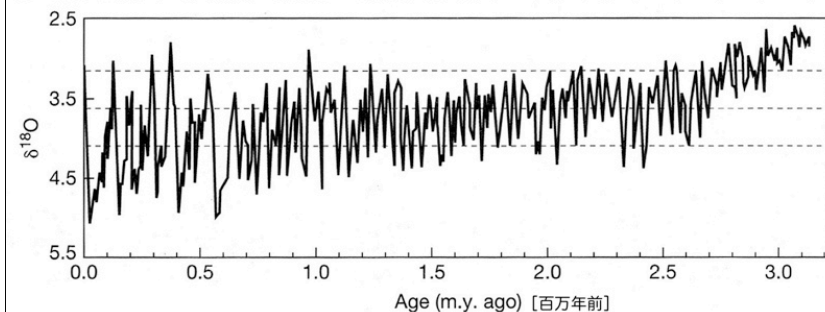


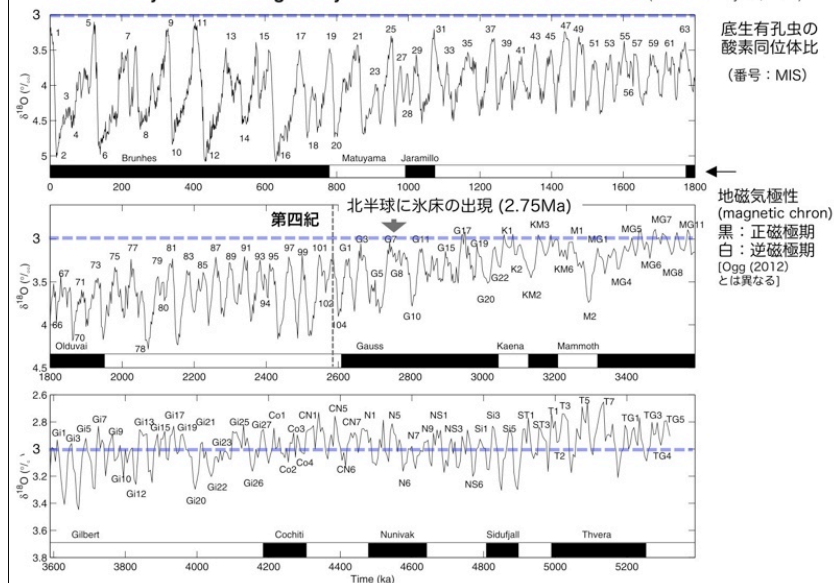
地球史における気候変動：過去300万年間の気候変動

酸素同位対比の変化：過去300万年間

底生有孔虫 [北大西洋中緯度：深海底の堆積物柱状試料（コア）] (Raymo, 1994; Kump et al., 1999)

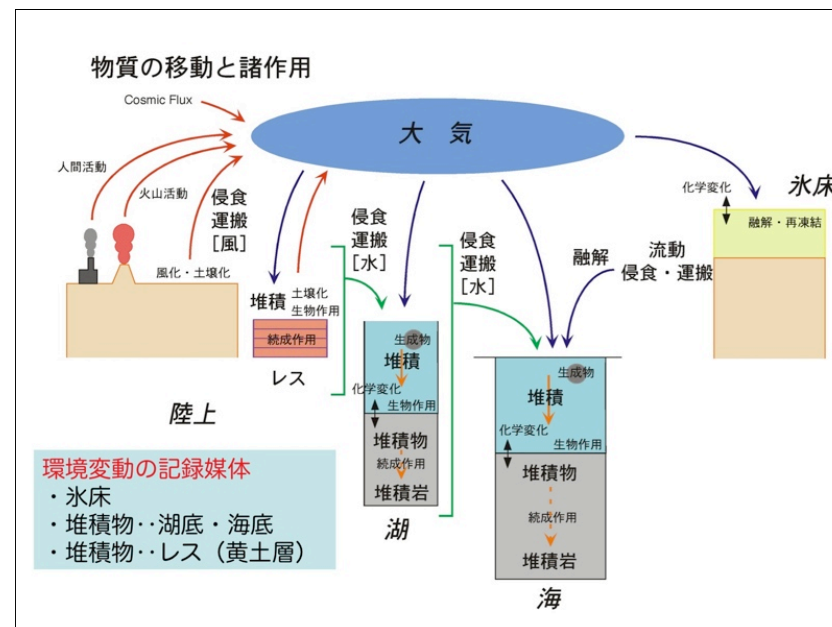
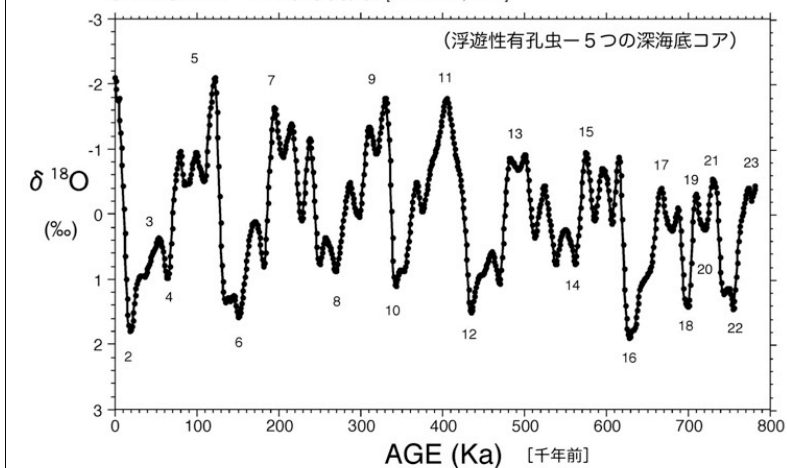


LR04 “5.3-Myr stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}\text{O}$ records” (Lisiecki & Raymo, 2005)



過去80万年間の酸素同位体比の変動

SPECMAP time scale [Imbrie et al., 1984]



海洋底の掘削

堆積物、海洋地殻、マントル物質の採取
→地球のダイナミクス、環境変動の解析

- **Deep Sea Drilling Program (DELP)**

深海掘削計画

1968年 アメリカが開始

1975年～ 国際共同 (IPOD)

- **Ocean Drilling Program (ODP)**

国際深海掘削計画 1983年～

- **Integrated Ocean Drilling Program (IODP)**

統合国際深海掘削計画 米・欧・日主導 2003年～

- **International Ocean Discovery Program (IODP)**

国際深海科学掘削計画 米・欧・日主導 2013年～

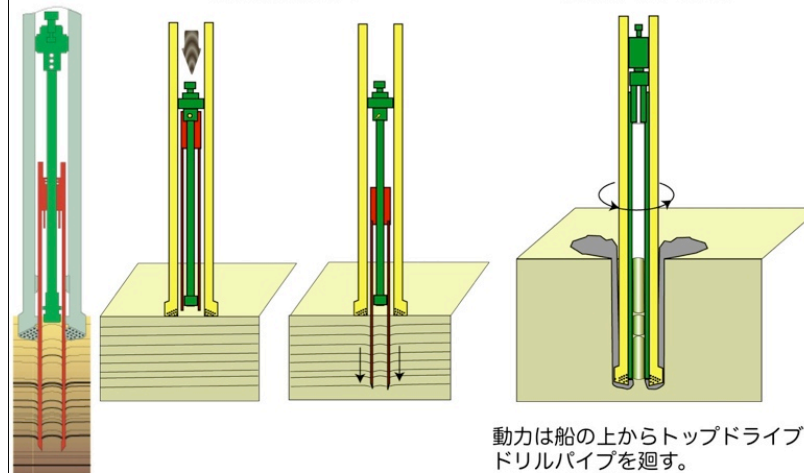


水圧式ピストンコアリングシステム (HPC)

回転式コアリングシステム (RCB)

水圧式ピストンコアラ

回転式コアリングシステム



動力は船の上からトップドライブでドリルパイプを廻す。
固い地層に適用。

氷床掘削・南極大陸

[http://cdiac.ornl.gov/trends/co2/ice_core_isotopes.html]



米国・バード基地

1968年

2164m 7万年前

ロシア・ボストーク基地

1990年

2546m 20万年前

1998年

3623m 42万年前

ドイツ・コーネン基地

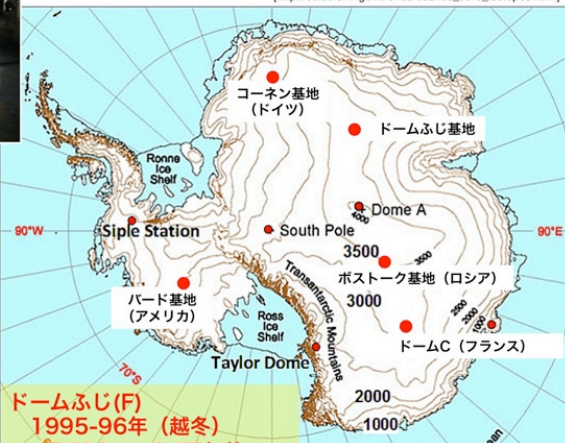
2004年

2566m 19万年前?

仏/伊・ドームC基地

2005年

3270m 74万年前



ドームふじ(F)

1995-96年 (越冬)

2503m: 34万年前

2003-07年 (夏期のみ)

3035.22m: 72万年前

氷床深層コア: グリーンランド

キャンプ・センチュリー

1961-66年

1237m, 12.5万年+

Dye3

1979-81年

2037m, 9万年+

GRIP

1990-92年

3029m, 20万年

GISP2

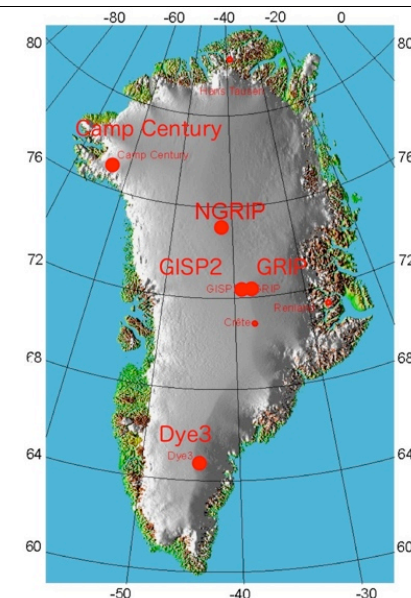
1990-92年

3028m, 25万年+

NGRIP (NGRIP1, NGRIP2)

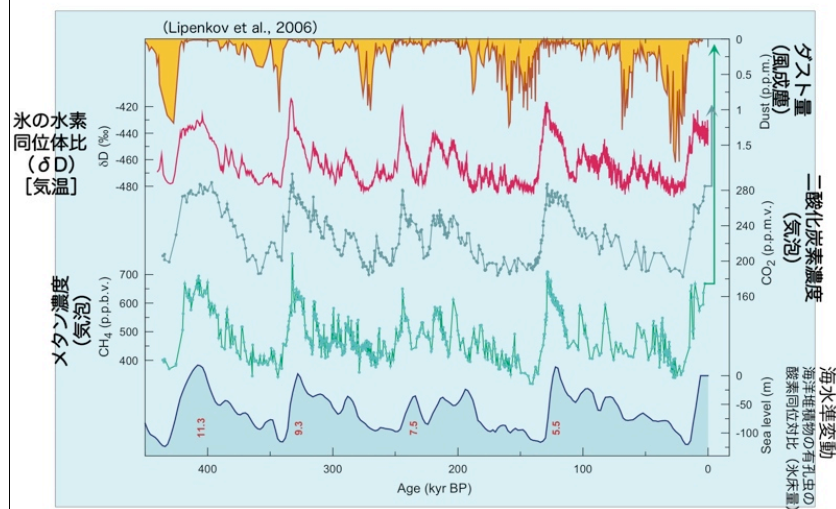
1999-2003年

3085m, 12.3万年

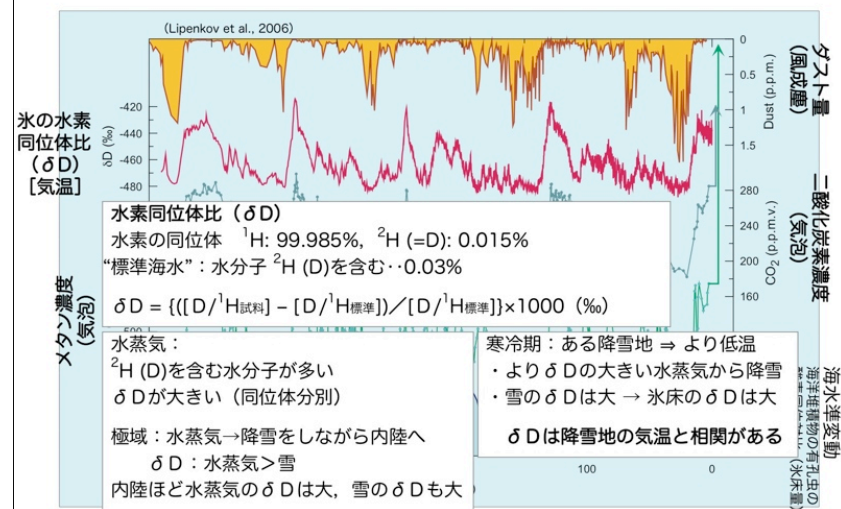


[http://www.gfy.ku.dk/~www-glac/ngrip/index_eng.htm]

氷床からの環境変動データ：南極・ボストーク基地

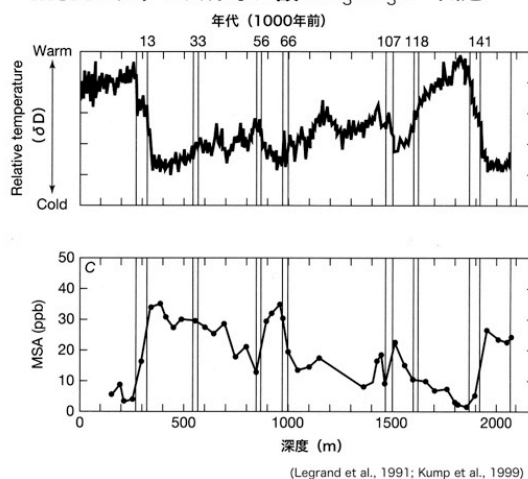


氷床からの環境変動データ：南極・ボストーク基地



氷床からの環境変動データ：南極・ボストーク基地

MSA：メタンスルホン酸 CH_3SO_3H ・気泡



海洋植物プランクトンが形成する硫化ジメチルが
($CH_3)_2S$
[揮発性 (磯の臭い)]
大気中で OH^- , NO_3^- と反応してMSAとなる
MSA：大気中で凝結核 (エアロゾル形成)
↓
雲形成

氷期-間氷期サイクル

周期的変動 41万年, 10万年, 4.1万年, 2.3万年, 1.9万年

= ミランコビッチ・サイクル (日射量の周期的変動)

ミランコビッチ (M. Milankovitch)

氷期の原因に関する天文学説 (1926)

気候変動の天文学理論と氷河時代 (1941)

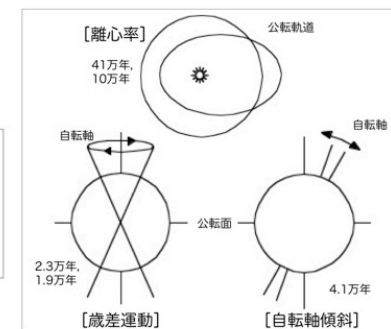
★地球の軌道要素の変化に伴う

日射量の周期的な変動

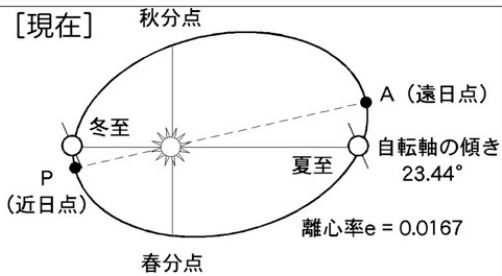
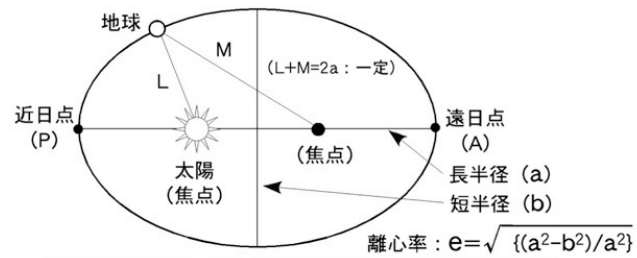
- 北半球高緯度地域・夏期 -
- 氷床の盛衰

地球の軌道要素の変化

- (1) 離心率の変化
- (2) 歳差運動：
自転軸のゆらぎ・黄道面の回転
- (3) 自転軸の傾きの変化



地球の軌道要素

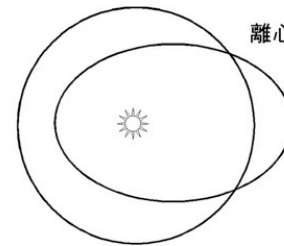


最長: $1.521 \times 10^8 \text{ km}$
最短: $1.471 \times 10^8 \text{ km}$

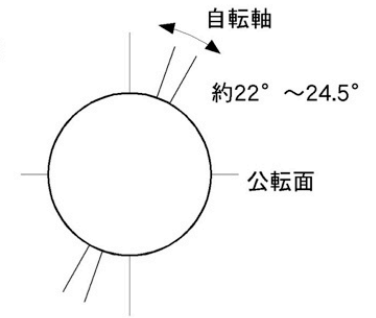
地球の軌道要素の変動

(1) 離心率
年間日射量の変化 (約0.2%)

(2) 自転軸の傾き
日射量の季節変動を助長



離心率 = 約 0 ~ 0.06

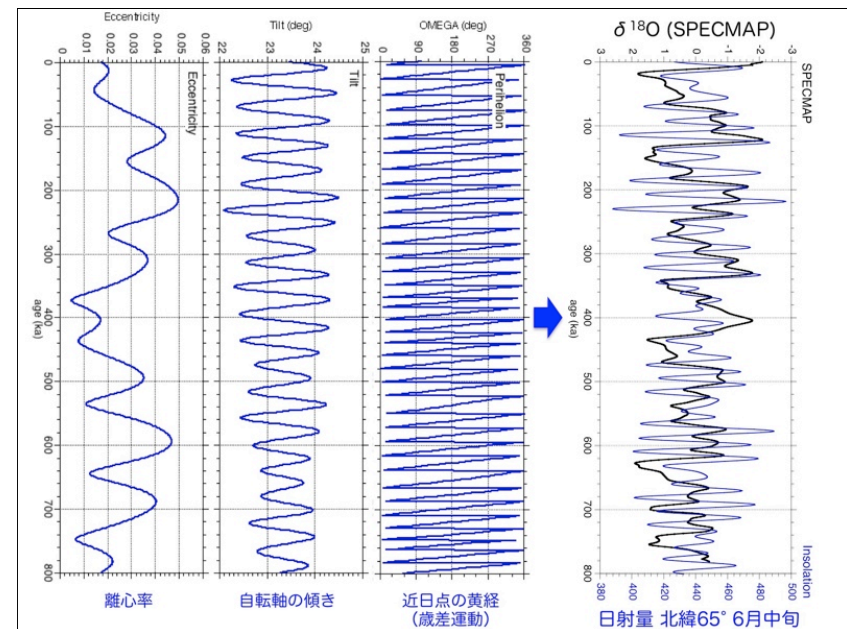
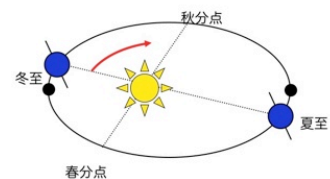
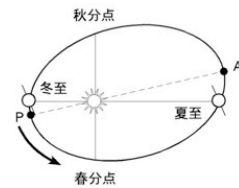
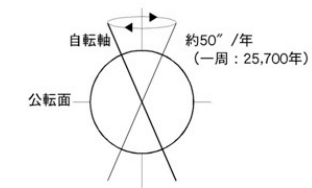


離心率 = 0
半径: $1.496 \times 10^8 \text{ km}$
離心率 = 0.06
最長: $1.586 \times 10^8 \text{ km}$
最短: $1.406 \times 10^8 \text{ km}$

地球の軌道要素の変動

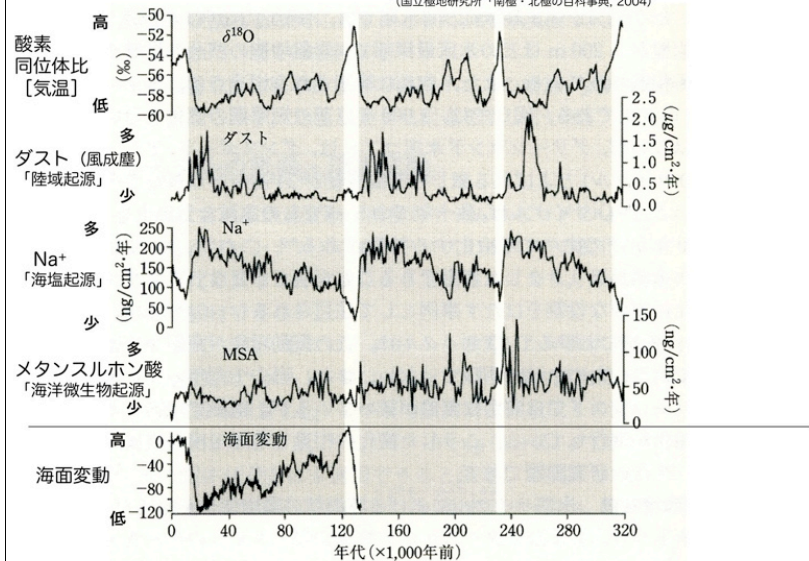
(3) 歳差運動: 日射量の季節変動

◆ 自転軸のゆらぎ (歳差) ◆ 近日点の移動 (歳差)

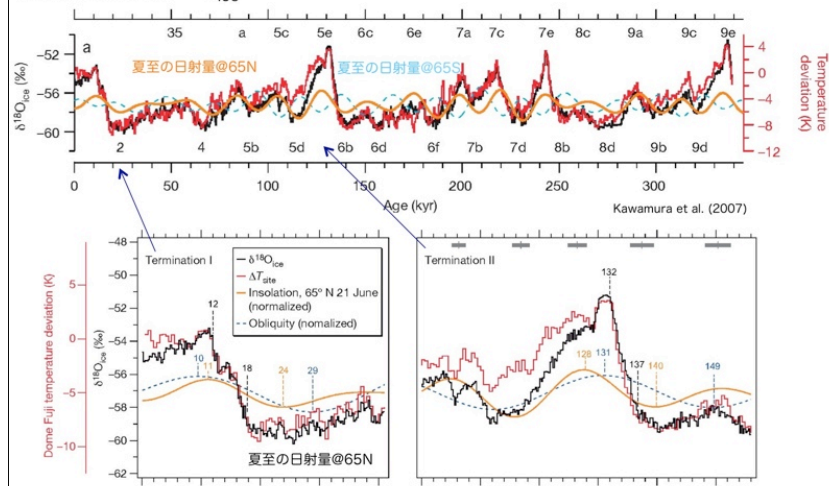


(国立極地研究所「南極・北極の百科事典, 2004)

(国立極地研究所「南極・北極の百科事典, 2004)

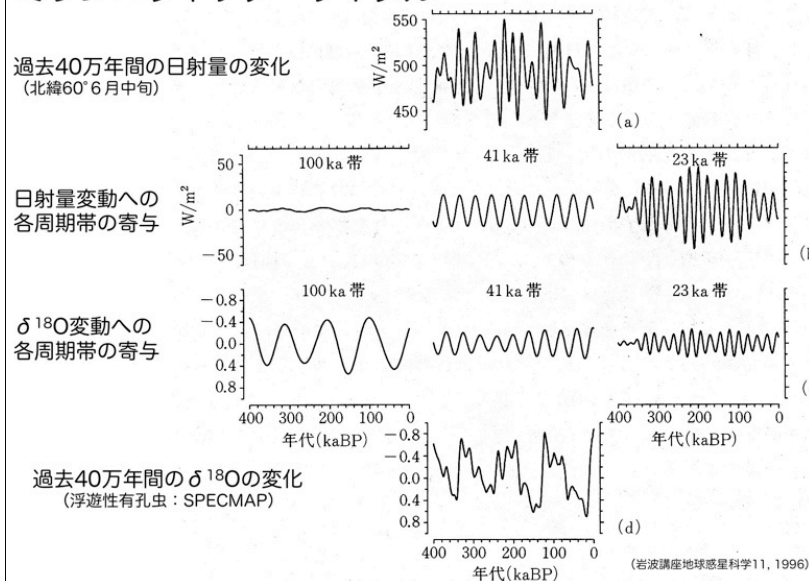


酸素同位体比 $\delta^{18}\text{O}_{\text{ice}}$



550-1

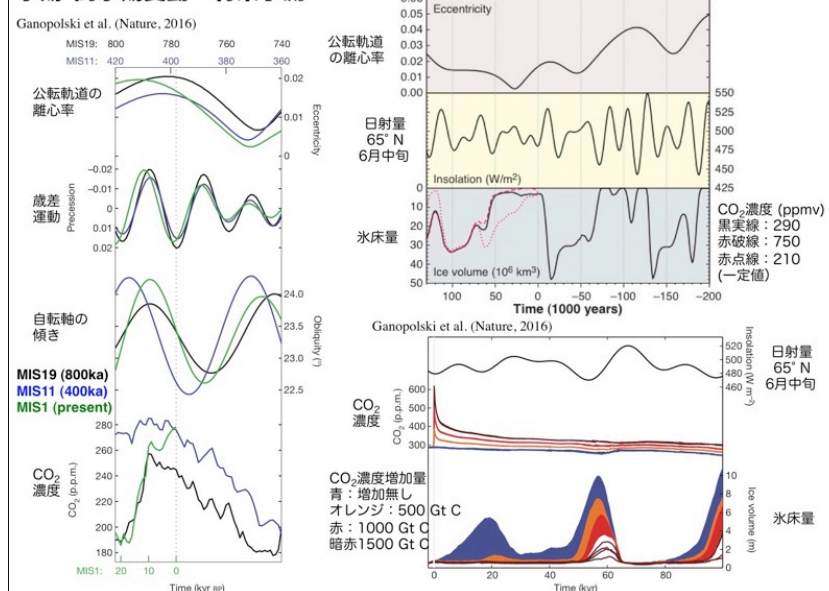
1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025, 2026, 2027, 2028, 2029, 2030, 2031, 2032, 2033, 2034, 2035, 2036, 2037, 2038, 2039, 2040, 2041, 2042, 2043, 2044, 2045, 2046, 2047, 2048, 2049, 2050, 2051, 2052, 2053, 2054, 2055, 2056, 2057, 2058, 2059, 2060, 2061, 2062, 2063, 2064, 2065, 2066, 2067, 2068, 2069, 2070, 2071, 2072, 2073, 2074, 2075, 2076, 2077, 2078, 2079, 2080, 2081, 2082, 2083, 2084, 2085, 2086, 2087, 2088, 2089, 2090, 2091, 2092, 2093, 2094, 2095, 2096, 2097, 2098, 2099, 2100, 2101, 2102, 2103, 2104, 2105, 2106, 2107, 2108, 2109, 2110, 2111, 2112, 2113, 2114, 2115, 2116, 2117, 2118, 2119, 2120, 2121, 2122, 2123, 2124, 2125, 2126, 2127, 2128, 2129, 2130, 2131, 2132, 2133, 2134, 2135, 2136, 2137, 2138, 2139, 2140, 2141, 2142, 2143, 2144, 2145, 2146, 2147, 2148, 2149, 2150, 2151, 2152, 2153, 2154, 2155, 2156, 2157, 2158, 2159, 2160, 2161, 2162, 2163, 2164, 2165, 2166, 2167, 2168, 2169, 2170, 2171, 2172, 2173, 2174, 2175, 2176, 2177, 2178, 2179, 2180, 2181, 2182, 2183, 2184, 2185, 2186, 2187, 2188, 2189, 2190, 2191, 2192, 2193, 2194, 2195, 2196, 2197, 2198, 2199, 2200, 2201, 2202, 2203, 2204, 2205, 2206, 2207, 2208, 2209, 2210, 2211, 2212, 2213, 2214, 2215, 2216, 2217, 2218, 2219, 2220, 2221, 2222, 2223, 2224, 2225, 2226, 2227, 2228, 2229, 2230, 2231, 2232, 2233, 2234, 2235, 2236, 2237, 2238, 2239, 2240, 2241, 2242, 2243, 2244, 2245, 2246, 2247, 2248, 2249, 2250, 2251, 2252, 2253, 2254, 2255, 2256, 2257, 2258, 2259, 2260, 2261, 2262, 2263, 2264, 2265, 2266, 2267, 2268, 2269, 2270, 2271, 2272, 2273, 2274, 2275, 2276, 2277, 2278, 2279, 2280, 2281, 2282, 2283, 2284, 2285, 2286, 2287, 2288, 2289, 2290, 2291, 2292, 2293, 2294, 2295, 2296, 2297, 2298, 2299, 2300, 2301, 2302, 2303, 2304, 2305, 2306, 2307, 2308, 2309, 2310, 2311, 2312, 2313, 2314, 2315, 2316, 2317, 2318, 2319, 2320, 2321, 2322, 2323, 2324, 2325, 2326, 2327, 2328, 2329, 2330, 2331, 2332, 2333, 2334, 2335, 2336, 2337, 2338, 2339, 2340, 2341, 2342, 2343, 2344, 2345, 2346, 2347, 2348, 2349, 2350, 2351, 2352, 2353, 2354, 2355, 2356, 2357, 2358, 2359, 2360, 2361, 2362, 2363, 2364, 2365, 2366, 2367, 2368, 2369, 2370, 2371, 2372, 2373, 2374, 2375, 2376, 2377, 2378, 2379, 2380, 2381, 2382, 2383, 2384, 2385, 2386, 2387, 2388, 2389, 2390, 2391, 2392, 2393, 2394, 2395, 2396, 2397, 2398, 2399, 2400, 2401, 2402, 2403, 2404, 2405, 2406, 2407, 2408, 2409, 2410, 2411, 2412, 2413, 2414, 2415, 2416, 2417, 2418, 2419, 2420, 2421, 2422, 2423, 2424, 2425, 2426, 2427, 2428, 2429, 2430, 2431, 2432, 2433, 2434, 2435, 2436, 2437, 2438, 2439, 2440, 2441, 2442, 2443, 2444, 2445, 2446, 2447, 2448, 2449, 2450, 2451, 2452, 2453, 2454, 2455, 2456, 2457, 2458, 2459, 2460, 2461, 2462, 2463, 2464, 2465, 2466, 2467, 2468, 2469, 2470, 2471, 2472, 2473, 2474, 2475, 2476, 2477, 2478, 2479, 2480, 2481, 2482, 2483, 2484, 2485, 2486, 2487, 2488, 2489, 2490, 2491, 2492, 2493, 2494, 2495, 2496, 2497, 2498, 2499, 2500, 2501, 2502, 2503, 2504, 2505, 2506, 2507, 2508, 2509, 2510, 2511, 2512, 2513, 2514, 2515, 2516, 2517, 2518, 2519, 2520, 2521, 2522, 2523, 2524, 2525, 2526, 2527, 2528, 2529, 2530, 2531, 2532, 2533, 2534, 2535, 2536, 2537, 2538, 2539, 2540, 2541, 2542, 2543, 2544, 2545, 2546, 2547, 2548, 2549, 2550, 2551, 2552, 2553, 2554, 2555, 2556, 2557, 2558, 2559, 2560, 2561, 2562, 2563, 2564, 2565, 2566, 2567, 2568, 2569, 2570, 2571, 2572, 2573, 2574, 2575, 2576, 2577, 2578, 2579, 2580, 2581, 2582, 2583, 2584, 2585, 2586, 2587, 2588, 2589, 2590, 2591, 2592, 2593, 2594, 2595, 2596, 2597, 2598, 2599, 2600, 2601, 2602, 2603, 2604, 2605, 2606, 2607, 2608, 2609, 2610, 2611, 2612, 2613, 2614, 2615, 2616, 2617, 2618, 2619, 2620, 2621, 2622, 2623, 2624, 2625, 2626, 2627, 2628, 2629, 2630, 2631, 2632, 2633, 2634, 2635, 2636, 2637, 2638, 2639, 2640, 2641, 2642, 2643, 2644, 2645, 2646, 2647, 2648, 2649, 2650, 2651, 2652, 2653, 2654, 2655, 2656, 2657, 2658, 2659, 2660, 2661, 2662, 2663, 2664, 2665, 2666, 2667, 2668, 2669, 2670, 2671, 2672, 2673, 2674, 2675, 2676, 2677, 2678, 2679, 26



Copyright © 2010

Ganopolski et al. (Nature, 2016)

Ber and Louie (2002, Science)



4. 京都盆地の堆積物「大阪層群」からの記録

