

西オーストラリア・ピルバラ・デキソンアイランド層の地質 - 7
- DX B e-4, e-5 の岩相と有機炭素量および有機物炭素同位体比 -

清川昌一*・片上亜美**・池原 実***・伊藤 孝**・北島富美雄*

(2005年10月5日受理)

Geology of 3.2Ga Dixon Island Formation, Western Pilbara, Australia -Part 7
-Lithology and Carbon Isotope Geochemistry of Organic Matter in the DX B
e4 and e5 Sections-

Shoichi KIYOKAWA*, Ami KATAGAMI**, Minoru IKEHARA***, Takashi ITO**, Fumio KITAJIMA*

(Received October 5, 2005)

Abstract

The Black Chert Member of the Dixon Island Formation of the Western Pilbara, Australia, is a well preserved black chert bed of ocean floor sedimentary sequence of 3.2 Ga in age. At DX B e-4 and e-5 sections, the Black Chert Member is subdivided into three submembers. Total organic carbon (TOC) in the black chert varies within 0.01 ~ 0.89% (average 0.09%) and the carbon isotope ($\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$) values of these rocks range from -38‰ to -20‰. Lighter $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ values (-38‰ ~ -37‰) of the black laminated chert may reflect the inputs of organic matter originated from methanogen.

1. はじめに

西ピルバラ海岸グリーンストーン帯のデキソンアイランド層は、約32億年前の海洋底一熱水系の断面を保存しており、当時の熱水流通系の痕跡や海底表層堆積物が良い状態で残されている（清川ほか 2002; Kiyokawa *et al.* 2006）。我々のグループでは本層を対象として、様々な観点から総合的に研究を継続している（例えば、池原ほか 2005; 石田ほか 2004; 伊藤ほか 2002; 清川ほか 2002; Kiyokawa *et al.* 2006）。本研究では、特にデキソンアイランド層のDX B e-4, e-5 セクションにつ

*九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門（〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1; Department of Earth and Planetary Sciences, Faculty of Sciences, Kyushu University, Hakozaki, Fukuoka, 812-8581, Japan）.

**茨城大学教育学部地学研究室（〒310-8512 水戸市文京 2-1-1; Geosciences Laboratory, College of Education, Ibaraki University, Mito, Ibaraki, 310-8512, Japan）.

***高知大学海洋コア総合研究センター（〒783-8502 高知県南国市物部乙 200; Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University, Nankoku, Kochi, 783-8502, Japan）.

いて、特に黒色～暗緑色の珪質な岩石に注目し、岩相観察と有機炭素濃度・安定炭素同位体比の分析を行った。なおDX B e-4, e-5 セクションは清川ほか(2002), 池原ほか(2005)のDX B-b セクションに対比できる。

2. 岩相層序

DX B e-4, e-5 セクションではデキソンアイランド層黒色チャート部層を連続的に観察することができる (Plate A)。本セクションでの黒色チャート部層は層厚 15m であり、岩相から 3 つの亜層に区分できる (Fig. 1 a)。

下部亜層は塊状黒色チャートを主体とし、白色～灰色凝灰岩を挟む (Fig. 1a)。塊状黒色チャートは厚さ約 50 cm の単層からなっており、黒色チャート部層最下部に層厚約 4～7m で分布する (Plate E)。白色～灰色凝灰岩は塊状黒色チャート層中に層厚約 1 m で分布している。この凝灰岩の層は連続性が良く、層厚 50 cm～1m で変化しながら数km にわたって追跡できる。またこれら黒色チャートと凝灰岩の境界は明瞭ではなく漸移する。

中部亜層は様々な組織を持つ層状チャート層からなる (Fig. 1b)。この中部亜層は下位から、葉理の発達した黒色チャート、黒色チャートプレッシャーを含む薄い酸性凝灰岩層 (Plate D)、細かな葉理が発達し鉄に富む層状チャート層 (Plate C, G)、アラレ石偽晶を含むチャート層 (Plate C)、ストロマトライト様形態をもつバイオマツ層、そして上方に膨らんだ組織をもつ黒色チャートが角礫化している層 (Plate F) と重なる。特に本亜層上部の試料 9910-24 では微生物状の生物痕跡が見つかった (Kiyokawa *et al.* 2006)。

上部亜層は粘土分の多い暗緑色頁岩と葉理の発達した層状チャートの互層からなる (Fig. 1a)。最下位の暗緑色頁岩は層厚 70 cm で、厚さ数 10 cm ごとに 1 cm 厚の細粒黒色層をはさむ (Plate B)。暗緑色頁岩の上位は、黒色チャートと白色チャートの互層からなる層状チャートになる。この層状チャートは部分的に上に凸の組織をもち、葉理面は細かく褶曲している (Plate H)。この上に連続性の良い層厚 2 m の白色凝灰岩層が覆い、多色チャート部層に整合的に移り変わる。

以上述べたように、本地域の黒色チャート部層では、様々な黒色～暗緑色の珪質な岩石が分布している。これらの岩石は露頭および顕微鏡下での観察から 3 つに区分できる。岩相と主な分布層準を以下にまとめる。1) 塊状黒色チャート：塊状で炭質物を多く含む。主に下部亜層に分布する。2) 葉理の発達した層状黒色チャート：細粒の有機物粒子とシリカが幅 1 mm 以下の細かい葉理をつくっている。部分的に鉄に富む層と互層をなす。主に中～上部亜層を形成する。3) 暗緑色頁岩：ケイ化した均質粘土物質からなり、雲母結晶や電気石結晶を含む。単層の厚さは約 30～50 cm で境界部分は炭素粒子を含み葉理が見られる。暗緑色頁岩は上部亜層最下部で見られる。

3. 有機炭素量および有機物炭素同位体分析

デキソンアイランド層 DX B e-4, e-5 セクションの岩相層序に基づき、系統的に試料を採取し、

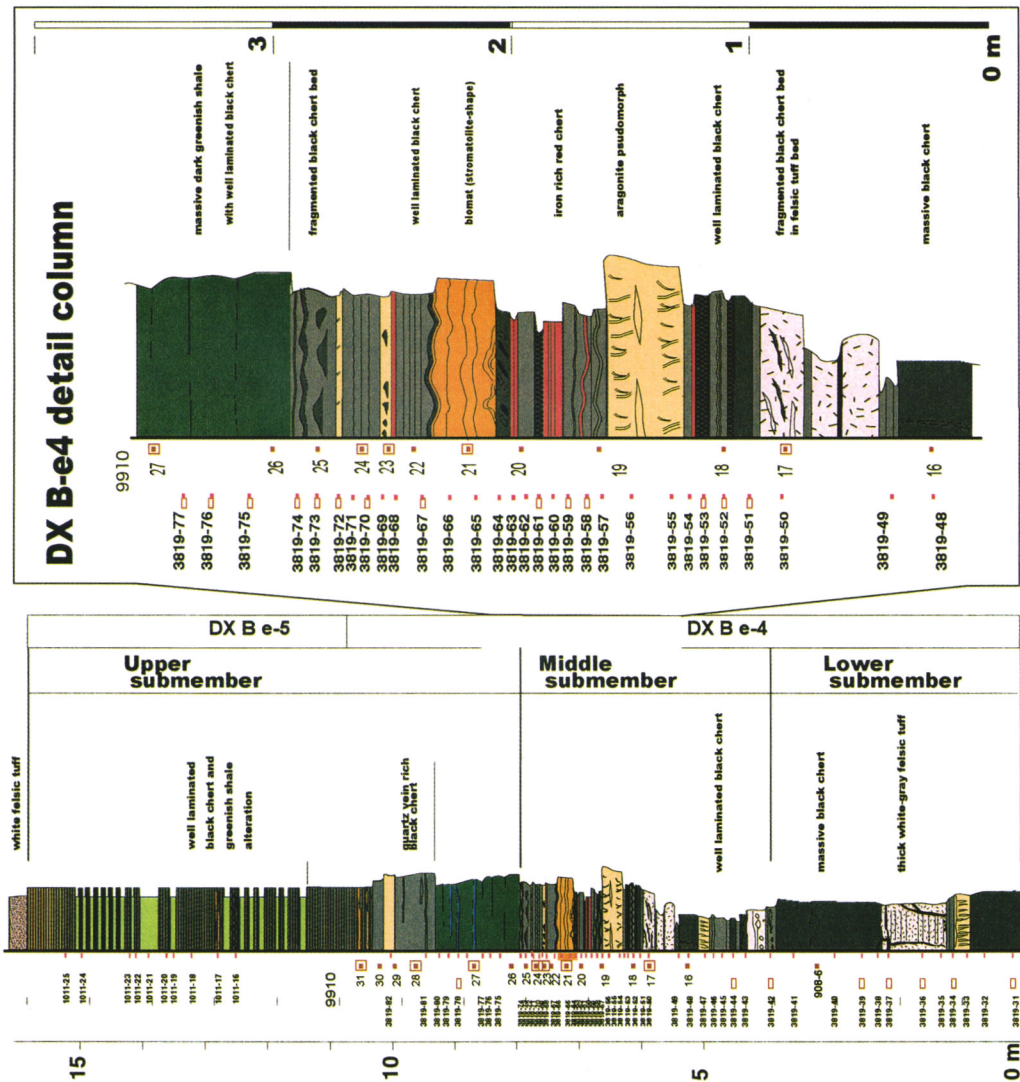


Fig.1 Geologic columns of the Black Chert Member at the DX B e-4 and e-5 sections. Left hand column (a) shows whole section of the Black Chert Member. More detailed column shows in right column (b) at the DX B e-4 section. Plots and number show location and sample number.

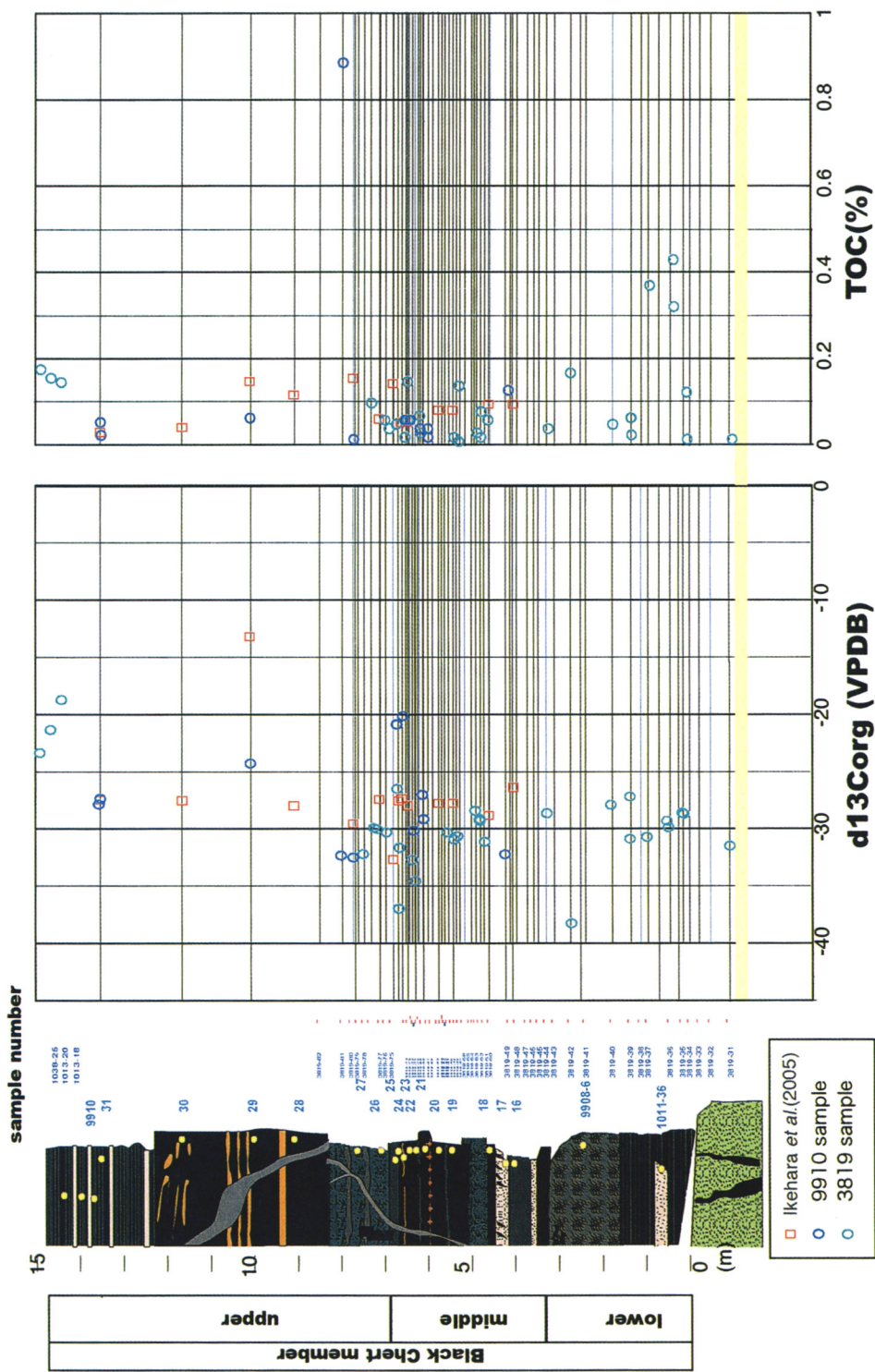


Fig.2. Concentration of total organic carbon (a) and $\delta^{13}\text{C}$ of organic matter (b) at the DX B e-4 and e-5 sections in the Dixon Island Formation. Data are plotted against the stratigraphic column of the Black Chert Member.

全有機炭素量およびバルク有機物炭素同位体比の分析を行った。ここでは、池原ほか（2005）の報告値の一部、および同試料の高知大学海洋コア総合科学研究センターにおける再測定の結果も併せて表1にまとめた。なお、池原ほか（2005）における試料番号の表記は910-xx から9910-xxに変更した。

岩石試料は、以下のように処理を行った。1) 粉砕器およびメノウ乳鉢で粉末化した。2) 粉末試料を、アセトンで洗浄した銀カップに計り取り、塩酸を適量滴下し、堆積物中の炭酸カルシウムを除去した。3) 乾燥剤としての五酸化二リンと脱塩剤としての水酸化ナトリウムを入れたデシケーター内で乾燥・脱塩をした。4) 乾燥した銀カップ入りのサンプルを、アセトン洗浄済みの錫カップに入れ、小さく丸め、測定用試料とした。これらの試料を用いて、堆積物中の全有機炭素量(TOC)、全窒素量(TN)、バルク有機物の炭素同位体比($\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$)を、高知大学海洋コア総合研究センター設置の元素分析計オンライン質量分析計(Flash EA 1112, ConFlo III, Finnigan DELTA plus Advantage)にて測定した。各試料の同位体比は、ラボ内標準試料を用いて国際標準試料(PeeDee層中に産出するベレムナイト化石:PDB)に対する千分率(‰)に換算した値で表した。

4. 分析結果

4-1) 全有機炭素量(TOC)

DX B e-4, e-5における全有機炭素濃度(Total Organic Carbon: TOC)は、0.01～0.89%の範囲に入り、その平均値は0.09%であった(Fig. 2, Table 1)。下位の塊状黒色チャート層の平均値は0.16%であり、全体の平均値よりも高い。なお、今回測定に用いた装置では、有機炭素と同時に全窒素の濃度も定量が可能であるが、デキソンアイランド層の全窒素量は、測定限界前後の極めて低い濃度(0.01%以下)であった。

4-2) バルク有機物の炭素同位体比($\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$)

DX B e-4, e-5におけるバルク有機物の炭素同位体比($\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$)は、-38‰～-20‰の範囲の値を示し、その平均値は-30.1‰であった。これは池原ほか(2005)の平均値(-27.5‰)より若干低い(Fig. 2, Table 1)。また今回は池原ほか(2005)では見られなかった-35‰以下の軽い値が得られている。-38‰～-37‰を示す黒色チャートの岩相は共通しており、黒色炭素粒子が多く含まれ、かつ割れ目に沿ってネット状にみられる(Plate I, J)。

5. 考 察

5-1) 黒色～暗緑色の珪質な岩石の特徴

先に示したように、DX B e-4, e-5セクションに分布する黒色～暗緑色の珪質な岩石は、3つに識別できた。下部亜層に分布する炭質物を多く含む塊状チャートは、岩石組織や炭素同位体組成が、黒色チャート部層より下位の流紋岩・酸性凝灰岩部層中に多く見られる黒色チャート脈と類似して

おり、この黒色チャート脈と同起源であると考えられる（伊藤ほか 2002）。

葉理の発達した層状黒色チャートは、厚さ 1 mm 以下の細かい葉理をもっている。このことから海底の低エネルギー場において、有機物が規則的にシリカと互層しながら静かに沈殿したと考えられる。しかし、中部亜層中においては、黒色チャートの角礫を含む凝灰岩層も観察されることより、火山活動による土石流が到達する場であった可能性がある。さらにドーム構造を示す層状黒色チャートも分布している。その方向がすべて上に凸でそろっており、かつ葉理表面にはバイオマットに見られるような細かな不規則褶曲も見られないことから、堆積直後の過重圧により形成されたと考えられる。またこのドーム構造を示す層状黒色チャートには、部分的にちぎれて角礫化しているものも見られ、この過重圧による自破碎が起こった可能性もある。

暗緑色頁岩は塊状組織を呈し、構成物としては粘土鉱物を主とし、雲母結晶や電気石結晶を含むが、炭質物はほとんど含まない。一部、層理境界付近では細かな炭質物が集まり葉理を作る部分がある。今のところ粘土の起源など、暗緑色頁岩の成因は明らかでない。

5-2) 有機炭素量および有機物炭素同位体比

堆積物中の有機炭素量は、一般的に海洋における基礎生産量の指標となる。今回得られた黒色チャート部層の TOC 平均値 (0.09%) は、現在の海洋と対応させると、貧栄養海域における堆積物の TOC% に相当する。TOC% は層準によって異なり、黒色チャート部層下部で平均 0.16% と高く、上部で 0.05% 以下の低い値を示す (Fig. 2)。本研究で識別できた 3 種類の黒色～暗緑色の珪質な岩石との対応を見てみると、下位の塊状黒色チャートでは TOC% が高く、上位の葉理の発達した層状黒色チャート・暗緑色頁岩で低い。これらの傾向は、顕微鏡観察による炭質物の分布頻度と整合的である。

DX B e-4, e-5 セクションにおける $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ は、-25%～-33% の範囲に入り、これまで報告されている太古代堆積岩の $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 値 (例えば、Schidlowski 2001) とほぼ一致する。有機炭素量と同様に層準によって値が異なり、全体的に黒色チャート部層下部で低く、上位ほど高い値を示す傾向が見られる (Fig. 2)。これは池原ほか (2005) で示された傾向と整合的である。また、本研究では試料 3819-042 や試料 3819-073 のように、-38%～-37% と著しく軽い同位体比をもつ層準の存在が明らかとなった。同位体分別の大きさ (例えば、Watanabe *et al.* 1997; Schidlowski 2001) から判断して、メタン生成細菌の関与があったことが推察される。岩相層序との関連をみると、これら著しく軽い $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 値を示すのは、これまでのところ塊状黒色チャートの形成が終了した直後と、角礫化しドーム構造を示す層状黒色チャートにのみ見られる。この層序的な位置づけとメタン生成細菌の発達との関連性については、今後の課題である。

謝 辞

本研究で行った有機炭素量および有機物炭素同位体比の分析に際し、高知大学海洋コア総合研究センターにお世話になった。また、薄片観察 / EDS 分析などは国立科学博物館の横山一巳博士・堤之恭博士にお世話になった。ここに記して感謝します。また本研究において、文部科学省科学研究

補助金（基盤研究（B）課題番号 14340153）の一部を使用した。

引用文献

- 池原 実・片上亜美・伊藤 孝・清川昌一・北島富美雄. 2005. 西オーストラリア・ピルバラ・デキソンアイランド層の地質－6, 茨城大学教育学部紀要（自然科学）**54**, 59-66.
- 石田千佳・清川昌一・伊藤 孝, 2004. 西オーストラリア・ピルバラ・デキソンアイランド層の地質－4, 茨城大学教育学部紀要（自然科学）**53**, 87-102.
- 伊藤 孝・清川昌一・前橋千里・池原 実. 2002. 西オーストラリア・ピルバラ・デキソンアイランド層の地質 - 2. 茨城大学教育学部紀要（自然科学）, **51**, 21-39.
- 清川昌一・伊藤 孝・前橋千里・池原 実. 2002. 西オーストラリア・ピルバラ・デキソンアイランド層の地質 - 1. 茨城大学教育学部紀要（自然科学）, **51**, 1-19.
- Kiyokawa S. T. Ito, M. Ikehara and F. Kitajima. 2006 . Middle Archean volcano-hydrothermal sequence: bacterial microfossil-bearing 3.2-Ga Dixon Island Formation, coastal Pilbara terrane, Australia. *GSA Bull.*, **118**, 3-22.
- Schidlowski, M. 2001. Carbon isotopes as biogeochemical recorders of life over 3.8 Ga of Earth history: evolution of a concept. *Precam. Res.*, **106**, 117-134.
- Watanabe, Y., H. Naraoka, D.J Wronkiewicz, K.C. Condie, and H. Ohmoto. 1997. Carbon, nitrogen, and sulfur geochemistry of Archean and Proterozoic shales from the Kaapvaal Craton, South Africa. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **61**, 3441-3459.

Table 1. Geochemical data for DX B e-4, e-5 sections of the Dixon Island Formation.

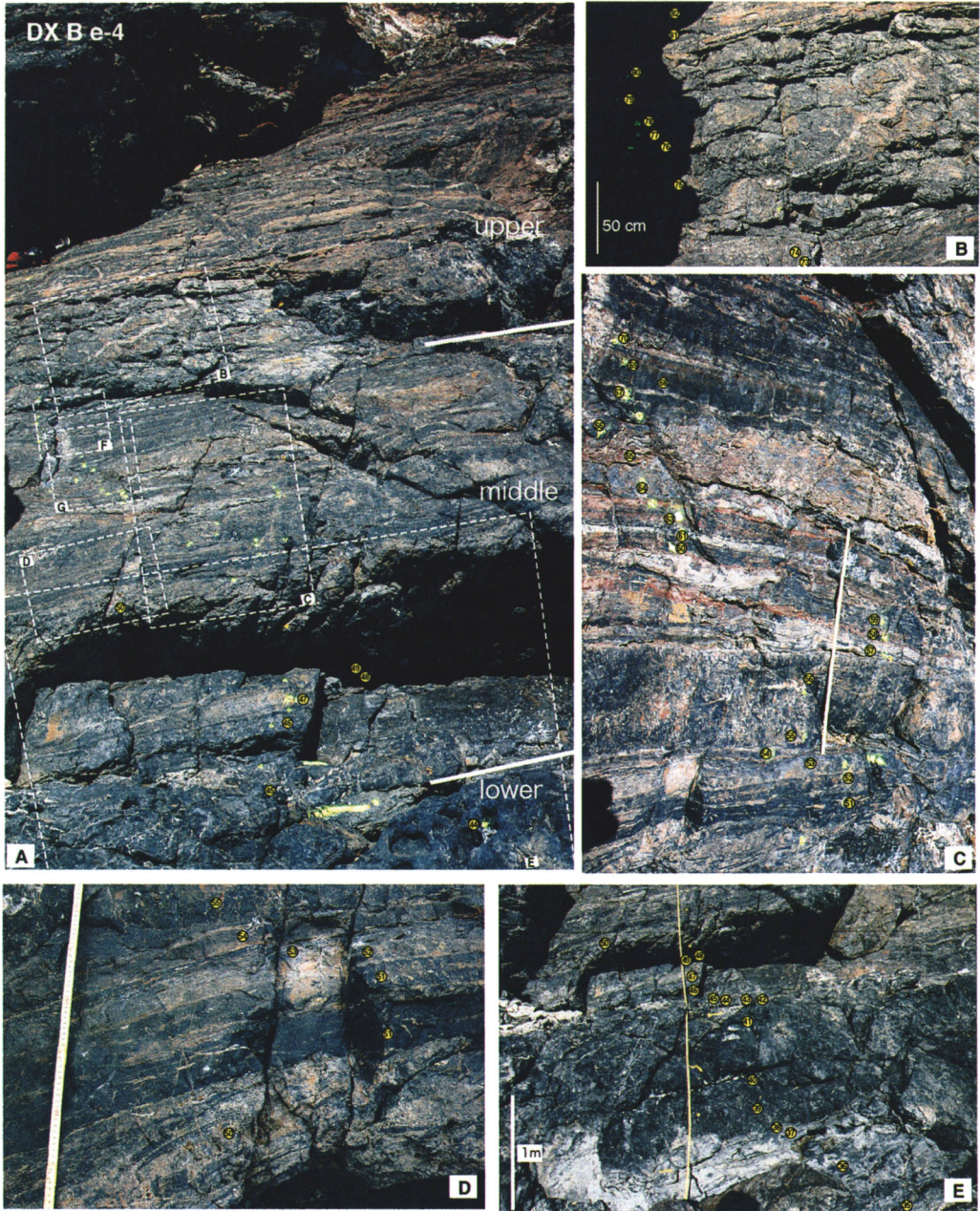
*color; BL=Black, GR=Green, TG=thin Green, Gy=Gray, OR=Orange, RE=Red, TR=transparent

** texture; M=Massive, L=Lamina, C=concoction

No.	Section	Sample	Total Organic Carbon (wt. %)	d13Corg (‰, PDB)	color*	texture**
1	DX B e-4	9910-017	0.12	-32.3	BL+TG	M
2	DX B e-4	9910-021	0.01	-29.2	BL	M
3	DX B e-4	9910-021	0.03	-27.1	BL	M
4	DX B e-4	9910-022	0.03	-30.2	TG	L
5	DX B e-4	9910-023	0.05	-20.3	TG	L
6	DX B e-4	9910-024	0.05	-21.0	TG	L
7	DX B e-4	9910-027	0.01	-32.4	BL+TG	M
8	DX B e-4	9910-028	0.89	-32.2	BL+TG	M
9	DX B e-4	9910-029	0.06	-24.2	BL+TG	L
10	DX B e-4	9910-031	0.02	-27.3	BL+TG+RE	L
11	DX B e-4	9910-031	0.05	-27.8	BL+TG+RE	L
12	DX B e-4	3819-031	0.01	-31.4	BL	M
13	DX B e-4	3819-034	0.01	-28.6	BL+TG	M
14	DX B e-4	3819-034	0.12	-28.5	BL+TG	M
15	DX B e-4	3819-036a	0.32	-29.8	BL	M
16	DX B e-4	3819-036b	0.43	-29.2	BL	M
17	DX B e-4	3819-037	0.37	-30.6	BL	M
18	DX B e-4	3819-039	0.06	-27.1	BL	M
19	DX B e-4	3819-039	0.02	-30.8	BL	M
20	DX B e-4	3819-039	0.06	-27.1	BL	M
21	DX B e-4	3819-040	0.04	-28.0	BL	M
22	DX B e-4	3819-042	0.16	-38.3	BL	M
23	DX B e-4	3819-044	0.03	-28.7	BL+TG	M
24	DX B e-4	3819-051	0.05	-31.2	BL+TG	M
25	DX B e-4	3819-052	0.01	-29.2	BL	C
26	DX B e-4	3819-052	0.07	-29.4	BL	C
27	DX B e-4	3819-053	0.02	-28.5	BL+GY	C
28	DX B e-4	3819-058	0.13	-30.7	BL	L
29	DX B e-4	3819-059	0.00	-31.0	BL	M
30	DX B e-4	3819-061	0.01	-30.4	BL+TG	M
31	DX B e-4	3819-067	0.02	-34.6	BL+TG	L
32	DX B e-4	3819-070	0.06	-32.8	BL+TG	M
33	DX B e-4	3819-072	0.05	-31.7	BL	M
34	DX B e-4	3819-073	0.14	-37.0	BL	M
35	DX B e-4	3819-074	0.01	-26.6	BL	M
36	DX B e-4	3819-075	0.04	-30.4	BL	M
37	DX B e-4	3819-076	0.03	-30.1	TG	M
38	DX B e-4	3819-077	0.05	-30.0	TG	M
39	DX B e-4	3819-078	0.09	-32.3	TG	M
40	DX B e-5	1013-018	0.00	-24.0	TG+RE	L
41	DX B e-5	1013-020	0.01	-26.6	BL+TR	L
42	DX B e-5	1013-025	0.03	-28.6	BL+TG	M

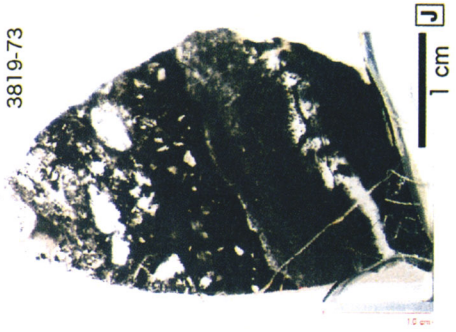
Explanation of Plate

- A. Overview of the DX B e-4 section. White bars show unit boundary of the lower, middle and upper submembers. White dash line boxes show index of following figures.
- B. Overview of the dark greenish shale at the lower part of the upper submember in the Black Chert Member at the DX B e-4 section.
- C. Well-stratified middle submember in the Black Chert Member at the DX B e-4 section. There are variable rocks preserved in this section; such as, well laminated black chert, aragonite pseudomorph bearing black chert bed, iron rich red bed, stromatolite-like brown biomat. Scale shows 1m.
- D. Close-up view of the laminated black chert and felsic tuff bed in the lower part of the middle submember in the Black Chert Member at the DX B e-4 section. The felsic tuff bed contains many black chert fragments.
- E. Massive black chert of the lower submember and laminated chert of the middle submember in the Black Chert Member. The massive black chert contains white felsic tuff bed.
- F. Close-up view of the fragmented black chert, which formed blow up and wavy shape to the top, with in cherty fragments in the upper most of the middle submember in the Black Chert Member at the DX B e-4 section.
- G. Well laminated black and iron-rich red chert of the middle submember in the Black Chert Member at the DX B e-4 section. The laminated chert partly formed dormal shape mound.
- H. Well laminated of the black chert and white chert of the upper submember in the Black Chert Member at the DX B e-5 section. Partly preserved dormal shape lamination within black chert bed. The surface of each domes lamination not formed wavy biomat texture.
- I. Rock cut surface of the laminated black chert (Sample 3819-042). $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ data of this sample shows -38.3‰.
- J. Rock cut surface of the laminated black chert (Sample 3819-073). This rock contains black organic carbon grains and clear chert fragments. $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ data of this sample shows -37.0‰.





3819-73



3819-42

