

平成19年度 厚岸湖・別寒辺牛湿原学術研究助成

「牡蠣の殻を利用した厚岸湖・別寒辺牛湿原の
詳細な古環境分析へのアプローチ」

北海道大学大学院理学院自然史科学専攻
岨 康輝

要旨

厚岸湖・別寒辺牛湿原の詳細な古環境分析を行うために、厚岸湖で採取した牡蠣殻 (*Crassostrea gigas*) の酸素・炭素安定同位体比を時系列に沿って分析を行うとともに、厚岸湖・別寒辺牛湿原で採取した海水ならびに淡水の酸素安定同位体比を分析した。牡蠣 (*Crassostrea gigas*) は、過去の水温の季節変化や塩分濃度などを復元することに、以下の2点の理由で優れている。(1) 牡蠣は移動しないため、定点観測記録の代替物として利用できる。(2) 付加成長時に、その時々々の古環境情報を閉じ込めている可能性がある。今回の分析の結果、牡蠣殻の酸素安定同位体比は、平均-0.086‰、最大値が1.85‰、最小値が-1.83‰であった。また炭素安定同位体比は、平均-0.589‰、最大値が0.198‰、最小値が-1.43‰であった。採取された海水と淡水の酸素安定同位体変動は、平均は、5.34‰であった。また、最低値は塩分が1 psuのときで-12.1‰であり、最高値は塩分が28psuで-0.827‰であった。これらと気象データをもとに作り出した炭酸塩生成モデルの酸素安定同位体比の年間変動と分析した牡蠣殻の酸素同位体比変動のデータを比較する事によって、牡蠣殻の酸素安定同位体比は季節性を有している事が判明した。

地球環境が変化しつつあると言われている現在、厚岸湖・別寒辺牛湿原の環境変遷を見極めていく事は、ラムサール条約における重要課題である「ワイズユーズ」を実践していく上で重要な事である。そのためには、厚岸湖・別寒辺牛湿原の環境が、時代を経るとともにどのように変化してきたのかを明らかにする必要がある。詳細な過去の環境情報は、今後どのように自然環境が変遷していくのかを予測する上で、重要な予測材料となる。

これまで、過去の古環境復元の研究例としては、珪藻遺骸を利用した低層湿原の過去3000年間の海進・海退の復元（沢井、鹿島（1996）、沢井、三塩（1998）、Sawai（2001））や、花粉化石を用いた高層湿原の環境変遷復元がおこなわれてきた。しかしながら、これらの方法では数年単位程度の季節変化を復元することは困難であった。

貝殻を利用した、数年単位以下の季節変動を復元する試みが、これまで多くおこなわれてきている（e.g. Watanabe *et al.*, 2004）。日本に広く分布しており、亜寒帯地域にも生息する牡蠣（*Crassostrea gigas*）は、過去の水温の季節変化や塩分濃度などを復元することに、以下の2点の理由で優れている。（1）牡蠣は移動しないため、定点観測記録の代替物として利用できる。（2）付加成長時に、その時々古環境情報を閉じ込めている可能性がある（Kirby, 2000；Kirby *et al.*, 1998；Surge *et al.*, 2001）。

本研究では、現世の牡蠣殻の酸素および炭素安定同位体比変動を利用することによって、厚岸湖・別寒辺牛湿原地域における古環境復元のための基礎研究をおこなうことを目的としている。

2 試料と方法

2-1 分析項目とデータ

本研究の分析では、牡蠣の殻を1個体分と厚岸湖・別寒辺牛湿原の水を使用した。牡蠣の殻は、酸素並びに炭素安定同位体比測定をおこなった。また、水試料は水の酸素安定同位体比の分析をおこなった。それらのデータとの比較に用いる気象データは、北海道大学北方生物圏フィールドセンターの厚岸臨海実験所報告(2002～2005年)を利用した。

2-2 試料採取

牡蠣(*Crassostrea gigas*)の殻は、厚岸湖にて2005年10月に採取した。採取した牡蠣は、実験室にて生体部分を取り除いた。その後、蒸留水にて洗浄し、60℃のオーブンで8時間乾燥させた。乾燥した殻のうち、蝶番を含んだ左殻を分析した(Fig.2)。牡蠣の殻は、蝶番と最大成長軸を含むように、背部から腹部にかけて成長方向に垂直に切り出し、スラブを製作した。

水試料は、水の酸素安定同位体比分析用に採水した。採水地点は、Fig.1に示す。採水

時期は2006年11月（秋）、2007年6月（初夏）、2008年2月（冬）の計3回である。試料は、現地にて水温並びに塩分を測定した後、空気が入らないようにガラス容器に入れ、ブチルゴム栓とアルミシールにて密封した。

2-3 気象データ

牡蠣殻試料の酸素・炭素安定同位体比並びに水の酸素安定同位体比との比較に用いる水温、塩分、気温等のデータは、北海道大学北方生物圏フィールドセンターで計測されているデータ(2002～2005年)を用いた。

使用したデータは、気温(Temperature; Temp.)、水温 (Sea surface temperature; SST)、塩分 (Sea surface salinity; SSS)、クロロフィル-a (Chlorophyll-a; CHL-a)である (Fig.3, table.1)。

厚岸湖における気温変動(2002～2005年)は、 $-11.2^{\circ}\text{C} \sim 26.2^{\circ}\text{C}$ であった。夏の7,8,9月に気温が最高温度に達し、12,1,2月には最低温度を記録していた。厚岸湖での水温変動(2002～2005年)は、 $-1.2^{\circ}\text{C} \sim 22^{\circ}\text{C}$ であった。水温と気温は、とても良く相関していた ($R = 0.98$)。厚岸湖での塩分変動は(2002～2005年)は、 $24.7\text{psu} - 33.0\text{psu}$ を示した。しかしながら、塩分の月平均変動は、気温とは良く相関していない。クロロフィル-a (2003～2005年)は、 $0.700\mu\text{g/L} - 2.14\mu\text{g/L}$ を示した。

2-4 牡蠣殻の酸素・炭素安定同位体比分析

牡蠣殻の蝶番部分の最大成長軸を残して、厚さ1mm程度に調整したスラブを作成した。スラブはエタノールにて、超音波洗浄器で数分洗浄した。その後、自然乾燥させ、マイクロドリルを用いて試料を $150\mu\text{m}$ 間隔で粉末試料として取り出した（試料数 $n=47$ ）。マイクロドリルは、同位体比に影響が出ないように低速でおこなった。

酸素・炭素安定同位体比測定には、北海道大学大学院地球環境研究院のKeel Device連結のFinnegan社製同位体質量分析計MAT251を用いて測定した。炭酸塩試料のガスは、100%リン酸で、 70°C のもので粉末試料を化学反応させて生成した。

この質量分析計では、国際原子力機関 (IAEA)のNBS19 をスタンダードとして使用した。本分析のスタンダードは酸素安定同位体比の標準偏差は ($2\sigma = \pm 0.348\%$)、炭素安定同位体比の標準偏差は ($2\sigma = \pm 0.135\%$)であった。

2-5 水試料の酸素安定同位体比分析

水の酸素安定同位体比測定は、北海道大学大学院地球環境研究院のKeel Device連結のFinnegan社製同位体質量分析計MAT251を用いて測定した。採水した水は、水(2ml)と二酸化炭素(1ml)をシリンジに注入し、恒温槽にて $25^{\circ}\text{C} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ に保った。全ての分析は、分析試料を恒温槽に入れてから7時間以上24時間以内におこなった。

3 結果と考察

3-1 牡蠣の酸素・炭素安定同位体比並びに海水の酸素安定同位体比

本研究で用いた牡蠣殻(*Crassostrea gigas*)の酸素安定同位体比は、平均-0.086‰であり、最大値が1.85‰で最小値が-1.83‰であった (Fig.4)。また、酸素安定同位体比の変動は3.68‰であった。炭素安定同位体比は、平均-0.589‰であり、最大値が0.198‰で最小値が-1.43‰であった。また、炭素安定同位体比の変動は1.63‰であった。

酸素安定同位体比変動を示したグラフは、最初のサンプル位置から、12mmまでの間では明瞭な季節変化を示している。一方で、12mm - 14.5mmの間ではあまりはっきりとした季節変動は見て取ることができない。

厚岸湖・別寒辺牛湿原（汽水域）で採水された海水と淡水の酸素安定同位体比は、塩分との良い相関を示した (Fig.5)。酸素安定同位体比を塩分の一次式が以下のように示すことができる。

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{water}} = 0.249 \cdot S(\text{psu}) - 0.922 \quad (n=9, r^2=0.7257) \quad \cdots \cdots (1)$$

S‰は、塩分を示す。水の酸素安定同位体比の平均は、-5.81‰であった。また、最低値は塩分が1 psuのときで-12.1‰であり、最高値は塩分が28psuで-0.827‰であった。変動領域は、12.9‰であった。分析した海水サンプルは、厚岸湖上の様々な場所から時期を分けて採取した。分析値の変動は、陸水や降水や潮汐の変化等が考えられるが、今回は何が大きな要因を示しているかは判明しなかった。今後、サンプルを定期的かつ広範囲にて採水し、それを分析する事によって、明らかになる可能性がある。また、現在分析途中にある残りのサンプルを分析する事によって明らかになる可能性がある。

また、この塩分変動における海水の酸素安定同位体比変動は、牡蠣殻の酸素同位体変動の約300%であるため、海水の酸素安定同位体比変動は、牡蠣殻の酸素安定同位体比変動に大きな寄与を示している事が推測される。

3-2 モデル殻と牡蠣殻との比較

牡蠣殻の酸素安定同位体比変動 ($\delta^{18}\text{O}_{\text{shell}}$)と環境変動の関係を調べるため、分析した牡蠣殻（炭酸塩）と厚岸湖・別寒辺牛湿原の海水と淡水から、化学平衡によって生み出される炭酸塩（モデル殻）の同位体比変動を比較した (Fig.6)。

モデルで使用したパラメーターは実測された水温を塩分を利用している。水の酸素安定同位体比変動は、(1)式に実測された塩分変動値を代入する事によって求めた。今回の分析で使用した牡蠣殻は、カルサイトという鉱物である。そのため、モデルの酸素安定同位

体比 ($\delta^{18}\text{O}_{\text{model}}$) は、O'NELL *et al.* (1969)によって見積もられた、無機的にカルサイトが生成される式(2)を利用した。ただし、O'NELL *et al.* (1969)の式を変形したものを(2)式として示す。

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{model}} = 21.90 - 3.162 (31.06 + t)^{0.5} + \delta^{18}\text{O}_{\text{water}} \quad \dots\dots (2)$$

tは0℃から30℃の間で成立する。生成された $\delta^{18}\text{O}_{\text{model}}$ は、塩分よりも水温の季節変化に対応している。 $\delta^{18}\text{O}_{\text{model}}$ と $\delta^{18}\text{O}_{\text{shell}}$ の相関はとても良いが、最大値と最小値の値に差が生じている。 $\delta^{18}\text{O}_{\text{model}}$ の平均値は-0.158‰、最大値は3.21‰、最小値は-3.04‰であり、変動値は6.25‰であった。

この $\delta^{18}\text{O}_{\text{model}}$ は、平均値、最大値、最小値、変動値全ての項目において、 $\delta^{18}\text{O}_{\text{shell}}$ よりも大きな値を示している。この原因は、現在のところ主に2つ考えられる。(1) 殻成長速度の変化 (2) 海水酸素安定同位体比の変化である。

牡蠣の殻 (*Crassostrea gigas*) は11℃以下では殻成長が停止するとの報告がなされている(Wang *et al.*, 1995)。そのため、殻成長が停止したときに、周りの海水酸素同位体変動と同調しなかった可能性がある。 $\delta^{18}\text{O}_{\text{shell}}$ の変動図(Fig.4)から、水温が低い(酸素安定同位体比が大きい値)時は、高い(小さい値)ときに比べて、曲線が鋭利である事が分かる。そのため、冬期は牡蠣の殻成長が止まる可能性がある。一方で、厚岸の海水温度は11℃以下になる事は約7ヶ月(2002-2005年、月平均値より; Fig.3)ある事から、厚岸に生息する牡蠣とWang *et al.* (1995)が分析した牡蠣との比較は、注意を払わなければならない。(2)に関しては、今後分析試料を増やす事によって、海水酸素安定同位体比変動の要因を解明できる可能性がある。

今後、更なる牡蠣殻の分析並びに厚岸湖・別寒辺牛湿原の水分析を行う事によって、牡蠣殻から過去の環境変遷を高時間分解能で復元できる可能性がある。

謝辞

本調査において多くの便宜を行って頂いた厚岸町水鳥観察館専門官の渋谷辰生氏をはじめとするスタッフの皆様に厚く感謝いたします。北海道大学大学院地球環境研究院の入野智久先生ならびにM1の多田圭吾氏、北海道大学理学院自然史科学専攻M2の川島龍憲氏には、安定同位体分析に関して大変お世話になりました。北海道大学北方生物圏フィールド科学センター水圏ステーション厚岸臨海実験所の濱野章一氏、桂川英徳氏をはじめとするスタッフには、厚岸湖での採水作業で協力していただき、大変感謝いたします。2007年の湖ならびに湿原域の調査では、北海道大学大学院理学研究院M1の大森一人氏に試料採取を手伝っていただきました。以上の方々に深く感謝いたします。

最後になりましたが、別寒辺牛川流域で調査する機会を与えていただいた厚岸町町長若狹靖氏はじめ関係者の皆様に厚くお礼申し上げます。

文献

北海道大学フィールド科学センター．2002～2005．厚岸臨海実験報告書．

Kirby, M. X., 2000. Paleoecological differences between tertiary and Quaternary *Crassostrea* oysters, as revealed by stable isotope sclerochronology. *Palaaios*, **15**, 132-141.

Kirby, M. X., Soniat, T. M., and Spero, H. J., 1998. Stable isotope sclerochronology of pleistocene and recent oyster shells (*Crassostrea virginica*). *Palaaios*, **13**, 560- 569.

O'Neil, J.R., Clayton, R.N. and Mayeda, T.K., 1969. Oxygen isotope fractionation between divalent metal carbonates. *Journal of Chemical Physics*, **51**, 5547-5558.

Sawai, Y., 2001. Episodic emergence in the past 3000 years at the Akkeshi estuary, Hokkaido, Northern Japan. *Quaternary Research*, **56**, 231-241.

沢井裕紀、鹿島薫．1996．珪藻遺骸群集からみた北海道厚岸地方における完新世後半の相対的海水準変動と古環境の復元．化石, **61**, 21-31.

沢井裕紀、三塩和歌子．1998．北海道東部厚岸湿原における過去3,000 年間の海進・海退．第四紀研究, **37**, 1-12.

Surge, D., Lohmann, K. C., and Dettman, D. L., 2001. Controls on isotopic chemistry of the American oyster, *Crassostrea virginica*: implications for growth patterns. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, **172**, 283-296.

Watanabe, T., Suzuki, A., Kawahata, H., Kan, H., and Ogawa, S., 2004. A 60-year isotopic record from a mid-Holocene fossil giant clam (*Tridacna gigas*) in the

Ryukyu Islands: physiological and paleoclimatic implications.
Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology , **212**, 343-354.

Table. 1 北海道大学厚岸臨海実験場における月平均の気温、水温、
塩分、クロロフィル-a のデータ。

	月	気温 (°C)	水温 (°C)	塩分 (psu)	クロロフィル-a ($\mu\text{g/L}$)
2005	Nov	6.7	10	28.6	1.27
	Oct	13.4	15	25.2	1.22
	Sep.	17.8	18.2	26	1.51
	Aug	19.6	18.6	26.5	2.14
	Jul	14.9	14	27.8	1.64
	Jun	12.9	12.4	28.7	1.45
	May	7.3	7.1	28.2	1.43
	Apr	5	4.3	26.5	1.49
	Mar	0.1	1	28.4	1.36
	Feb	-3.8	-0.5	26.5	0.97
	Jan	-2.7	0.7	27.1	No data
2004	Dec	0.1	3.6	27.9	1.18
	Nov	7.9	10.2	27.6	1.05
	Oct	12.7	14.4	27.7	1.08
	Sep.	17.7	17.9	29.6	1.25
	Aug	19.6	19.1	30.7	1.11
	Jul	17	16.3	30.7	1.11
	Jun	14.2	13	30.2	0.92
	May	9.4	8.8	29.1	0.93
	Apr	4.8	4.1	29.8	0.85
	Mar	0.2	1.6	28.3	0.94
	Feb	-1.6	0.7	27	1.19
	Jan	-2.7	1.5	26.7	0.82
2003	Dec	0	4.6	24.7	1.16
	Nov	6.8	9.4	25.3	1.06
	Oct	12.3	13.4	27.2	0.95
	Sep.	15.8	15.4	28.9	1.2
	Aug	16.7	16.2	28.5	1.35
	Jul	13.5	13.8	27.3	0.9
	Jun	12.4	11.7	25.6	1.01
	May	7.7	7.7	26.5	0.7
	Apr	4.6	3.6	27.2	1.13
	Mar	-0.3	0.1	29.1	0.87
	Feb	-4.8	-0.9	31.7	1.13
	Jan	-4.6	-0.6	30.4	1.21
2002	Dec	-2.9	2.5	30.8	No data
	Nov	5	7.2	29.1	No data
	Oct	12.4	14	27.1	No data
	Sep.	16.3	16.7	29.6	No data
	Aug	16.2	15.3	30.9	No data
	Jul	15.6	14.8	29.9	No data
	Jun	10.9	11.6	29.4	No data
	May	10.5	9.5	27.1	No data
	Apr	5.5	5.8	26.6	No data
	Mar	1.6	2	27.4	No data
	Feb	-1.9	-0.1	29.1	No data
	Jan	-2.6	0	30.7	No data

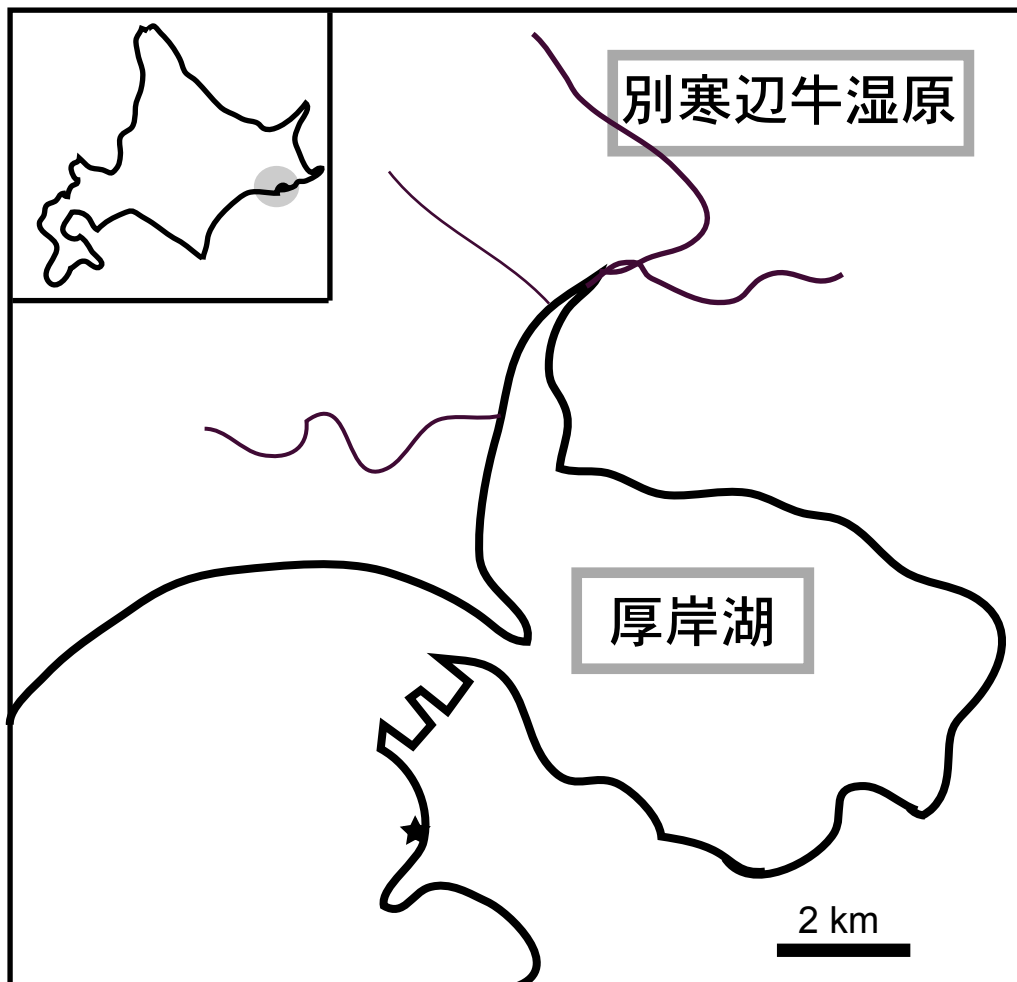


Fig.1 研究をおこなった厚岸湖・別寒辺牛湿原地域の略図。
★は、北海道大学厚岸臨海実験場を示す。採水は、
湖全域からおこなった。

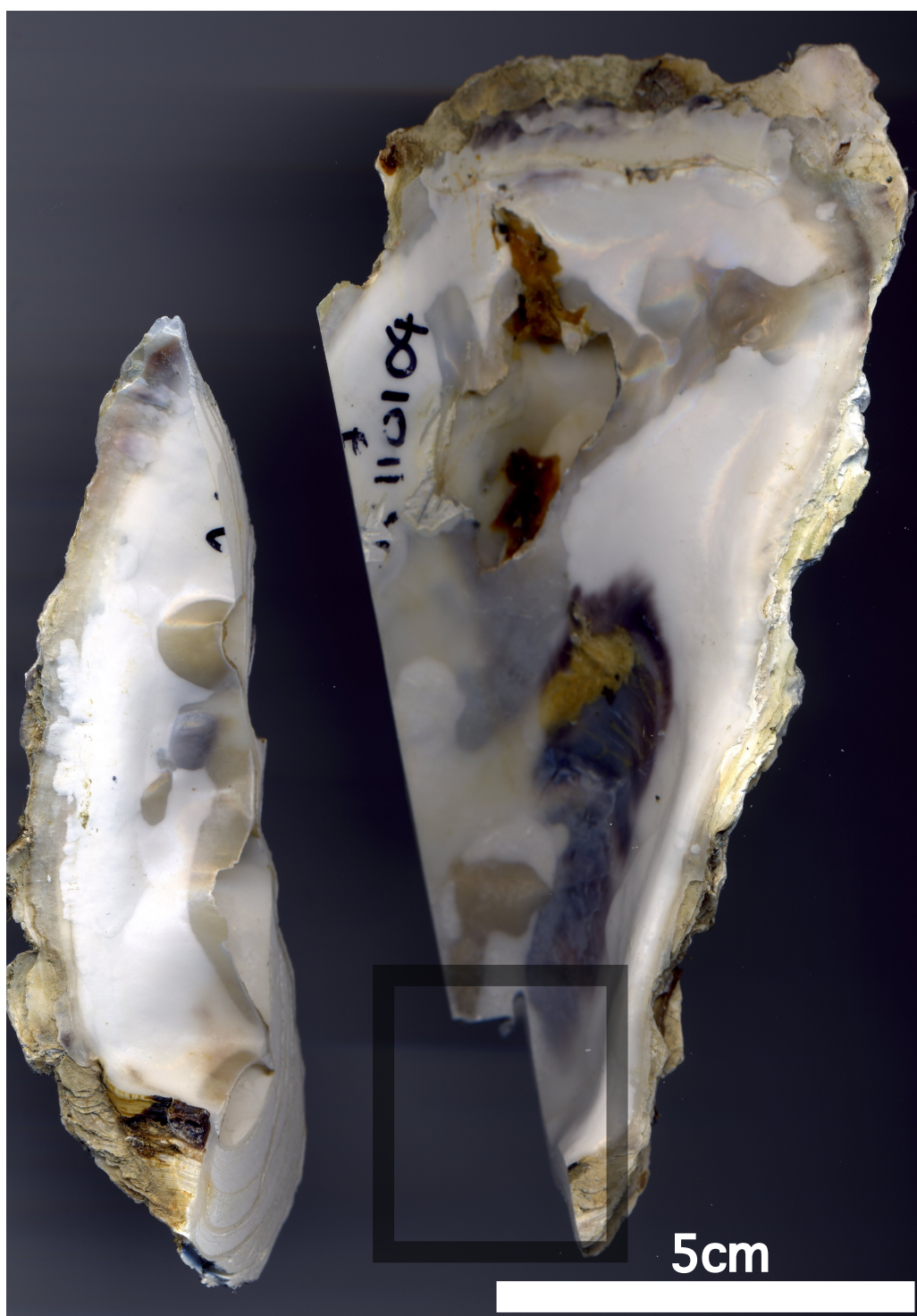


Fig.2 採取した牡蠣殻(*Crassostrea gigas*)。四角い線で囲んだ
蝶番範囲が、酸素・炭素安定同位体比を分析をした部分。

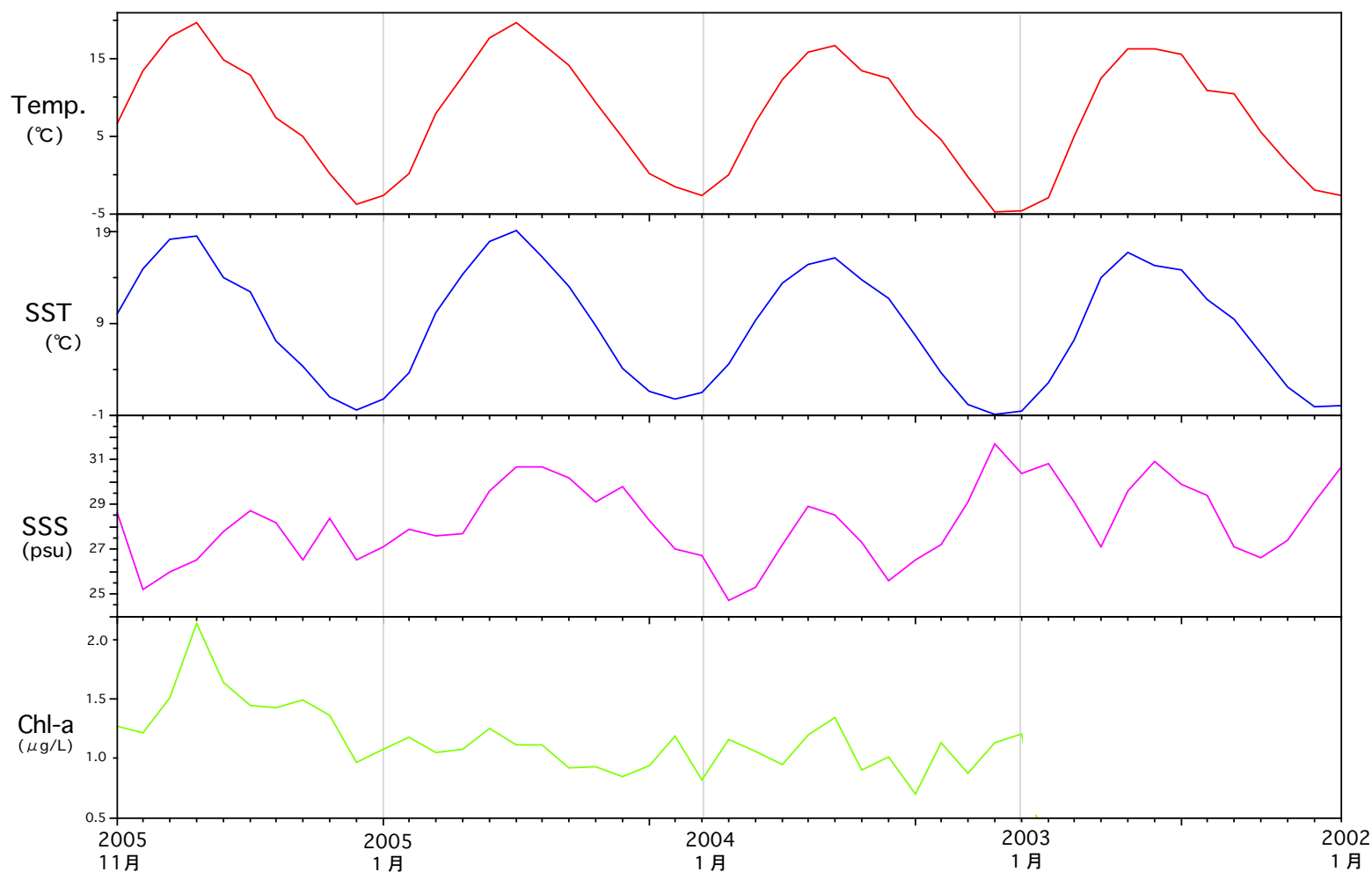


Fig.3 気象データを示す。上から気温(Temp.)、水温(SST)、塩分(SSS)、クロロフィル-a(CHL-a)の、2002年から2005年のデータを示す。(北海道大学北方生物圏フィールド科学センター厚岸臨海実験所報告書から引用)

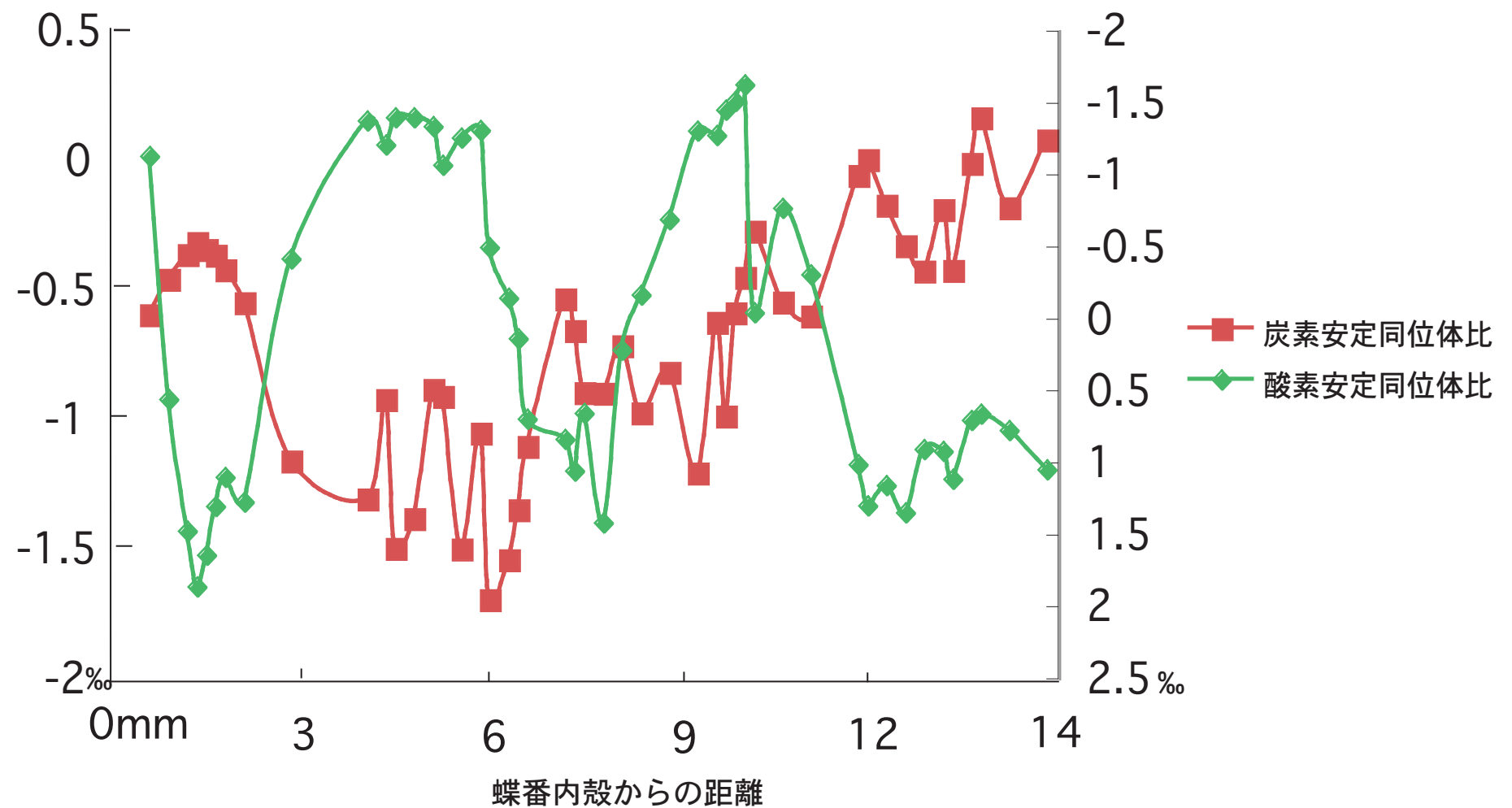


Fig.4 牡蠣殻の酸素並びに炭素安定同位体比のプロット図。 左の縦軸は炭素安定同位体比の目盛であり、右の縦軸は酸素安定同位体比の目盛である。横軸は、蝶番部分のサンプルを採取し始めた所からの距離を示す。横軸の0mmは、牡蠣サンプル採取日を示している。

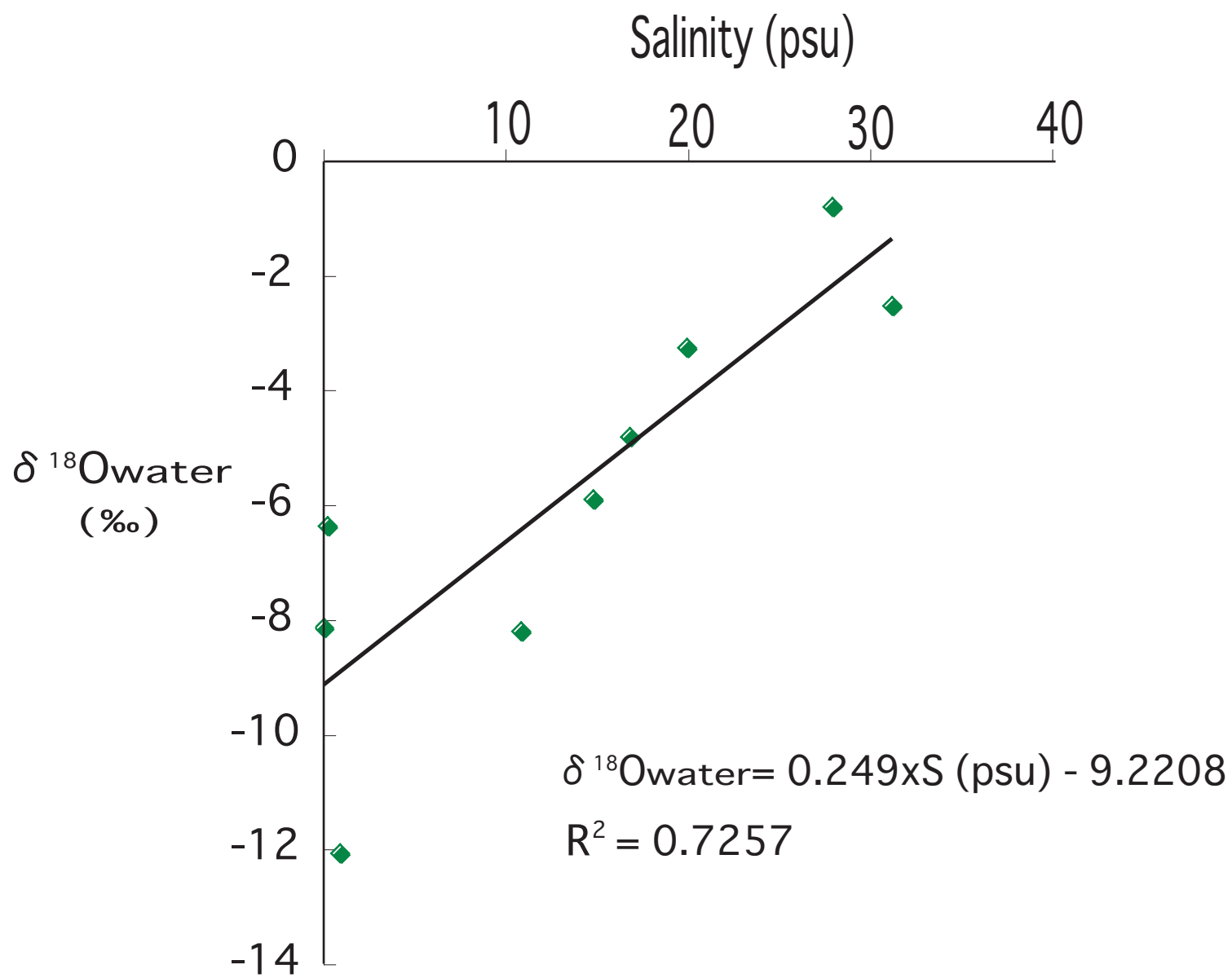


Fig. 5 厚岸湖・別寒辺牛湿原で採水した水の酸素同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$) と塩分 (Salinity)

の関係を示した図。

Model $\delta^{18}\text{O}$ Shell

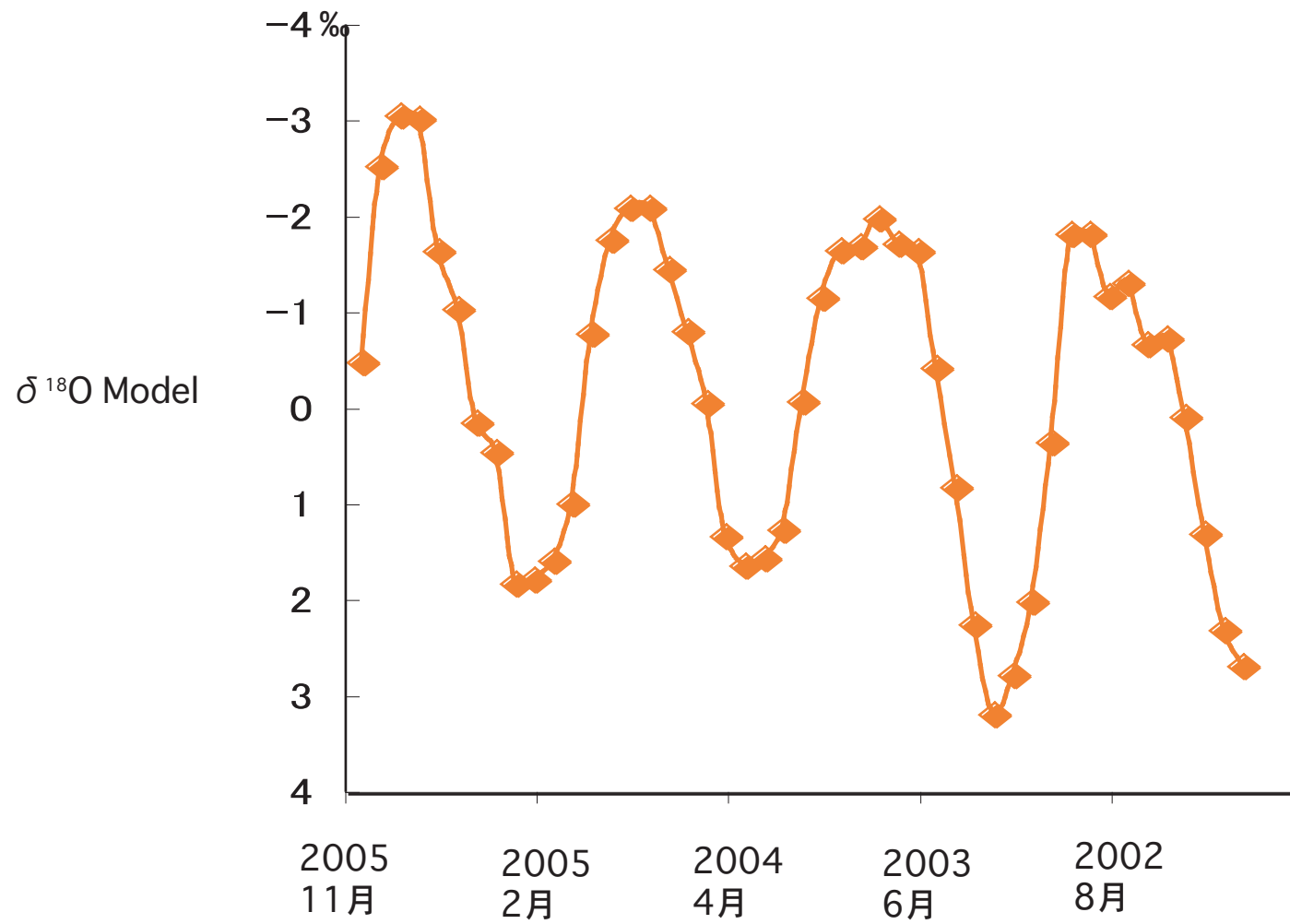


Fig. 6 モデル計算によって推測された炭酸塩の酸素安定同位体比変動。