

突然で急激な気候変動の メカニズム

北大・理 海洋気候物理学研究室
学部4年 藤本剛志

目次

1 . はじめに

2 . 使用モデル

3 . Younger Dryas

3 . 1 YDの概要

3 . 2 YDの北太平洋への影響

3 . 3 水温躍層のベンチレーションの強化

4 . ENSOのシャットダウン

4 . 1 ENSOのシャットダウンと地球軌道の関係

4 . 2 太陽の強制力のEOF解析

5 . 議論

6 . まとめ

7 . 参考文献

1. はじめに

地球上の広い地域で、突然で急激な気候変動が増えているが、このような急激な気候変動のメカニズムは明らかになっていない。そこで本発表では、紹介論文

「An Orbitally Driven Tropical Source for Abrupt Climate Change :
AMY C. CLEMENT, MARK A. CANE, AND RICHARD SEAGER .
JOURNAL OF CLIMATE VOL. 14, NO. 11」

「Modelling teleconnections between the North Atlantic and North Pacific during the Younger Dryas : UWE MIKOLAJEWICZ,
THOMAS J. CROWLEY, ANDREAS SCHILLER & REINHARD VOSS .
Nature 387, 384–387 (1997)」

に沿って、代表的な気候変動Younger DryasとENSOのシャットダウンのメカニズムの解明をレビューしていく。

2. 使用モデル

- Younger Dryas解析
ECHAM3/LSG (大気海洋混合層モデル)
LSG海洋モデル
- ENSO解析
Zebiak and Cane (1987) モデルの改良モデル

3 . Younger Dryas

3 . 1 YDの概要

YDとは一般的に、約12kyr-11kyr BPに北大西洋に流れ込んだLaurentide氷床の融解水(melt-water)により北大西洋深層水(NADW)の形成が遮断され、その結果生じた寒冷化(Fig. 1)として説明される。

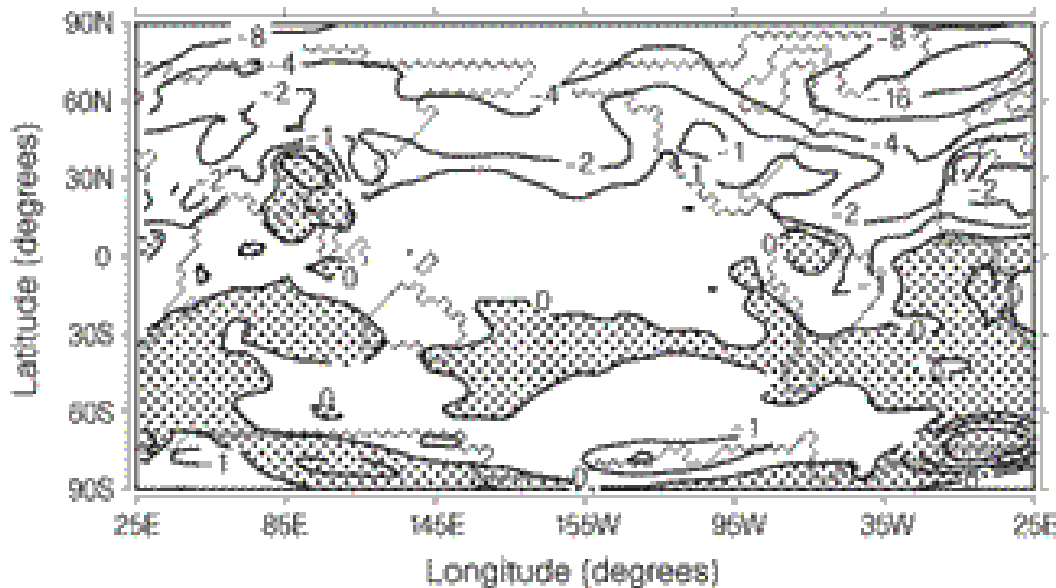


Fig. 1 ECHAM/LSGモデルでのNADW遮断中の地表付近平均気温の10年(NADW遮断が始まって241-250年目)変動。実線は±0,1,2,4,8,16Kの等値線。ドット域は変動が正の地域。

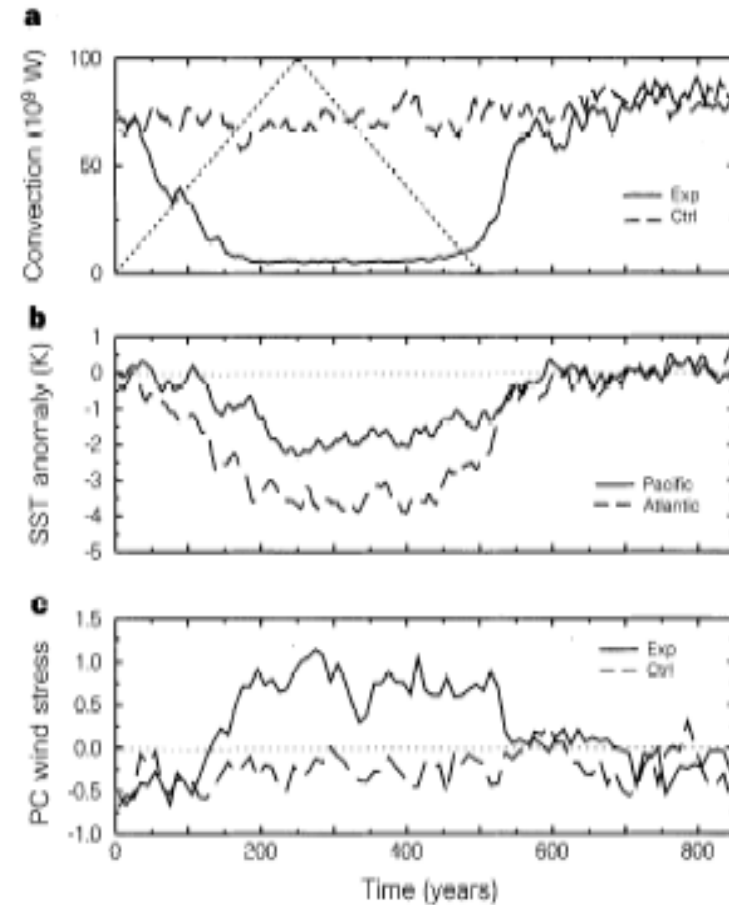


Fig. 2 実験して得た結果(Exp)と標準結果(Ctrl)の時系列。a. 北大西洋と北極海の海洋伝播量。点線は融解水の流入量。b. SST変動。実線が太平洋の北緯30度、破線が大西洋の北緯30-70度間のSST変動。c. Fig. 3aで示す風応力のEOFの主成分(PC)。

3.2 YDの北太平洋への影響

YDの影響は北大西洋だけに限らず、北太平洋にまで及ぶ(Fig. 1, Fig. 2b).

この原因はYDに引き起こされるSSTの強い変動と、海氷の配置によるものである。Fig. 3a,3bより、次のことが示唆される。

- ・60° N 155° Wに強い循環
- ・45° N付近に偏西風帯
- ・アメリカ西海岸とカナダ沿いの北向き成分

シベリアの寒気の移流

エクマン輸送の収束による深層水循環

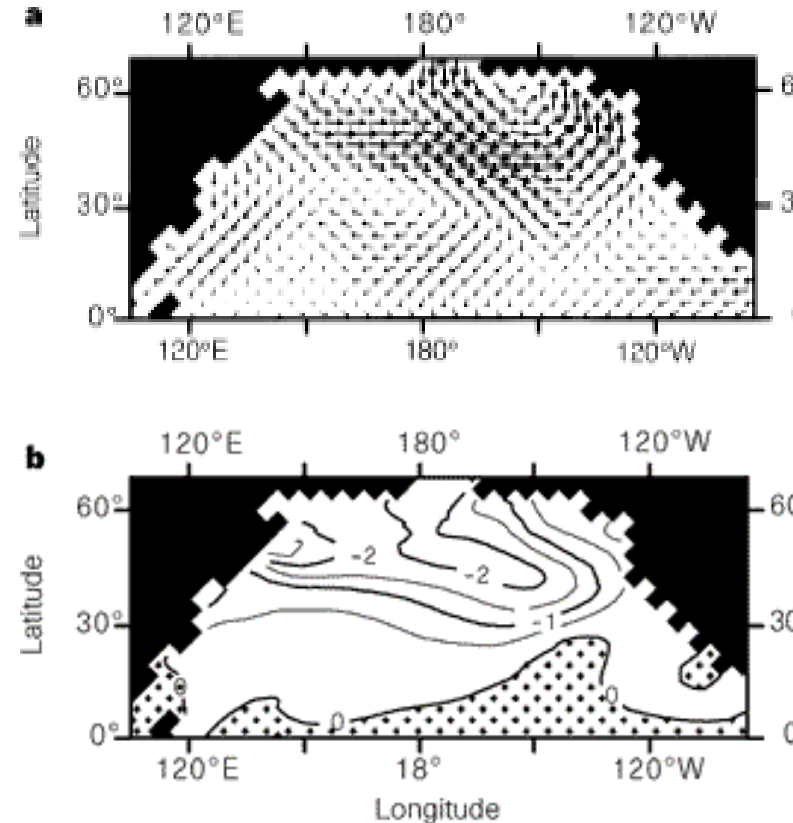


Fig. 3 a. 北半球の風応力のEOF第1モード(全変動の38.5%を説明). b. SST変動(単位はK). SST変動は風応力のEOFのPCを線形回帰分析して求める. 風応力がSSTに大きく関わるにつれて、シベリアからの寒気をより引き寄せせる.

3.3 水温躍層のベンチレーションの強化

地表での寒冷化は北太平洋での水温躍層のベンチレーションを強くする。北東太平洋で冬季の混合層の深さが増していることが東西平均モデルで示されている[Wright and Stocker 1993]。ベンチレーションの強化により、水温躍層がより南に深く浸透される。

これを確かめるために、YD間で太平洋の35° N沿いの地表と、深さ450mとの ^{14}C の差をトレーサーモデルを用いて示す(Fig. 4)。

NADWが遮断されてる間、つまり寒冷化が顕著な200-600年目に、ベンチレーションが強く働いている。

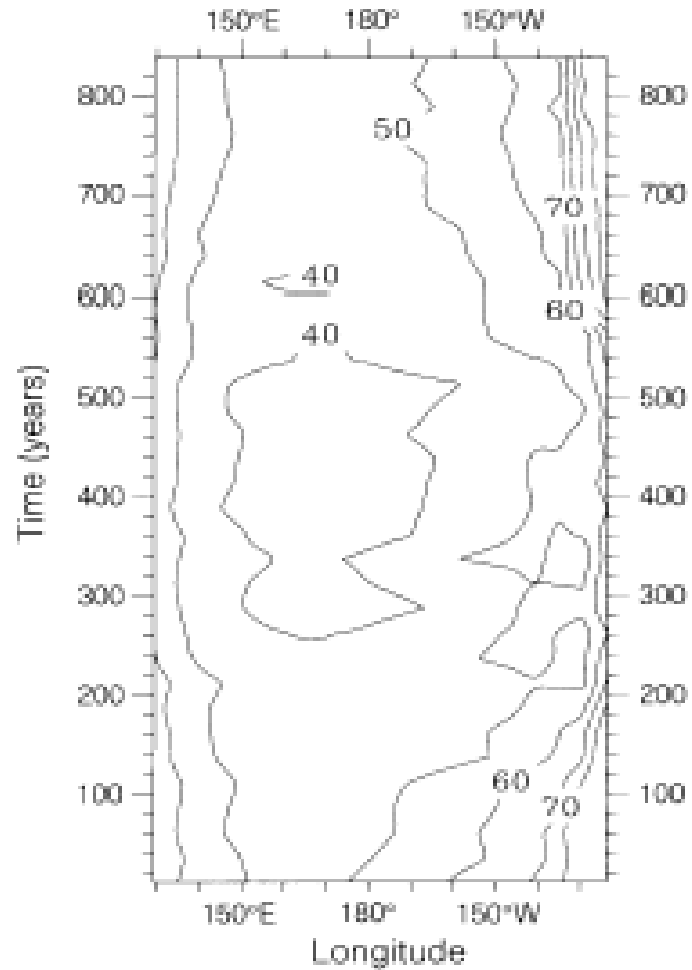


Fig. 4 35° N太平洋での深さ450mと地表との放射性炭素の差(^{14}C)を示すトレーサーモデル。 ^{14}C は $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ で与えられ、単位は%である。

4 . ENSOのシャットダウン

4 . 1 ENSOのシャットダウンと地球軌道の関係

ENSOは突然数世紀にわたり季節周期にとらわれ、無効化される。これをシャットダウンとし、年平均Nino-3が5年以上0.5を越えないことを定義とする。

この例として、450-400kyrと50-0kyrにENSOが数世紀にわたりシャットダウンしてる(Fig. 5a,b)。このとき、太陽の強制力(solar forcing)が非常に似ている。つまり、地球の軌道配置が似ているのである。

そこで、地球の軌道パラメーターの変化が、どのようにENSOに影響を与えるのかをまとめる。

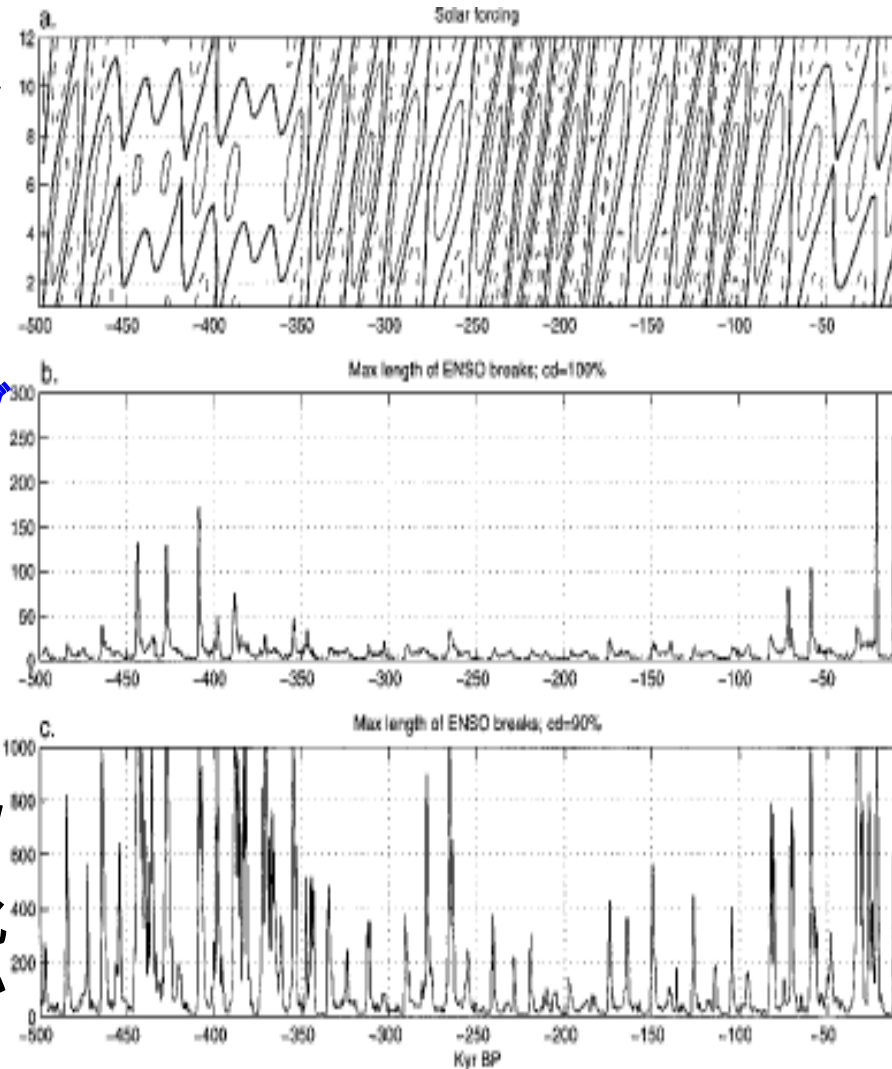


Fig. 5 a. x軸に年, y軸に月をとった, 海洋ヒートフラックスとしてかけられた赤道上で太陽強制力.
b. $C_d=100\%$ でのENSOのシャットダウンの期間(yr).
c. bと同様で, $C_d=90\%$.

4.2 太陽の強制力のEOF解析

4.1からさらに、理解を助けるために、太陽の強制力をEOF解析する。第1モード、第2モードはそれぞれ、**全変動の50%と48%**を説明する(Fig. 6a,b)。また、PCはFig. 6cで示される。これら2つのEOFは、他の惑星の引力によって22kyrで変わる**近日点歳差**を描写する。PC1(第1モード主成分)が最大値をとるとき、北半球で近日点は**夏**に起き、PC2(第2モード主成分)が最大値をとるときは**春**に起きる。

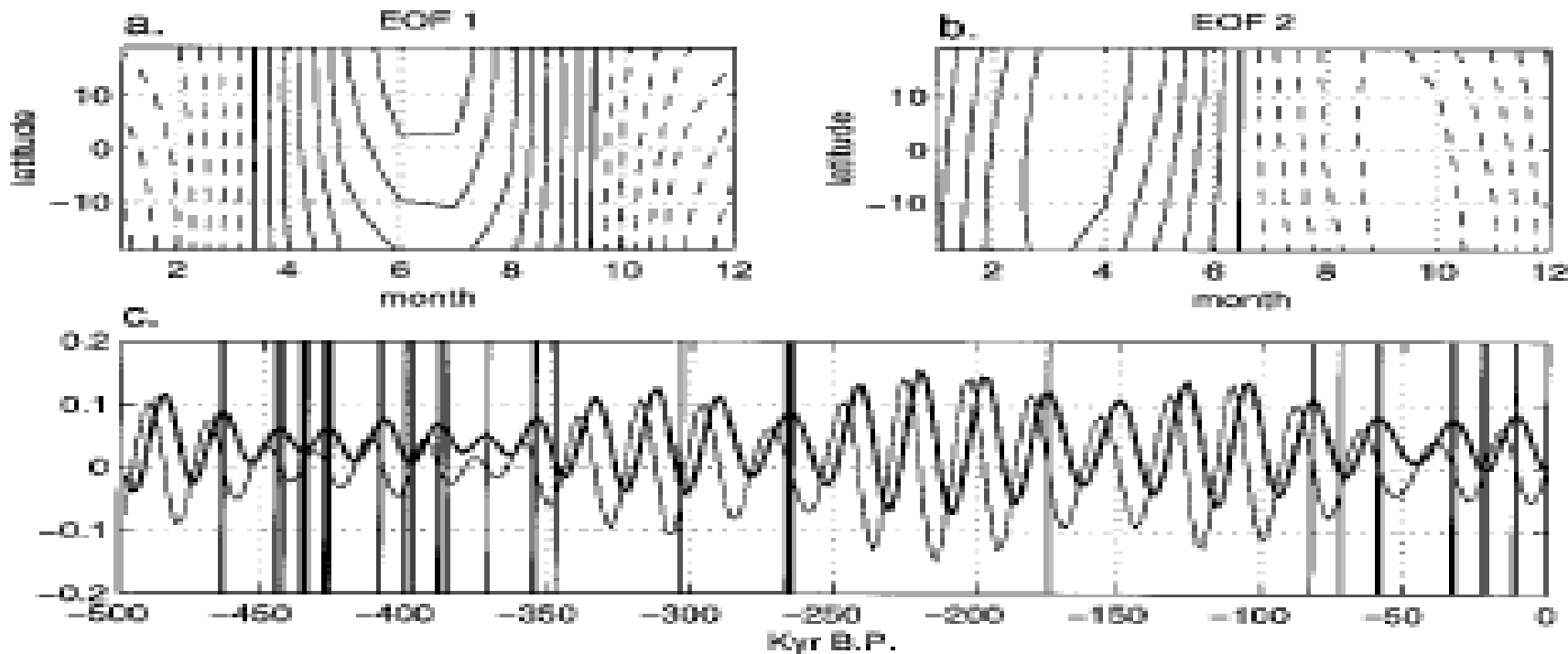


Fig. 6 a. 太陽強制力のEOF第1モード. b. EOF第2モード. c. EOF1のPC(濃い実線)とEOF2のPC(薄い実線). なお、縦線は25年以上続くENSOシャットダウンを示す。

次に、これら2つのパラメーター(PC1,PC2)の関数でENSOの振る舞いを調べる(Fig. 7)。

これから、ENSOはPC2>0のときと、PC2<0のときで、相当に異なった振る舞いをする。PC2>0では、振動は強く、規則正しい3年周期を持った振る舞いをし、PC2<0では、振動は強く、不規則な4年周期の振る舞いをする。

さらに、ENSOのシャットダウン(Fig. 7の黒丸)は上の2つの振る舞いの移り変わりのときに起こる。つまり、PC2が正から負(または負から正)に移り変わるときである。この移り変わりの周期は近日点が冬か夏にあるときに起こる。

よって、ENSOシャットダウンの周期、11kyrか近日点歳差周期の半分を得る。

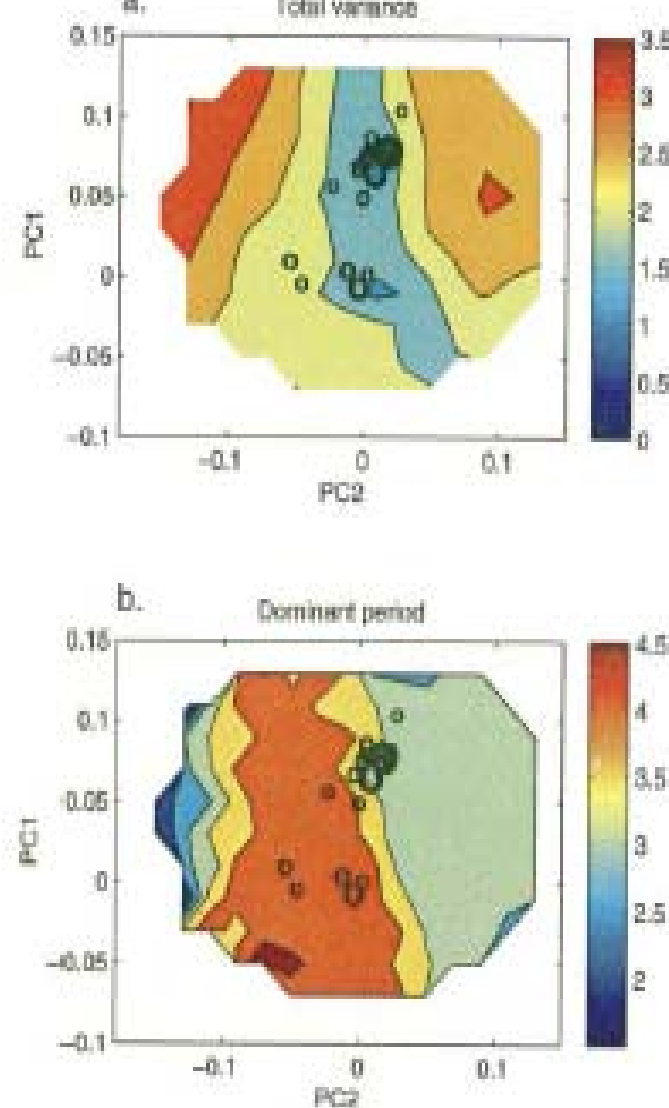


Fig. 7 a. PC2とPC1の関数として、月間Nino-3の全変動()の等値線。b. 周期の等値線。なお、黒丸はENSOシャットダウンが25年以上続いたときの値。円の大きさは期間に比例する。

5. 議論

ここで、興味深い事象がある。

・YDと同時にENSOのシャットダウンが起きている (Fig. 8) .

・AGCM(大気大循環モデル)を使って、YD時に起きた赤道太平洋付近のSST勾配の増加が北アメリカ全体に影響を及ぼし、Laurentide氷床のmelt-waterを示している(Yin and Battisti 2001) .

・Schmittner et al. (2000)は、大西洋から流出する淡水がラニーニャによって減少してる間、大西洋の熱塩循環が弱まることを示した。これは北大西洋地域の気候がYD時のSST変化のようにラニーニャに反応して変動することを示唆している。

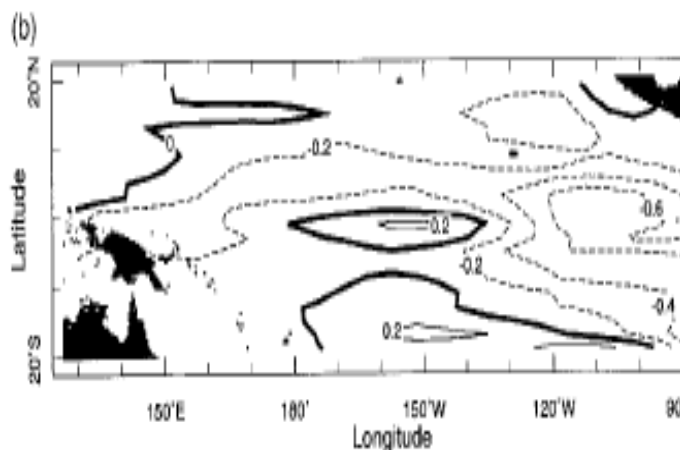
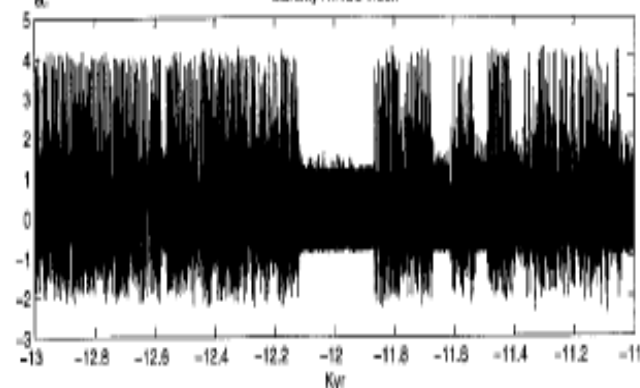


Fig. 8 a. 11-13kyr間の月間Nino-3()
b. 12kyr前後のENSOシャットダウン中の年平均SST偏差.

まだ、明らかではないが、YDも軌道周期により引き起こされる出来事であるかもしれない。

6. まとめ

- YDは北大西洋に限った寒冷化ではなく、北太平洋にまで影響を及ぼす。
- 太平洋ではベンチレーションを強化させ、熱塩循環を活発にした。
- ENSOのシャットダウンは地球軌道に大きく影響を受ける。
- シャットダウンの周期も近日点歳差によるものである。
- YDとENSOともに地球軌道の影響を受けて起きる出来事であるかもしれない。

7 . 参考文献

Zebiak, S. E., and M. A. Cane, 1987: A model El Niño-Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.*, 115, 2262-2278.

Wright, D. G. & Stocker, T. F. 1993: *Ice in the Climate System*. Springer, Berlin, 395-416.

Yin, J., and D. Battisti, 2001: The importance of tropical sea surface temperature patterns in simulations of Last Glacial Maximum climate. *J. Climate*, 14, 565-581.

Schmittner, A., C. Appenzeller, and T. F. Stocker, 2000: A linear stochastic dynamical model of ENSO. Part I: Analysis. *J. Climate*, 14, 445-466.