

論文

新潟県北蒲原郡胎内川沿いに分布する鮮新統鍬江層の
古日本海海洋環境と有機炭素濃度

三瓶 良和*・山下 泰志*・入月 俊明*・石田 桂**・田中裕一郎***

Paleoceanography of the Japan Sea and organic carbon contents of the Pliocene Kuwae Formation along the Tainai River, Kitakanbara area, Niigata Prefecture, central Japan

Yoshikazu Sampei*, Yasushi Yamashita*, Toshiaki Irizuki*, Katsura Ishida** and Yuichiro Tanaka***

Abstract

Organic carbon contents and hydrocarbons of the Pliocene Kuwae Formation along the Tainai River, Kitakanbara area, Niigata Prefecture were investigated to reconstruct the paleoceanography of the Japan Sea. Between 2.5Ma and 3.5Ma, TOC (total organic carbon) contents changed between 0.3% and 1% with a small oscillation (range: 0.3%). In this period, the sea floor was anoxic, and the origin of the organic carbon was mainly marine plankton. The oscillation in TOC seems to correspond to the Milankovich short cycle (20-40ky). The TOC contents were high during warm periods. This could be due to upwelling activity and nutrient supply from land areas. TOC contents also show a long interval change. After 2.8Ma, decreased TOC suggests that primary productivity in the marine system decreased in the cold climate.

Key words: TOC, primary production, Milankovich cycle, climate change

はじめに

日本海の高海洋環境に関する研究は、1990年代前半のODP掘削後に急速に進展した(例えば, Katz, 1992; Stein and Stax, 1992; Tada, 1994a, b; 多田, 1995a, b). ODP研究によって日本海全体の古海洋史が明らかにされ, 詳細な環境変化や地域差の議論が可能になってきた. しかしながら, 日本海東縁の古環境の解明は未だ必ずしも十分ではない. 多田(1995a, b)は, 中期鮮新世の半閉鎖状態であった日本海に対馬海峡から暖流が断続的に流入するようになったことを明らかにしたが, 同時期の日本海東縁の環境変化は明らかにされなかった.

そのような経緯から, 2000年以降には古生物学的な検討が詳細に行われるようになってきた. 中期鮮新世の日本海海洋古環境の復元を行うにあたっては, 新潟県村上市周辺に露出のよい地域が存在するので, 地質・層序については, 西田・津田(1961), 柳沢・山元(1998), 土屋ほか(1999)が, 軟体動物化石については, 天野ほか(2000a, b), 花方ほか(2001)などがそれぞれ詳細な研究を行い報告した. その結果, 中期鮮新世に流入した暖流の水温は現在よりも高かったことや,

流入した暖流が影響を及ぼす深度は浅く, 暖流の下部には寒冷な水塊があったことなどが明らかにされている. また, 最近では特に胎内川沿いのルートで, 渡辺ほか(2003), 三輪ほか(2004), Yamada et al. (2005), 入月・石田(2007), Irizuki et al. (2007)らが, 系統的に詳細な古生物学的研究を行っている. これらの研究では, 共通の試料を用いて異なる指標から古環境解析を行っているため, 網羅的であり信頼性の高い議論が行われている. 特に Irizuki et al. (2007)は, それまでの成果を踏まえながら, 貝形虫群集解析によって海水準変動の陸棚周辺環境への影響と温暖中層水の侵入の有無を高分解能で復元している.

他方, この地域では地球化学的データがまだ報告されていないため, さらに多角的に検討できる余地が残されている. 一般に泥質堆積物中の有機物濃度は, 基礎生産性や底質・水塊の酸化・還元などの良い指標となるが, この地域ではまだ報告がないので, 本研究では, 以上のように系統的に詳細な研究が行われた胎内川ルートの泥・シルト試料と同一試料を用いて, 古生物学的な研究成果を踏まえながら, 有機物等の濃度変化と氷期・間氷期等の環境変化との関係を検討した.

* 島根大学総合理工学部地球資源環境学科
Department of Geoscience, Faculty of Science and Engineering,
Shimane University, 1060 Nishikawatsu, Matsue 690-8504, Japan

** 信州大学理学部地質学科
Department of Geology, Faculty of Science, Shinshu University, 3-1-1
Asahi, Matsumoto, 390-8621, Japan

*** 独産業技術総合研究所地質情報研究部門
Geological survey of Japan, National Institute of Advanced Industrial
Science and Technology (AIST), 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-
8567, Japan

調査地域の地質と試料・分析方法

1. 地質

新潟県村上市周辺には新第三系中新統~鮮新統の暗黒灰色~暗青灰色塊状シルト岩が分布しており, 下位より釜杭層, 下関層, 内須川層, 鍬江層に区分されている(西田・津田, 1961, 土屋ほか, 1999). 本研究の対象はその最上位の鍬江層

である。鉄江層は下位の内須川層を不整合に覆う(西田・津田, 1961)。葉理のある暗緑灰色シルト岩を主体とする下部, 暗灰色で葉理が発達するシルト岩を主体とする中部, 泥質の含礫中粒砂岩を主体とする上部に三分される(天野ほか, 2000a)。中部では数十 cm 大のハケ状の葉理が見られ, 貝化石を多産し生痕化石も見られる。層厚は最大 200 m で, 胎内川ルートでは層厚 10 cm 程度の砂岩層が頻りに挟まれていることを確認した。この砂岩層のほとんどは露頭内で側方にせん滅する。

2. 試料と分析方法

産業技術総合研究所から提供いただいた鉄江層の共通試料(渡辺ほか, 2003; 三輪ほか, 2004, Yamada et al., 2005; 入月・石田, 2007; Irizuki et al., 2007 で使用されているものと同じの泥質堆積物: 試料採取場所は第 1 図), 327 個について CNS 元素分析を行い, また, 代表的な層準 19 個について, GC/MS により抽出性有機物分析を行った。

泥質岩試料は, 風化している部分をナイフで削除した後, 乾燥器内で 55°C 1 日乾燥させメノウ乳鉢で粉末化した。粉末化した試料 10 mg を銀コンテナに分取し, 1M-HCl を滴下して炭酸塩炭素を除去し, 105°C ホットプレート上で 1 時間乾燥させた。その後, 錫コンテナに入れて FISON 社 EA1108 元素分析計で CNS 元素分析を行った。標準試料には 2, 5-Bis (5-tert-butyl-2-benzo-oxazol-2-yl) thiophen を使用し 5 点検量線法を用いた。なお, C, N, S の分析精度は, 測定値 1.0% の場合, それぞれ $\pm 0.03\%$, $\pm 0.03\%$ 及び $\pm 0.05\%$ である。

抽出性有機物分析は, 粉末化した泥質岩試料約 10 g を秤量し, ソックスレー抽出管でジクロロメタン・メタノール 9:1

混合溶液を用いて 60°C で 24 時間抽出を行った。抽出液はエバポレーターにより濃縮し, 薄層クロマトグラフィーによって分画後, 飽和炭化水素画分を GC/MS 分析した。GC/MS 分析には島津製作所製 GC/MS QP-2010 を使用した。分画成分をヘキサン 100 μ l で希釈し, マイクロシリンジで 1 μ l 採取して気化室に注入した。GC カラムには Agilent Technologies 製 DB-5MS (内径 0.25 mm, 膜厚 0.25 mm, 長さ 30 m) を使用し, 気化室温度は 300°C, GC オープンの昇温条件として 40°C を 5 分間保持, 8°C/min で 300°C まで昇温後 30 分間保持した。キャリアガスには高純度ヘリウムを用い, 気化室ガス圧力 100.1 kPa, 全流量: 41.6 ml/min, カラム流量: 1.69 ml/min, パージ流量: 6.0 ml/min で, 圧力一定の条件下で分析を行った。MS 部においては EI 用イオン源を使用し, イオン源温度は 250°C, イオン化電圧は 70 eV に設定し, 全イオンスキャンモード ($m/z = 50-850$) と SIM モードを平行して測定を行った。

結果と考察

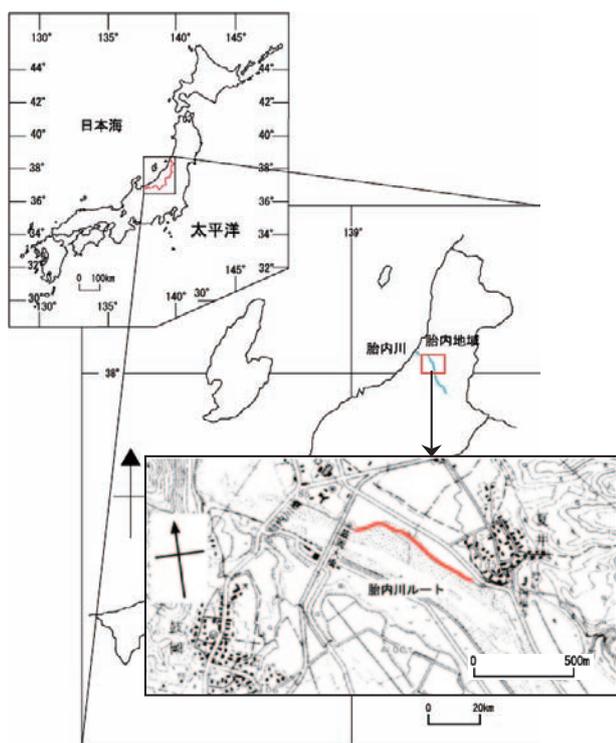
1. CNS 元素濃度

全有機炭素 (TOC) 濃度は, 最大 6.4% 最小 0.31% で, 全般に 0.3~1% 間で変動している。この変動には小刻み変動がおよそ幅 0.3% で伴われている(第 2 図および第 3 図)。TOC 濃度の分析誤差は 0.03% であるから, この小刻み変動幅は有意な変動である。TOC 濃度全体の変化は, 層厚約 200 m のうち全般に上部 (150~200 m) で減少する傾向を示す。上部では砂の挟みがやや多くなり(第 2 図の柱状図), また C/N 比では 15 以上のものが頻りに出ている。陸源有機物の相対的増加を示唆している(第 2 図)。全窒素 (TN) 濃度の変化傾向は, TOC 濃度とほぼ同様である。

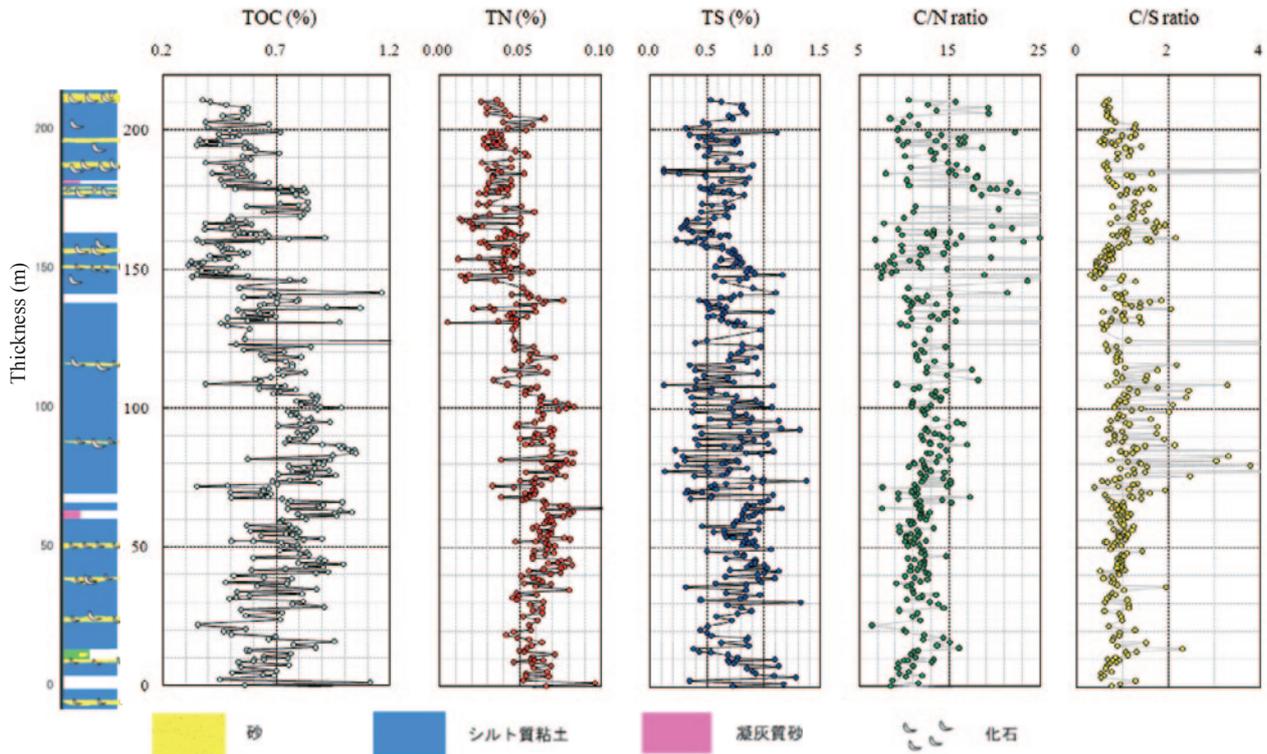
全イオウ (TS) 濃度 (泥質堆積物中の鉄硫化物態イオウ濃度: 主に sedimentary pyrite) は最大 1.4% 最小 0.12%, 平均は 0.70% 前後で TOC 濃度と同レベルであるが, 小刻み変動幅は TOC 濃度よりも大きく 0.6% 前後で TOC の約 2 倍ある。このことは, TS 濃度の小刻み変動が, 主に堆積物表層の硫酸還元程度の変化によることを示唆している。これらの堆積物はすべて海域で堆積したものであることが分かっているので(渡辺ほか, 2003; 三輪ほか, 2004; Yamada et al., 2005; Irizuki et al., 2007), TS 濃度の変化要因 (ここでは硫酸還元の制限要因) は硫酸イオン濃度 (Berner, 1984; Berner and Raiswell, 1984) ではなく, 有機物濃度およびそれに伴う酸化還元度の変化 (Berner, 1984) と考えられる。

海底の酸化還元度は C/S 比で見ることができる (Berner, 1984)。一般に, C/S 比 = 1 程度は貧酸素的海底環境を示し (Sampei et al., 1997), それ以下で無酸素, 1~3 では貧酸素~有酸素の normal marine (Berner, 1984), 3 以上では酸化的海底環境を示す。したがって, 第 2 図における C/S 比 = 1 前後の変動は, 貧酸素的海底環境であったことを示している。特に下部では貧酸素的環境が強く, 中部になると酸化的環境が小刻みかつ周期的に訪れ, それが上部でも断続的に継続したことを示している。

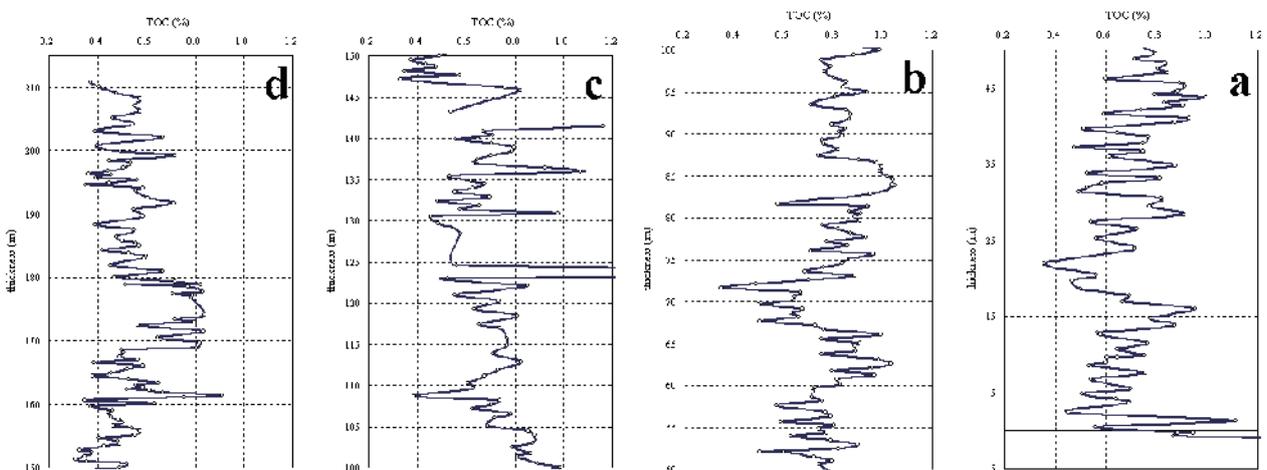
TS 濃度と TOC 濃度のクロスプロットを第 4 図 b に示した。



第 1 図 鉄江層泥質堆積物採取ルート。



第2図 ルート柱状図と全有機炭素 (TOC) 濃度・全窒素 (TN) 濃度・全イオウ (TS) 濃度・C/N 重量比・C/S 重量比の層位変化。



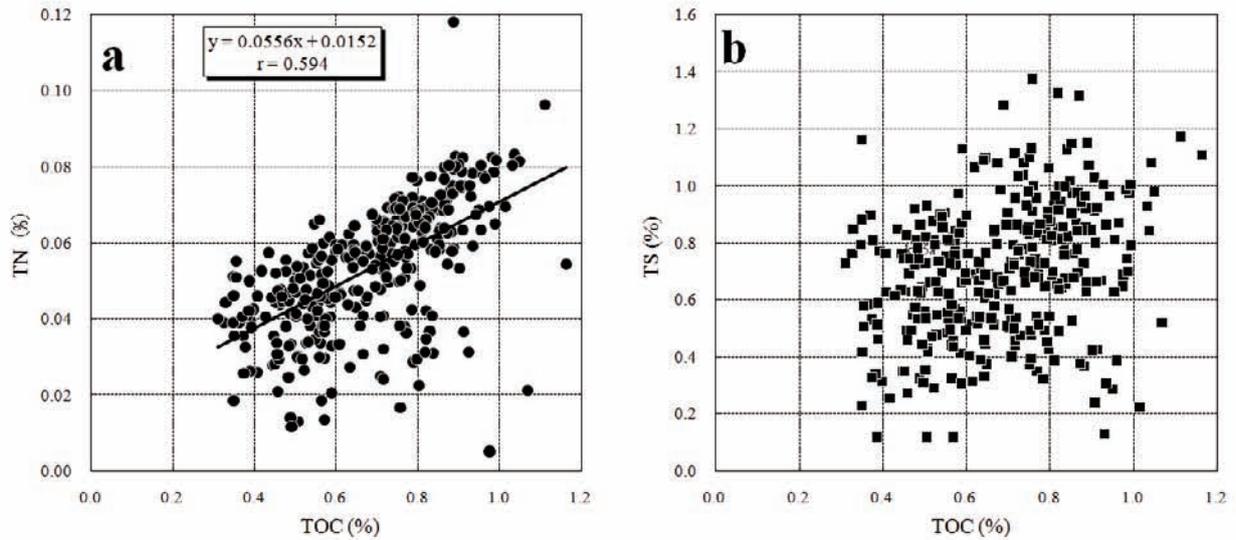
第3図 全有機炭素濃度の高分解能層位変化。

両者の間には特に関係は認められない。すなわちこのことは、底質中の酸化還元が有機物濃度だけに規制されていないことを示しており、したがって、この海域では有機物濃度のほかに底層水の流れの状態などが合わさって底質の酸化還元性をコントロールしていたものと考えられる。また、TN 濃度と TOC 濃度のクロスプロット (第4図 a) では、両者に相関係数約 0.6 の関係が認められる。すなわち、TOC 濃度の増加に伴って、一部では TN 濃度の低い陸源有機物の供給が認められるものの (第4図帰帰直線の右下の領域)、大部分は帰帰直線周辺にプロットされ、有機物濃度の変動には植物プランクトン有機物の供給量が主に効いていたと解釈される (例えば

Sampei and Matsumoto, 2001)。このことは、この海域の底質有機物濃度変化が、主に海洋基礎生産性の変化に拠っていたことを意味する。C/N 比の鉛直変化 (第2図) で見ても、特に中部～下部では C/N 比が 15 以下のプランクトン優勢の値 (Bordowskiy, 1965a, b) を示している。

2. 小周期の要因

TOC 濃度の有意な小刻み変化を詳細に検討するためには、層厚スケールを引き伸ばした第3図が有効である。第3図では、TOC 濃度変動の周期は 3~4m 毎の小さなものと、それらが合わさって 10~20m 周期になっている部分が見られる。



第4図 全窒素濃度と全イオウ濃度の全有機炭素濃度に対するクロスプロット。

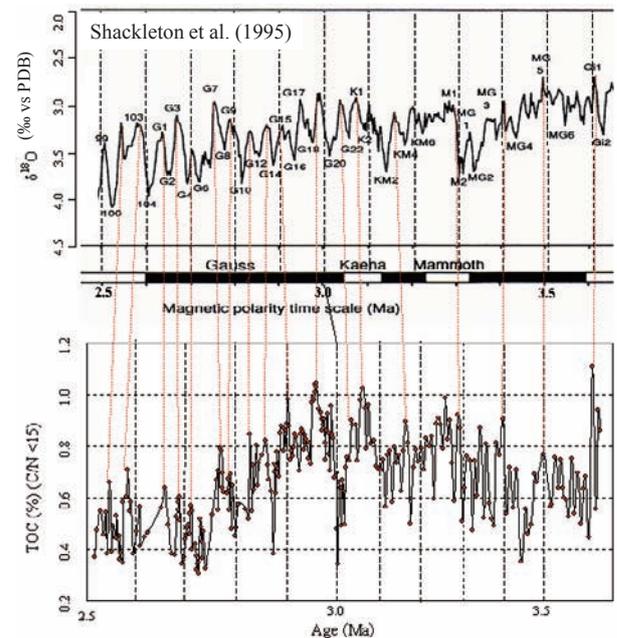
層厚のスケールを年代に変換したものを第5図に示す。第5図では陸源有機物のスパイクの影響を除くため、C/Nが15よりも大きい試料のTOC濃度を除いている。年代値は、渡辺ほか(2003)、三輪ほか(2004)、Yamada et al. (2005) および Irizuki et al. (2007) に拠っている。それらの報告によれば、この約200mのセクションは2.5~3.5Ma間に堆積したものである。第5図には Shackleton et al. (1995) の海水 $\delta^{18}\text{O}$ (‰ vs PDB) 変化を併せて載せている。海水 $\delta^{18}\text{O}$ 値変化のサイクルはミランコビッチサイクル(地球公転軌道の離心率の変化41.3万年と10万年、地軸の傾きの変化4.1万年、地軸の歳差運動2.3万年と1.9万年)に対応しており、 $\delta^{18}\text{O}$ 値の大きな値は寒冷期(氷期)に対応する(氷期には蒸発した軽い海水が陸上の氷河になるため、残った海水の $\delta^{18}\text{O}$ 値は重くなる: 第5図では縦軸の値が逆さになっており、上向きのピークが温暖期を表す)。

第5図下の年代値は平均堆積速度をあてはめているため、誤差はあるもののTOC濃度の周期的ピークが $\delta^{18}\text{O}$ 値のピークと多くの箇所では一致する。TOC濃度の小刻みな変化は約2~4万年に、また、それらが数束集っている少し大きな周期は約10万年に対応しているように見える。このような気候変化とTOC濃度との対応は、湖沼堆積物などでも報告がなされている(例えば、公文・田原, 2009)。

3. TOC濃度変化の要因

上述のように、TOC濃度変化は第5図によって氷期-間氷期に対応し、温暖期にTOC濃度が高くなったことが示唆された。温暖期にTOC濃度が高くなった堆積システムについては以下のように考えられる。

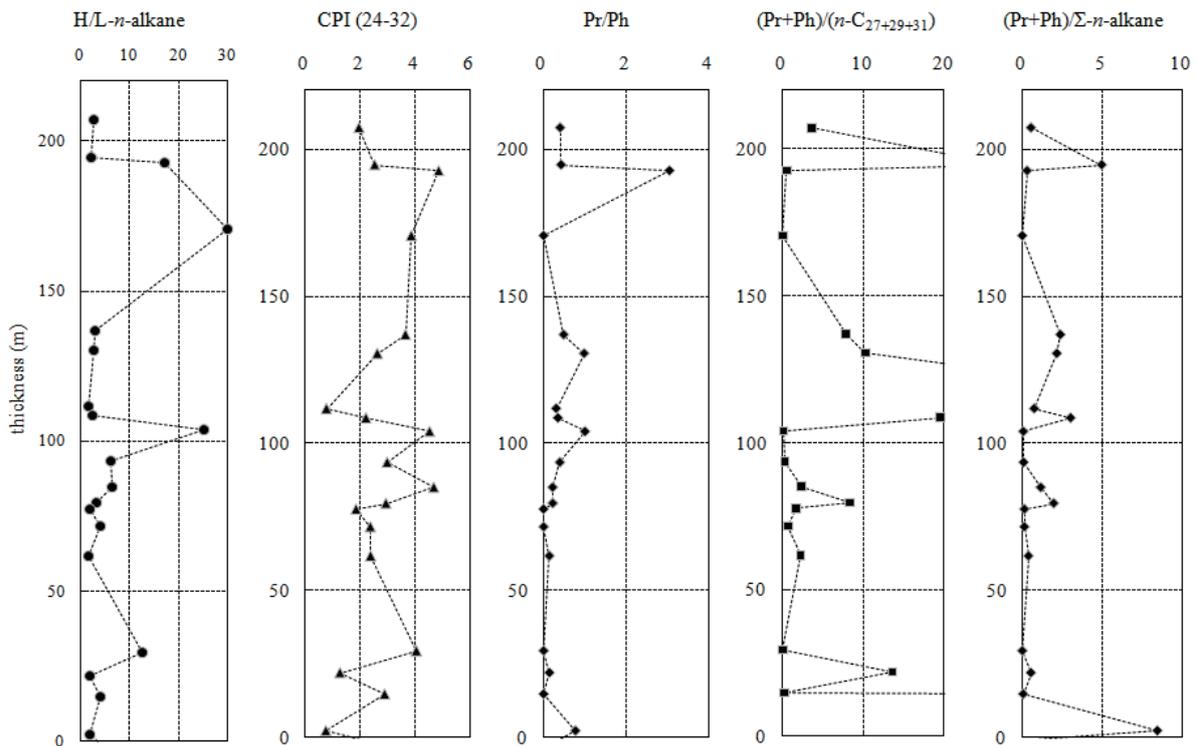
古日本海中央域のTOC濃度変化要因は、過去15Ma間では「基礎生産性」と「無酸素深層水の存在」が最も効いている(Stein and Stax, 1992: ODP Site 798)。特に middle/late Pleistocene では基礎生産が高い時期が海底無酸素期にあたり、これは寒冷期に一致している。「寒冷期には大陸が乾燥し、エオリアンダスト(風成塵)が多くなってこれが海洋に栄養塩を供給し



第5図 全有機炭素濃度変化の $\delta^{18}\text{O}$ 変化 (Shackleton et al., 1995) との対比。

て基礎生産が高まる」という因果関係によるため、また、寒冷期には海水準が低下するので海水循環が良くなく、海底が無酸素になりやすいためである(例えば Oba et al., 1991)。一方、古日本海には温暖期にTOC濃度が高い例もあり(Yamada and Ishiwatari, 1999)、その理由は「海水準が上昇すると、海水循環が活発になり栄養塩の供給が増加する」と解釈される。さらに、陸域に近い堆積場では、「温暖期には降雨の増加によって河川から栄養塩が供給されやすくなり基礎生産性が増加する」と考えられる。TOC濃度が、どちらの時期に高くなるかについては、いずれの場合にも「基礎生産性が高まり、海底が貧酸素化する」システムが鍵となる。

したがって、本研究地域の場合、温暖期の海水循環に陸域



第6図 抽出性有機物の層位変化。

H/L-*n*-alkane: *n*-alkane の高分子 ($21 \leq n-C$) / 低分子 ($20 \geq n-C$) 比, CPI (24-32): $n-C_{24} \sim n-C_{32}$ の Carbon Preference Index (奇数 *n*-alkane の偶数 *n*-alkane に対する比), Pr/Ph: Pristane の Phytane に対する比, (Pr+Ph) / ($n-C_{27+29+31}$): Pr と Ph の和の *n*-alkane 27 と 29 と 31 の和に対する比, (Pr+Ph) / Σ -*n*-alkane: Pr と Ph の和の全 *n*-alkane に対する比

からの栄養塩の供給が加わっている可能性が高く、その結果、海洋基礎生産性を反映する植物プランクトン有機物起源の TOC 濃度が温暖期で高くなり、寒冷期で低くなるシステムが生じたものと考えられる。

4. 数十万年オーダーの TOC 濃度変化要因

第5図の TOC 濃度には数十万年オーダーの変動も認められる。すなわち、3.5 Ma 前後(下部)で低い値を示し、3.0 Ma (中部)まで増加した後、2.5 Ma (上部)に向けて減少している。特に約 2.8 Ma 以降で TOC 濃度が急に減少しているように見える。このことは、有機物堆積システムの変化を示唆している。第6図に示した抽出性有機物の鉛直変化には、この要因が反映されている。H/L-*n*-alkane は、 C_{21} 以上の直鎖炭化水素を C_{20} 以下のそれで割った値であり、陸源有機物供給の指標である。これは上部で高い傾向がある。また、Pr/Ph (クロロフィル起源のプリスタンをフィタンで割った値) は陸源有機物指標・酸化指標であり、同様に上部で高い。したがって、上部では「陸源有機物の供給量が増加した」か、または、「海成プランクトン有機物の堆積量が減った」と解釈されるが、TOC 濃度が減少しているの、後者の要因が効いているものと考えられる。すなわち、約 2.8 Ma 以降に TOC 濃度レベルが減少したこと(第5図)は、上の議論から海成基礎生産性の低下が起こったことを示唆し、長周期寒冷化の影響により湧昇流が起こり難い水塊構造に変化した可能性がある。低い基礎生産性は、それを餌とする高次生物(底棲生物等)にも影響

を与えた可能性があり、実際、入月・石田(2007)は 2.74 Ma に起きた寒冷化(例えば、Sato et al., 2004)が浅海生貝形虫群集に影響を与えたことを指摘している。

ま と め

2.5~3.5 Ma 間で、TOC 濃度は主に 0.3~1% 間で変動し、細かな変動がおよそ幅 0.3% で伴われた。その間、海底は貧酸素~有酸素的環境であった。有機物の起源は主に海成植物プランクトンであり、その数 m 周期(約 2~4 万年周期)の小刻みな TOC 濃度変化はミランコビッチサイクルに対比でき、温暖期に TOC 濃度が高くなったことが示された。その理由は、高海水準期に海水循環が活発になって湧昇流が栄養塩をもたらし、かつ陸域からも栄養塩の供給が増加して基礎生産性が高まったためと推察された。

TOC 濃度には数十万年オーダーの変動も認められ、特に約 2.8 Ma 以降で TOC 濃度が減少した。このことは海成基礎生産性の低下が起こったことを示唆している。

謝 辞

産業技術総合研究所の柳沢幸夫博士には本研究の機会を与えていただいた。Barry P. Roser 博士には英文要旨を校閲していただいた。本編集委員会にはコメントをいただき本稿は改善された。以上の方々に感謝申し上げます。

引用文献

- 天野和孝・佐藤時幸・小池高司, 2000a, 日本海中部沿岸地域における鮮新世中期の古海況－新潟県新発田市の鉄江層産軟体動物群－. 地質雑, **106**, 883-894.
- 天野和孝・鈴木政憲・佐藤時幸, 2000b, 鮮新世中期における暖流の日本海への流入－秋田県大平山周辺の天徳寺層産軟体動物群－. 地質雑, **106**, 299-306.
- Berner, R. A., 1984, Sedimentary pyrite formation: An up-date. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **48**, 605-615.
- Berner, R. A. and Raiswell, R., 1984, C/S method for distinguishing freshwater from marine sedimentary rocks. *Geology*, **12**, 365-358.
- Bordowsky, O. K., 1965a, Source of organic matter in marine basins. *Mar. Geol.*, **3**, 5-31.
- Bordowsky, O. K., 1965b, Accumulation of organic matter in bottom sediments. *Mar. Geol.*, **3**, 33-82.
- 花形聡・本山功・三輪美智子, 2001, 日本海地域における底生有孔虫 *Spirosigmoinella compress* の消滅と *Miliammina echigoensis* の出現の年代およびその古海洋学的意義－中新世～鮮新世の海水準変動との関連－. 地質雑, **107**, 101-116.
- 入月俊明・石田桂, 2007, 日本海沿岸の鮮新世貝形虫群集と海洋環境との関係. 化石, **82**, 13-20.
- Irizuki, T., Kusumoto, M., Ishida, K. and Tanaka, Y., 2007, Sea-level changes and water structures between 3.5 and 2.8 Ma in the central part of the Japan Sea Borderland: Analyses of fossil Ostracoda from the Pliocene Kuwae Formation, central Japan. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, **245**, 421-443.
- Katz, B.J., 1992, Pyrolytic assay of samples from Site 799. *Proc. ODP Sci. Res.*, **127/128**, 623-633.
- 公文富士夫・田原敬治, 2009, 中部山岳地域の湖沼堆積物の有機炭素含有率を指標とした過去 16 万年間の気候変動復元. 地質雑, **115**, 344-356.
- 三輪美智子・柳沢幸夫・山田桂・入月俊明・庄司真弓・田中裕一郎, 2004, 新潟県北蒲原地域胎内川における鮮新統鉄江層の浮遊性有孔虫化石層序－No.3 Globorotalia inflata bed 下限の年代について－. 石技誌, **69**, 272-283.
- 西田彰一・津田禾粒, 1961, 新潟県坂町附近の新第三系. 横山次郎教授記念論文集, 107-113.
- Oba, T., Kato, M., Kitazato, H., Koizumi, I., Omura, A., Sakai, T., and Takayama, T., 1991, Paleoenvironmental changes in the Japan Sea during the last 85,000 years. *Paleoceanography*, **6**, 499-518.
- Shackleton, N. J., Hall, M. A. and Pate, D., 1995, Pliocene stable isotope stratigraphy of site 846. *Proc. ODP Sci. Res.*, **138**, 337-355.
- Sampei, Y., Matsumoto, E., Kamei, T. and Tokuoka, T., 1997, Sulfur and organic carbon relationship in sediments from coastal brackish lakes in the Shimane peninsula district, southwest Japan. *Geochem. Jour.*, **31**, 245-262.
- Sampei, Y. and Matsumoto, E., 2001, C/N ratios in a sediment core from Nakaumi Lagoon, southwest Japan –usefulness as an organic source indicator-. *Geochem. Jour.*, **35**, 189-205.
- Sato, T., Yuguchi, S., Takayama, T. and Kameo, K., 2004, Drastic change in the geographical distribution of the cold-water nannofossil *Coccolithus pelagicus* (Wallich) Schiller at 2.74 Ma in the late Pliocene, with special reference to glaciations in the Arctic Ocean. *Mar. Micropaleontol.*, **52**, 181-193.
- Stein, R. and Stax, R., 1992, Late Cenozoic changes in flux rates and composition of organic carbon at Sites 798 and 799 (Sea of Japan). *Proc. ODP Sci. Res.*, **127/128**, 423-437.
- Tada, R., 1994a, What controls the deposition of bio-siliceous sediments in the Japan Sea? In: Iijima et al., eds. Siliceous, phosphatic and glauconitic sediments of the Tertiary and Mesozoic. *Proc. 29th IGC, Part C, VSP, Utrecht*, 17-30.
- Tada, R., 1994b, Paleoceanographic evolution of the Japan Sea. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, **108**, 487-508.
- 多田隆治, 1995a, 我が国における石油根源岩堆積環境の再検討. 石技誌, **60**, 5-14.
- 多田隆治, 1995b, 日本海における海洋環境の変遷と炭化水素ポテンシャル. 地質調査所編「地質ニュース」, **495**, 59-71.
- 土屋信之・高橋浩・柳沢幸夫・山本孝広・久保和也・駒澤正夫・広島俊男・内藤一樹, 1999, 20 万分の 1 地質図幅「村上」. 地質調査所.
- 渡辺真人・柳沢幸夫・田中裕一郎・山田桂・入月俊明・庄司真弓, 2003, 新潟県北蒲原地域胎内川に分布する鮮新統鉄江層の珪藻・石灰質ナンノ化石層序. 石技誌, **68**, 561-569.
- Yamada, K. and Ishiwatari, R., 1999, Carbon isotopic compositions of long-chain n-alkanes in the Japan Sea sediments: implications for paleoenvironmental changes over the past 85 kyr. *Org. Geochem.*, **30**, 367-377.
- Yamada, K., Tanaka, Y. and Irizuki, T., 2005, Paleoceanographic shifts and global events recorded in late Pliocene shallow marine deposits (2.80-2.55 Ma) of the Sea of Japan. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, **245**, 421-443.
- 柳沢幸夫・山元孝広, 1998, 玉庭地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所.

(受付：2009 年 11 月 2 日, 受理：2009 年 12 月 4 日)

付表 鉄江層泥質堆積物の全窒素・全有機炭素・全イオウ濃度

Sample	No.	thickness(m)	TN (%)	TOC (%)	TS (%)	C/N	C/S	Sample	No.	thickness(m)	TN (%)	TOC (%)	TS (%)	C/N	C/S
kwe1u	NATS326	210.8	0.036	0.37	0.53	10.5	0.7	kwe075	NATS234	152.7	0.039	0.33	0.76	8.4	0.4
kwe2u	NATS325	210.2	0.026	0.41	0.63	15.7	0.6	kwe073	NATS233	152.4	0.033	0.38	0.81	11.6	0.5
kwe3u	NATS324	209.1	0.038	0.48	0.81	12.6	0.6	kwe071	NATS232	151.8	0.039	0.35	0.79	8.9	0.4
kwe4u	NATS323	208.2	0.030	0.57	0.80	19.3	0.7	kwe069	NATS231	151.3	0.040	0.31	0.73	7.7	0.4
kwe5u	NATS322	207.2	0.041	0.55	0.82	13.6	0.7	kwe067	NATS230	151	0.051	0.35	0.58	7.0	0.6
kwe6u	NATS321	206.2	0.030	0.57	0.84	19.3	0.7	kwe065	NATS229	150.6	0.044	0.52	0.88	11.8	0.6
kwe7u	NATS320	205.2	0.044	0.46	0.69	10.6	0.7	kwe063	NATS228	150	0.033	0.49	0.86	14.7	0.6
kwe8u	NATS319	204.2	0.065	0.55	0.73	8.4	0.8	kwe061	NATS227	149.5	0.041	0.37	0.90	9.1	0.4
kwe9u	NATS318	203.1	0.040	0.39	0.46	9.8	0.8	kwe059	NATS226	149	0.057	0.43	0.85	7.6	0.5
kwe10u	NATS317	202.1	0.058	0.66	0.51	11.5	1.3	kwe057	NATS225	148.6	0.056	0.48	0.92	8.6	0.5
kwe11u	NATS316	200.8	0.043	0.40	0.32	9.3	1.3	kwe055	NATS224	148.1	0.019	0.35	1.16	18.8	0.3
kwe12u	NATS315	199.9	0.054	0.49	0.65	9.2	0.8	kwe053	NATS223	147.6	0.013	0.57	0.57	42.8	1.0
kwe13u	NATS314	199.3	0.032	0.72	1.12	22.2	0.6	kwe051	NATS222	147.2	0.044	0.33	0.85	7.4	0.4
kwe14u	NATS313	198.4	0.035	0.45	0.35	12.6	1.3	kwe0498	NATS221	146.2	0.017	0.76	0.78	45.4	1.0
kwe14.3u	NATS312	198.1	0.038	0.54	0.54	14.1	1.0	kwe0496	NATS220	145.8	0.035	0.82	0.64	23.6	1.3
kwe15u	NATS311	197.4	0.030	0.51	0.43	16.7	1.2	kwe049.2	NATS219	143.2	0.052	0.54	0.90	10.4	0.6
kwe155u	NATS310	196.9	0.028	0.45	0.76	16.0	0.6	kwe045	NATS217	141.5	0.054	1.16	1.11	21.4	1.1
kwe16u	NATS309	196.4	0.039	0.36	0.58	9.3	0.6	kwe043	NATS216	140.9	0.045	0.67	0.80	15.0	0.8
kwe163u	NATS308	196.2	0.034	0.45	0.49	13.5	0.9	kwe041	NATS215	140.4	0.057	0.71	0.74	12.5	1.0
kwe16.6u	NATS307	195.8	0.038	0.39	0.77	10.4	0.5	kwe039	NATS214	139.9	0.056	0.56	0.62	10.0	0.9
kwe17u	NATS306	195.4	0.034	0.56	0.73	16.6	0.8	kwe037	NATS213	139.4	0.061	0.70	0.71	11.5	1.0
kwe175u	NATS305	194.9	0.028	0.45	0.74	16.1	0.6	kwe035	NATS212	138.9	0.076	0.80	0.43	10.4	1.9
kwe18u	NATS304	194.6	0.036	0.35	0.42	9.9	0.8	kwe033	NATS211	138.4	0.065	0.79	0.49	12.0	1.6
kwe185u	NATS303	194.1	0.041	0.59	0.41	14.5	1.4	kwe031	NATS210	137.9	0.064	0.70	0.50	10.9	1.4
kwe19u	NATS302	193.6	0.030	0.56	0.52	18.6	1.1	kwe029	NATS209	137.4	0.048	0.64	0.60	13.6	1.1
kwe20u	NATS301	192.6	0.047	0.61	0.52	13.0	1.2	kwe027	NATS208	136.9	0.059	0.63	0.52	10.7	1.2
kwe21u	NATS300	191.7	0.053	0.71	0.79	13.4	0.9	kwe025	NATS207	136.4	0.031	0.92	0.67	29.5	1.4
kwe22u	NATS299	190.7	0.055	0.55	0.48	10.1	1.1	kwe023	NATS206	135.9	0.021	1.07	0.52	50.3	2.1
kwe23u	NATS298	189.6	0.044	0.59	0.66	13.3	0.9	kwe021	NATS205	135.4	0.034	0.53	0.63	15.7	0.8
kwe24u	NATS297	188.4	0.026	0.39	0.59	14.8	0.7	kwe019	NATS204	134.8	0.059	0.62	1.07	10.4	0.6
kwe25u	NATS296	187.5	0.035	0.55	0.91	15.8	0.6	kwe017	NATS203	134.4	0.046	0.68	0.66	14.7	1.0
kwe26u	NATS295	186.5	0.045	0.48	0.72	10.7	0.7	kwe015	NATS202	133.9	0.044	0.63	0.63	14.4	1.0
kwe265u	NATS294	185.8	0.030	0.50	0.12	16.9	4.3	kwe013	NATS201	133.4	0.042	0.55	0.55	13.1	1.0
kwe27u	NATS293	185.5	0.037	0.56	0.81	15.2	0.7	kwe011	NATS200	132.9	0.054	0.70	0.51	12.9	1.4
kwe275u	NATS292	185	0.038	0.57	0.12	14.9	4.8	kwe009	NATS199	132.4	0.045	0.48	0.63	10.8	0.8
kwe28u	NATS291	184.4	0.053	0.42	0.25	7.9	1.6	kwe007	NATS198	131.9	0.047	0.65	0.62	13.8	1.0
kwe283u	NATS290	183.9	0.034	0.53	0.48	15.7	1.1	kwe005	NATS197	131.4	0.037	0.57	0.77	15.6	0.7
kwe285u	NATS289	183.4	0.033	0.60	0.49	18.1	1.2	kwe003	NATS196	130.9	0.005	0.98	0.69	191.5	1.4
kwe29u	NATS288	183	0.033	0.59	0.87	17.9	0.7	kwe001	NATS195	130.5	0.048	0.46	0.83	9.6	0.6
kwe30u	NATS287	182	0.044	0.45	0.63	10.2	0.7	kw7a	NATS194	129.6	0.047	0.49	0.74	10.3	0.7
kwe169	NATS286	181	0.031	0.67	0.84	21.7	0.8	kw6a	NATS193	128.4	0.045	0.58	0.97	12.8	0.6
kwe167	NATS285	180	0.045	0.47	0.55	10.5	0.9	kw5a	NATS192	124.6	0.046	0.56	0.50	12.3	1.1
kwe166	NATS284	179.4	0.041	0.72	0.44	17.5	1.6	kw4.5	NATS191	123.6	0.047	6.42	0.39	136.6	16.3
kwe165	NATS283	178.9	0.042	0.82	0.49	19.5	1.7	kw4a	NATS190	123	0.047	0.52	0.81	11.1	0.6
kwe165	NATS283	178.9	0.038	0.77	0.54	20.2	1.4	kw3.5	NATS189	122.1	0.058	0.85	0.97	14.6	0.9
kwe163	NATS281	178.9	0.029	0.52	0.47	17.6	1.1	kw3a	NATS188	121	0.047	0.55	0.81	11.9	0.7
kwe164	NATS282	178.5	0.036	0.77	0.70	21.3	1.1	kw2.5	NATS187	120.2	0.060	0.73	0.78	12.2	0.9
kwe162	NATS280	177.7	0.037	0.83	0.64	22.6	1.3	kw2a	NATS186	119.3	0.056	0.63	0.71	11.3	0.9
kwe161	NATS279	177.4	0.025	0.71	0.53	28.5	1.3	kw1.5	NATS185	118.4	0.071	0.81	0.93	11.4	0.9
kwe160	NATS278	177.1	0.029	0.79	0.73	27.4	1.1	kw1a	NATS184	117.4	0.057	0.65	0.69	11.5	0.9
kwe159	NATS277	176.8	0.043	0.79	0.82	18.5	1.0	TA0	NATS183	116.9	0.055	0.74	0.85	13.4	0.9
kwe152	NATS276	174.1	0.031	0.84	0.66	27.0	1.3	TA1	NATS182	115.7	0.051	0.77	0.35	15.1	2.2
kwe151	NATS275	173.5	0.024	0.72	0.46	29.7	1.6	TA1.5	NATS181	114.8	0.062	0.77	0.73	12.5	1.1
kwe150	NATS274	173	0.029	0.80	0.54	27.2	1.5	TA2	NATS180	113.8	0.041	0.71	0.40	17.5	1.8
kwe149	NATS273	172.5	0.051	0.57	0.72	11.2	0.8	TA2.5	NATS179	112.8	0.066	0.82	0.94	12.4	0.9
kwe147	NATS272	171.5	0.041	0.84	0.67	20.4	1.2	TA3	NATS178	111.8	0.050	0.73	0.48	14.7	1.5
kwe145	NATS271	170.5	0.059	0.65	0.45	11.0	1.4	TA3.5	NATS177	111.1	-	0.67	0.68	-	1.0
kwe143	NATS270	169.7	0.031	0.82	0.66	26.2	1.2	TA4	NATS176	110.3	0.033	0.61	0.40	18.2	1.5
kwe141	NATS269	169	0.023	0.80	0.69	35.6	1.2	TA4.5	NATS175	109.6	-	0.63	0.73	-	0.9
kwe139	NATS268	168.6	0.050	0.50	0.56	10.0	0.9	TA5	NATS174	108.6	0.042	0.39	0.12	9.2	3.3
kwe137	NATS267	168.1	0.013	0.51	0.42	39.1	1.2	kw72	NATS173	108.1	-	0.74	1.08	-	0.7
kwe135	NATS266	167.5	0.014	0.49	0.32	34.9	1.5	kw71	NATS172	107.6	0.060	0.70	0.40	11.7	1.8
kwe133	NATS265	167	0.019	0.56	0.32	30.3	1.7	kw70	NATS171	107.1	0.056	0.62	0.54	11.1	1.1
kwe131	NATS264	166.5	0.050	0.39	0.51	7.7	0.8	TA6	NATS170	106.5	0.053	0.78	0.32	14.7	2.4
kwe129	NATS263	166	0.021	0.59	0.30	28.7	1.9	kw69	NATS169	106	0.053	0.72	0.54	13.5	1.3
kwe127	NATS262	165.5	0.027	0.52	0.29	19.7	1.8	kw68	NATS168	105.1	0.053	0.69	0.67	13.0	1.0
kwe125	NATS261	164.9	0.021	0.46	0.27	21.9	1.7	kw67	NATS167	104.5	0.064	0.86	0.76	13.4	1.1
kwe123	NATS260	164.4	0.041	0.38	0.34	9.3	1.1	TA7	NATS166	104	0.063	0.88	0.37	14.0	2.4
kwe121	NATS259	163.9	0.040	0.53	0.55	13.3	1.0	kw66	NATS165	103	0.063	0.87	0.93	13.9	0.9
kwe119	NATS258	163.4	0.043	0.65	0.38	15.1	1.7	kw65	NATS164	102.5	0.072	0.79	0.74	10.9	1.1
kwe117	NATS257	163	0.044	0.56	0.54	12.5	1.0	kw64	NATS163	101.7	0.080	0.87	0.97	10.9	0.9
kwe116	NATS256	162.7	0.044	0.59	0.53	13.3	1.1	TA8	NATS162	101.3	0.063	0.81	0.39	12.9	2.1
kwe115	NATS255	162.4	0.054	0.52	0.67	9.7	0.8	kw63	NATS161	100.5	0.083	0.89	1.07	10.8	0.8
kwe114	NATS254	162.2	0.046	0.61	0.69	13.2	0.9	kw62	NATS160	100	0.079	0.99	0.70	12.6	1.4
kwe113	NATS253	161.9	0.041	0.67	0.62	16.3	1.1	kw61	NATS159	99.4	0.074	0.88	0.73	11.9	1.2
kwe111	NATS252	161.4	0.037	0.91	0.42	25.0	2.2	TA9	NATS158	98.8	0.061	0.75	0.37	12.2	2.0
kwe109	NATS251	161	0.038	0.76	0.48	19.8	1.6	kw60	NATS157	98	0.064	0.79	0.84	12.3	0.9
kwe107	NATS250	160.6	0.051	0.35	0.23	6.8	1.5	kw59	NATS156	97.4	-	0.76	0.75	-	1.0
kwe105	NATS249	160.1	0.027	0.63	0.39	23.2	1.6	kw58	NATS155	96.7	-	0.80	0.89	-	0.9
kwe103	NATS248	159.6	0.026	0.37	0.33	14.6	1.1	TA10	NATS154	96.2	0.063	0.85	0.53	13.5	1.6
kwe101	NATS247	159	0.029	0.46	0.46	15.7	1.0	kw57	NATS153	95.6	-	0.84	1.13	-	0

