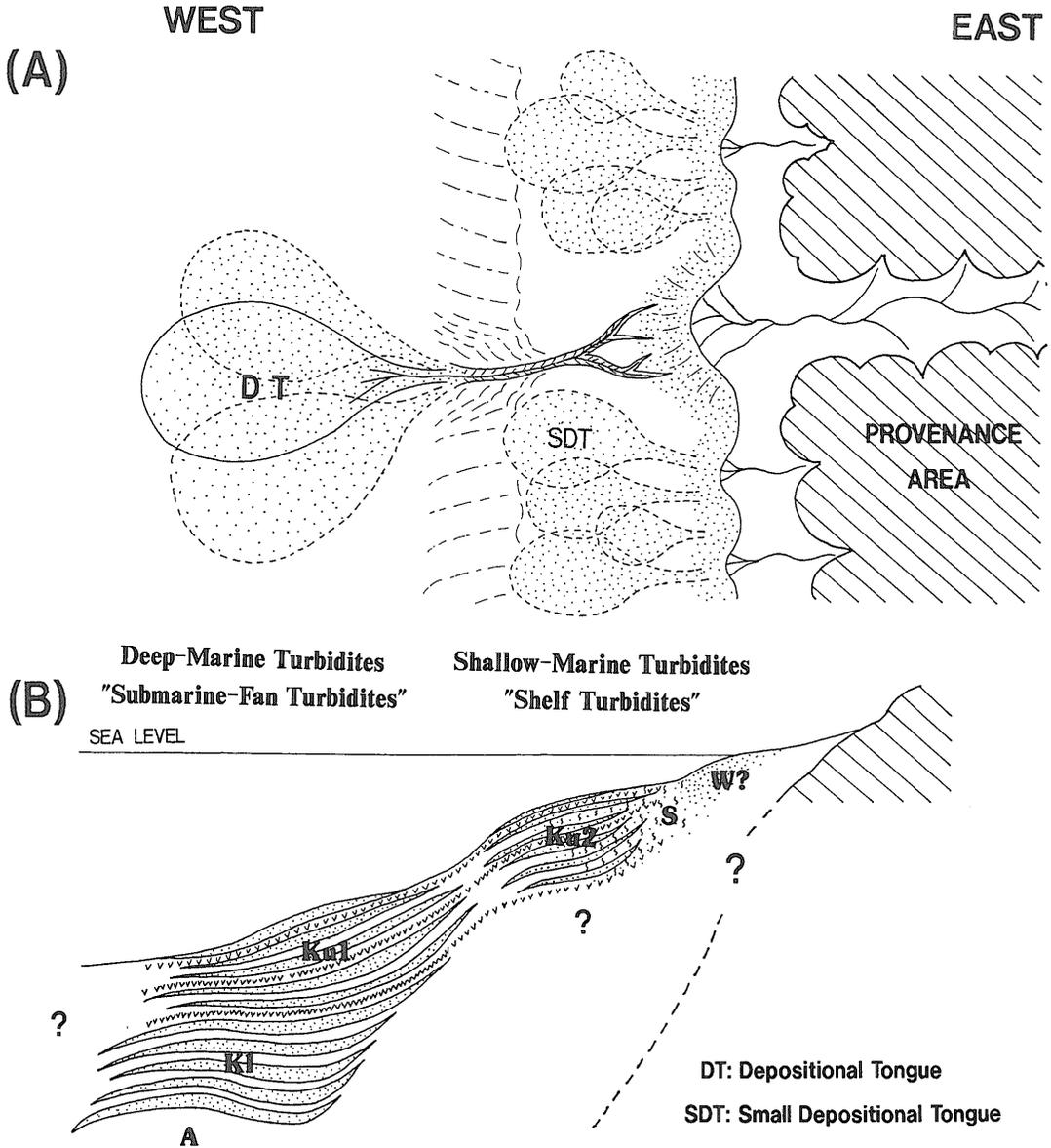
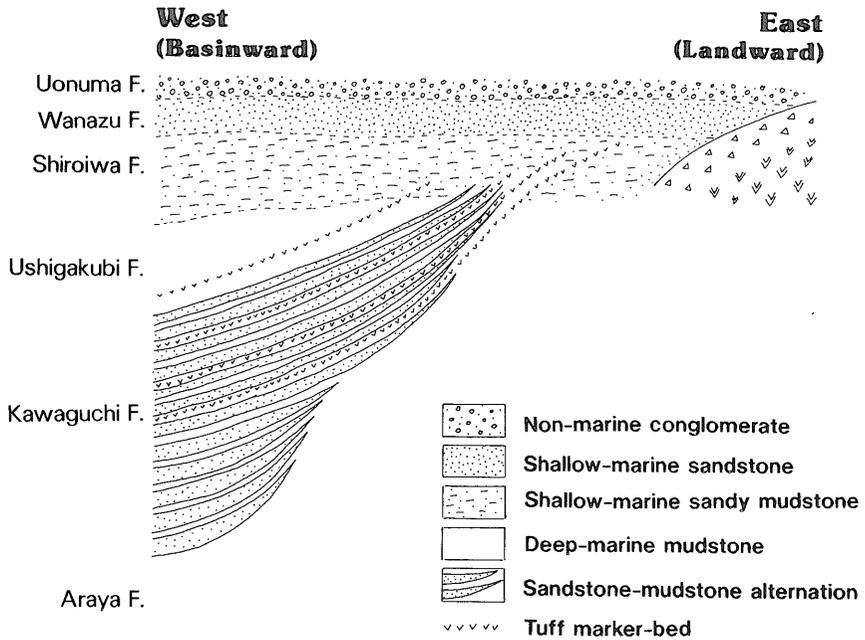


Fig. 14 Schematic reconstruction of sedimentary environments and process in the study area during the deposition of early Pliocene Upper Kawaguchi formation, (A) Plan view, (B) Vertical view.
 DT : depositional tongue, SDT : small depositional tongue.

の間にも重鉱物組成上の違いが認められたが、この場合も、野外で肉眼的に識別することは不可能であった。このように重鉱物組成上の違いを野外で肉眼的に識別することは通常の砂岩の場合非常に困難であることや、その結果そのこと自体が余り問題として認識されないことなどから、重鉱物分析の必要性はややもすれば看過ないし過小評価しがちである。

また一方では、砂岩中に重鉱物の占める割合がごくわずかであることから、余り重要なあるいは安定した情報をもたらさないのではないかといった予見がありがちであるが、今回の研究では、ある一定の時間的・地域的・空間を占めている砂岩体(今回の場合は、タービダイト砂岩単層の集合体)は、ある一定の特徴を有する重鉱物組成で安定して表現できること、したがって、重鉱物組成上

(A) Before Heavy Mineral Analysis



(B) After Heavy Mineral Analysis

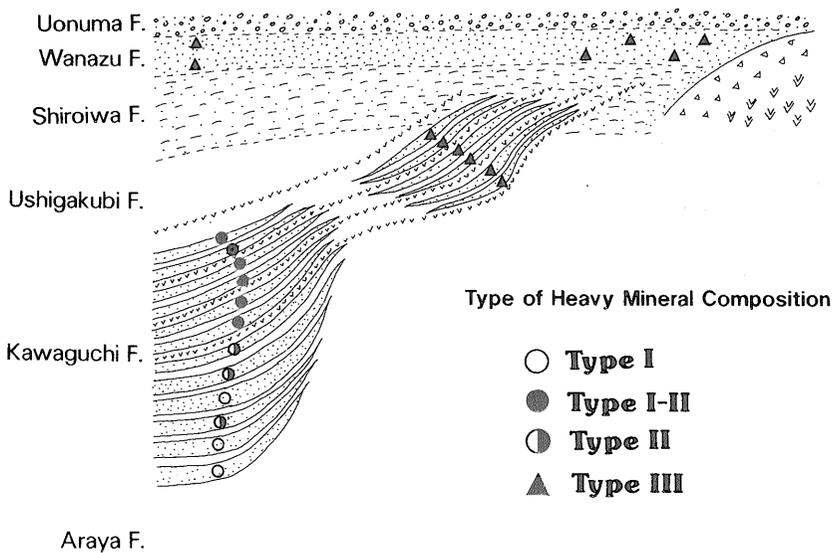


Fig.15 Change of interpretation of lithofacies of the Kawaguchi formation in the east-west vertical section between before (A) and after (B) the application of heavy mineral analysis.

の特徴がそういった砂岩体を特徴づける有用な指標と成りうることを示している。このことは、ある地域に分布する複数の砂岩体相互の成因的關係を明らかにするうえでも、大変重要な役割を果たしうることが期待されることを示している(徳橋, 1993a)。

6. おわりに

新潟県の東山南部域に分布する前期鮮新世川口層のタービダイト砂岩を対象とした今回の研究は、詳細な層序学的・堆積学的研究によっても明らかにできなかった新しい事実や解釈が重鉱物分析の積極的な導入によってもたらしうることを示したといえる(Fig.15)。このことは、重鉱物分析は、砂岩の供給源の解釈や予測に役立つのみならず、堆積相の解釈あるいは砂岩の堆積作用の解明にも重要な役割を果たしうることを示している。したがって、詳細な層序学的・堆積学的分析手法とともに鉱物学的分析手法の積極的な導入は、新しい事実や解釈あるいは応用の可能性をもたらすものとして、今後積極的に取り入れていくことが求められているといえよう。今回の研究は、新潟県の東山南部域に分布する前期鮮新世の川口層を対象として多数の凝灰岩鍵層を用いた詳細な三次元的解析に重鉱物組成の解析といった質的な側面を加えることによって、さらに新しい事実・解釈をもたらしうることを示したものである。この成果は今後砂岩貯留岩の形成機構の解明と分布の予測手法の確立にも応用可能であり、石油や天然ガスの探鉱で重要となっている層位トラップ型鉱床の探鉱にも資することが期待される。

謝辞: 最初にもことわったように、本論文は最近段階的に発表してきた新潟県東山南部域に関する研究成果を現時点で総括したものである。この間、本研究を遂行するにあたっては多くの方々よりご教示・ご協力を得た。工業技術院特別研究「資源評価のための三次元モデリング手法に関する研究」のグループ長であった地質調査所地殻物理部地殻構造課長の宮崎光旗氏、サブグループ長であった燃料資源部前燃料鉱床課長(現首席研究官)の小玉喜三郎氏には、予算に関連して多大なご尽力を賜った。また、同所地質部の柳沢幸夫及び竹内圭史の両氏からは、小千谷図幅調査の際の各種資料を参照させていただいた。同所燃料資源部の角井朝昭及び鈴木祐一郎の両氏には試料採取及び実験の面で種々ご協力いただいた。元地質調査所所員の鈴木泰輔氏(現在(株)東京ソイルリサーチ)からは、重鉱物分析の手ほどきを懇切にご教示いただいた。最後にこれらの方々へ厚くお礼申し上げる次第です。

文 献

- 池辺 穰・細井 弘(1950) 東山南部A班地質調査報告(概査). 石油資源開発株式会社地質報告, no.1218, 16p.
- Iki, T. (1922) Some studies on the stratigraphy of the Tertiary Formation in the Echigo oil-field. *Japan Jour. Geol. Geogr.*, vol. 36, p.113-134.
- 岩本広志(1989a) 新潟積成盆東縁部におけるタービダイト堆積盆の復元. 日本海沿岸総研究報告「古日本海」, no. 2, p.91-95.
- (1989b) 新潟積成盆東縁部・鮮新統の地質. 日本地質学会第96年学術大会(水戸)講演要旨, 230p.
- 金原均二(1940) 新潟県川口油田・竹沢油田(大日本帝国油田第43区)地形及び地質図及び同説明書. 地質調査所, 71p.
- 大村一蔵(1927) 石油地質概要(十四). 地球, vol. 8, p.295-304.
- 佐々木清隆・牛島信義(1966) 新潟県東山油帯の椎谷層および西山層に発達する級化砂岩の堆積学的研究. 岩鉱, vol.56, p.161-182.
- ・——— (1968) 新潟県東山油帯の椎谷層および西山層の砂岩の重鉱物組成. 岩鉱, vol.59, p.84-90.
- 佐藤良昭(1971) 重鉱物研究の現状と問題点. 地調月報, vol.22, p.487-499.
- ・鈴木泰輔(1975) 重鉱物分析の手引. 地質ニュース, no.444, p.21-28.
- 島田忠夫・三梨 昂・影山邦夫・宮下美智夫・鈴木尉元(1974) 東山背斜の層序と地質構造. 地調報告, no.250-1, p.113-128.
- 徳橋秀一 (1985) 新潟県東山油帯南部に分布するタービダイト砂岩の予察的研究. 地調月報, vol.36, p.611-635.
- (1990) 新潟県東山油帯南部に分布する砂岩の堆積学的・鉱物学的研究—野辺川に分布する砂岩の重鉱物組成—. 地質雑, vol.96, p.745-758.
- (1991) 堆積相解析と重鉱物分析. 堆積学研究会報, no.34, p.148-150.
- (1992a) 砂岩貯留岩分布予測技術における重鉱物分析の課題—特に分析手法に注目して—. 徳橋秀一・金子信行・鈴木祐一郎

- 編「炭化水素鉱床の成因と同ポテンシャルの予測技術に関する研究」(平成3年度工業技術院特別研究促進費調査報告書), 地質調査所, p.104-112.
- 徳橋秀一(1992b) 新潟県東山油帯南部に分布する砂岩の堆積学的・鉱物学的研究—海底扇状地タービダイト砂岩と陸棚タービダイト砂岩の堆積学的関係—, 地質雑, vol.98, p.355-372.
- (1993a) タービダイト砂岩貯留岩分布予測手法としての重鉱物分析の役割—新潟含油堆積盆中部域を例として. 宮崎光旗・徳橋秀一編「資源評価のための三次元モデリング手法に関する研究」(工業技術院特別研究最終年度報告書), 地質調査所, p.1-14.
- (1993b) 浅海成タービダイト砂岩の特徴と問題点—新潟県東山南部の例から—. 月刊地球, 号外 no.8, 志岐常正教授退官記念号「イベントとリズム, それらの記録」, p.72-79.
- 柳沢幸夫・小林巖雄・竹内圭史・立石昭雅・茅原一也・加藤碩一(1986) 小千谷地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 177p.

(受付: 1993年11月5日; 受理: 1994年3月7日)