

南極ドームふじアイスコアの年代補正モデルによる氷年代軸決定の試み

鈴木 香寿恵 データ同化開発研究センター 融合プロジェクト特任研究員

氷床コア年代決定とは？

南極内陸部で約3000m採掘された氷床コアは、その氷を形成する水の安定同位体比を気温の指標とした古気候環境場の再現が期待されているが、どのように氷床が形成されるのか、という概念を知ることがまず必要である。氷床上に降り積もった雪は、自らの重みで圧縮される。その際、水蒸気の拡散によって雪の結晶が変形し融合し合い、多孔質の組織を形成する。この組織を「フィルン」と呼ぶ。フィルンの上部では、細かい氷粒が間隔を狭めることによって密度を上昇させ、空隙が小さくなっていく。フィルン下部では結晶同士の融合が支配的になり、やがて雪は多結晶の氷となる。密度が800kg/m³に達するとフィルン中の細孔はしだいに閉じ、周囲の空気と隔離され、気泡となって氷床コアの中に保存される。フィルン中では、空隙同士はつながっており、表層では地上の大気ともつながっているため、フィルン内部と地上の大気の間では空気が交換できる。したがって、氷床コアの気泡の中には、回りの氷よりも年代の若い空気が入っていると考えられる。この気泡が閉じられる深度を「Close of Depth (COD)」と呼ぶ。日本の南極地域観測隊が採取したドームふじ氷床コアでは、深度約80~100mの位置にこのCODがあると考えられており、氷年代と気泡年代をそれぞれ別々に取り扱う必要がある。ここで氷年代を決める指標として酸素窒素同位体比が知られており、氷年代は正確に決定することが出来る。この氷年代と気泡年代が同じ時の深度差を推定することで、二酸化炭素濃度など、古気候変動を議論する上で重要な大気中微量物質の年代を補正・決定するという手法が従来適用されてきた。本研究は年代補正を行うために、まず従来手法を第一・二期ドームふじアイスコアに適用させ、氷コア年代決定を試みた。

Methods

Dating model

$$A(z) = \int_0^z \frac{1}{T(z')a(z')} dz'$$

A: Age
z: depth
T: thinning function
a: accumulation rate

Accumulation model

(Parrenin et al., 2007)

$$a = a_0 * \exp(\beta \Delta D_{smo})$$

a₀: 2.912907
β: 0.11732
ΔD_{smo}: smoothed ΔD_{cor} for 50yr

$$\Delta \delta D_{cor} = \Delta \delta D + \frac{\gamma_{source}}{\beta_{source}} \Delta d + \frac{\gamma_{source} \beta_m - \beta_{source} \gamma_m}{\beta_{source}} \Delta \delta^{18} O_m$$

François's coeffs for DF

γ_m: 4.1 γ_{source}: 3.5
β_m: 2.3 β_{source}: 1.0

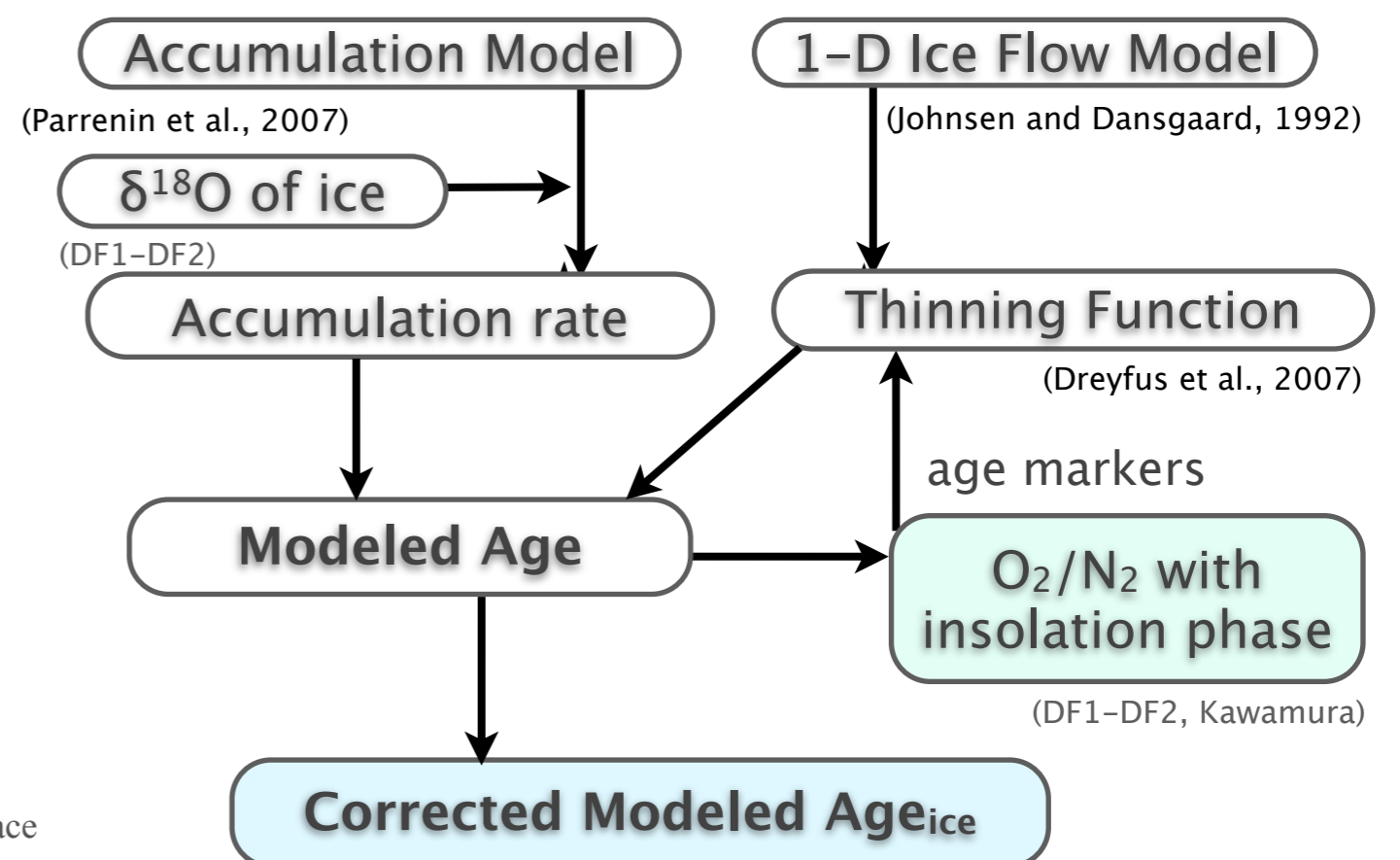
1-D Ice Flow model

$$u(z) = f_b \cdot u_0 + \frac{(1-f_b) \cdot u_0 \cdot z}{h} - u_s \cdot \sin\left(\frac{2\pi z}{h}\right)$$

u: Horizontal velocity
u₀: surface velocity
f_b: sliding ratio
(u_s=f_s·u₀)
h: distance from the surface

- DF1-2のδ18OをAccumulation modelに入力し、深度に対するAccumulation rate (a)を求めた。
- 1-D Ice Flow modelから深度に対する一般的なthinning function (T)を算出した。
- 得られたa(z), T(z)をDating modelに入力し、深度に対するAge(ice)を求めた。
- ドームふじコアのO₂/N₂と掘削点の夏至日射量の変動が整合するように、thinning functionを変更することでAge(ice)を補正した。

Flow chart



作業のフローチャート。

thinning functionの補正にDF2のO₂/N₂と日射の比較によるage markerを高分解能に入力した部分がEDC3の手法(Parrenin et al., 2007)と異なる。

Results

結果を左図に示す。左はDating modelによる氷年代(黒実線)と、さらにO₂/N₂と日射の関係をage markerとして補正を行った氷年代(赤実線)とを示している。1,000mを過ぎた辺りから補正効果が現れ、2,500mを超えると補正無しの氷年代は指数関数的に年代が進んでしまうが、O₂/N₂と日射による補正を入れた結果ではそれほど年代は進まず、最終的に70万年程度に収まる。最下層において年代の逆転が生じるエラーがあり、すべての補正が成功したとはいえないが、EDC3の手法を用いたDF2の氷年代が暫定的に得られた。

右図はthinning functionを補正する際に、age markerとしてDF2のO₂/N₂と日射の関係によるものと、他の絶対年代をParrenin et al. (2007)と同様に入力したもの(黒実線)と、DF1とDF2を通して日射との関係を入力したもの(赤実線)を示している。上部において、O₂/N₂と日射の関係のみで補正を行った場合にはthinning function>1となっており、なんらかのエラーが発生している。1,500~2,000mは伸び縮みの変化も双方で異なっており、age markerの選び方によってthinning functionが大きく変化することがわかる。

Conclusion

Parrenin et al.(2007)のEDC3に適用したコア氷年代補正法とドームふじ第二期アイスコア(DF2)のO₂/N₂によるage markerを用いてDF2の氷年代補正を行った。最深部において年代逆転が生じ、完全な年代とはいえないが概ねの深度-年代が得られた。入力するage markerによってthinning functionが大きく変化するため、age markerの選別も重要であることがうかがえる。今後は、ベイズ統計を用いた年代決定手法の開発を行い、本手法による年代との比較やage markerの選別方法についても議論を深める予定である。