

計算機の中で

惑星間空間磁場北向き時の磁気圏尾部に現れる 鎖交磁場

渡辺正和 (九州大学), 蔡東生 (名古屋商科大学), 田中高史 (九州大学),
藤田茂 (統計数理研究所)

鎖交磁場の出現

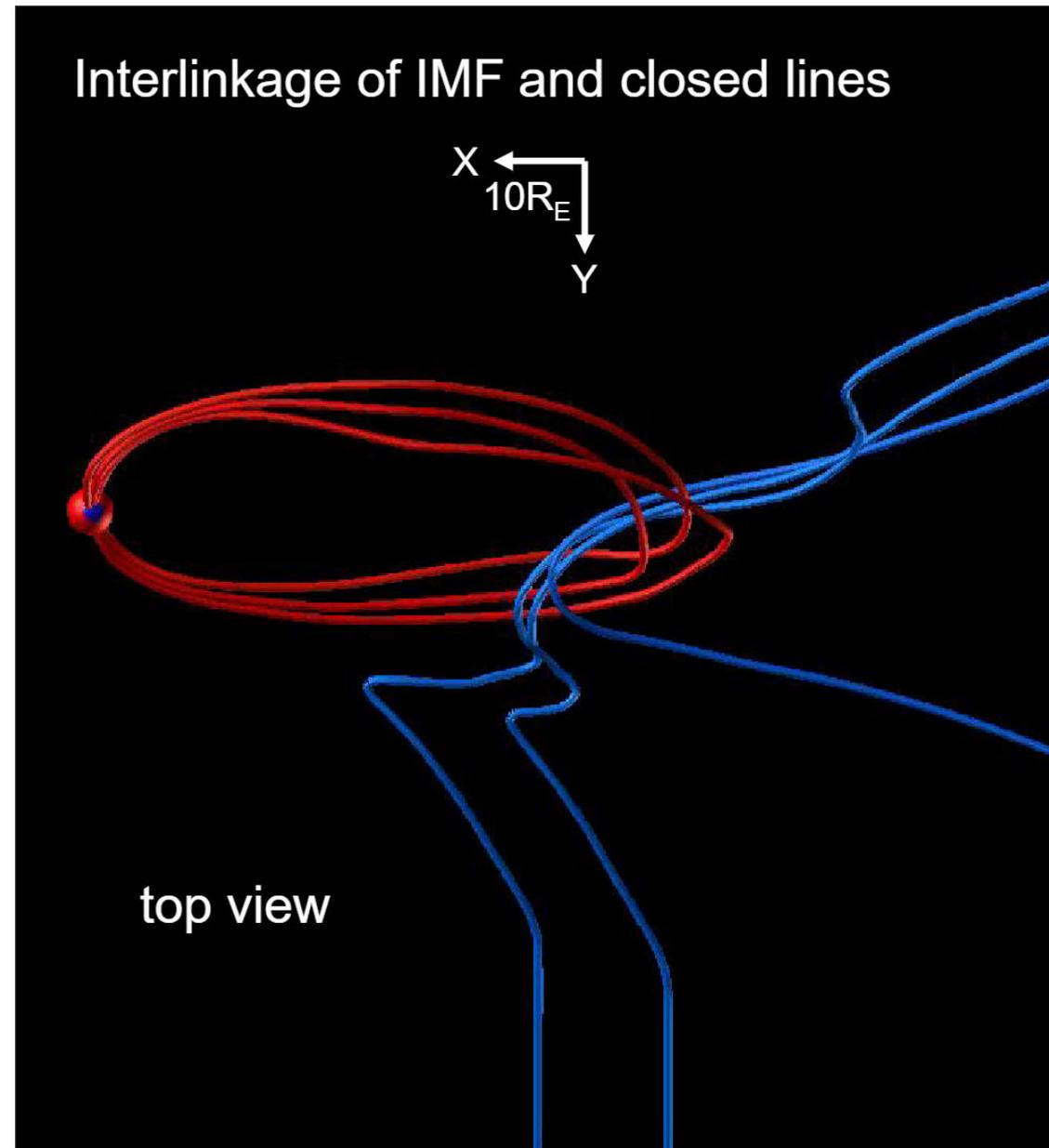
REPPUシミュレーションでは、時折右図のように閉磁力線とIMF線が鎖交した構造が磁気圏尾部に現れる。

レベル6, 7(空間解像度 1.2° , 0.6°)ではIMF・太陽風に擾乱を与えると現れる。

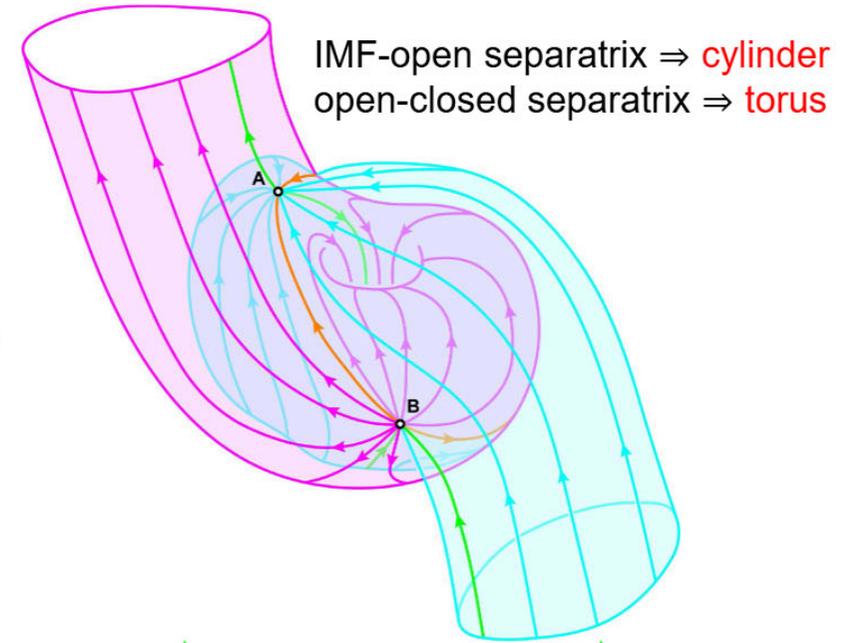
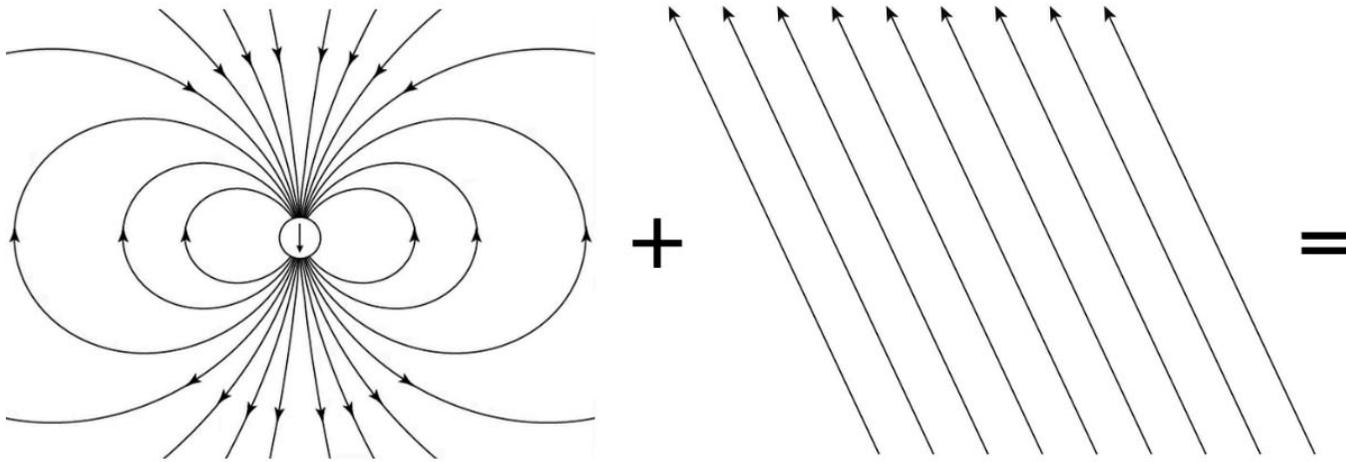
レベル8(空間解像度 0.3°)では定常IMF・太陽風でも現れる。



次頁に説明する基本構造(2-null, 2-separator構造)が局所的に壊れている。どこかに新しい零点が出来て、開閉境界面となるトールスに穴が開いている。



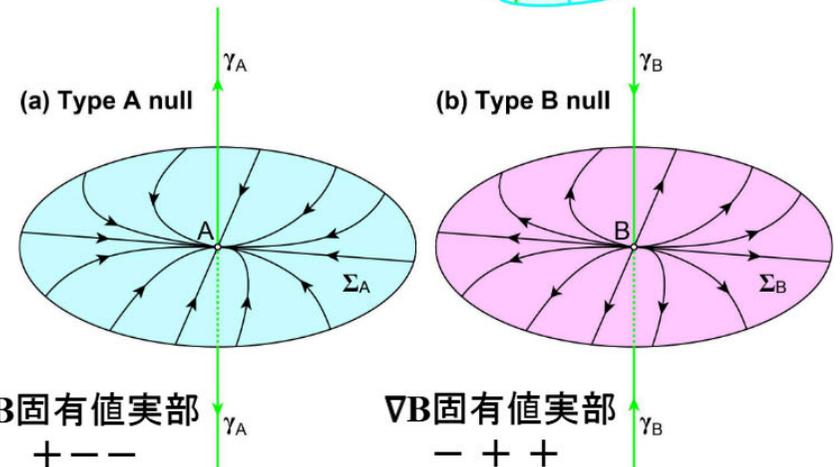
2-null, 2-separator 構造 (磁気圏の基本構造)



$$\mathbf{B}(\mathbf{r}) = \mathbf{0} + (\nabla\mathbf{B})_0 \cdot \mathbf{r} + O(\varepsilon^2)$$

Jacobian

この場合 $\det(\nabla\mathbf{B})_0 \neq 0$ が成立



紫、青の面は、2つの零点から発する磁気面 (Σ 面と呼ぶ).
2つの Σ 面の交線が橙色のseparatorで、磁力線でもある。

2-null, 2-separator 構造小史

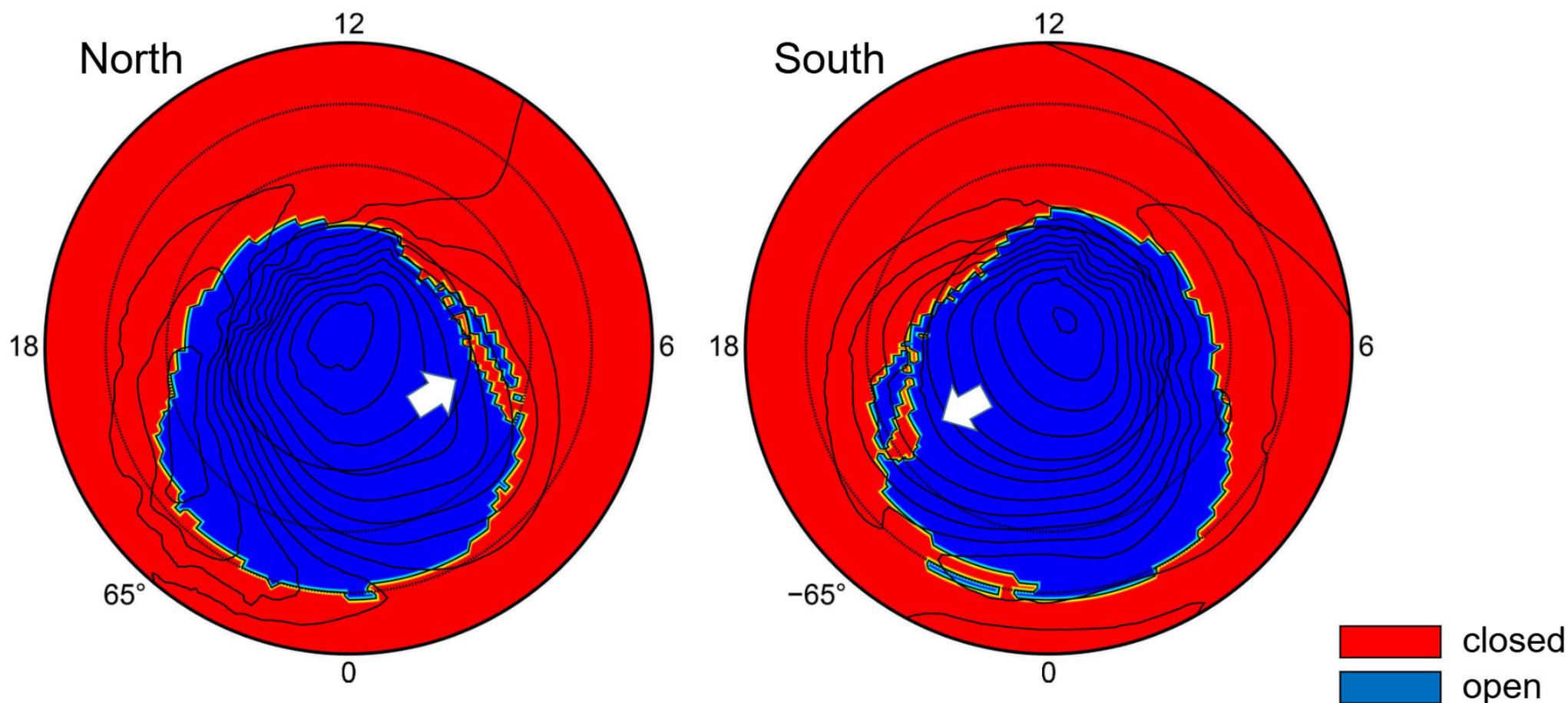
- Dungey (1963) 既に気付いていた?
- Cowley (1973) 2-null, 2-separator 構造を提唱
- Siscoe (1988) 拡散領域を加えて考察
- Lau & Finn (1990) 図が有名でよく引用される

Siscoe et al. (2001) MHDシミュレーション

⋮

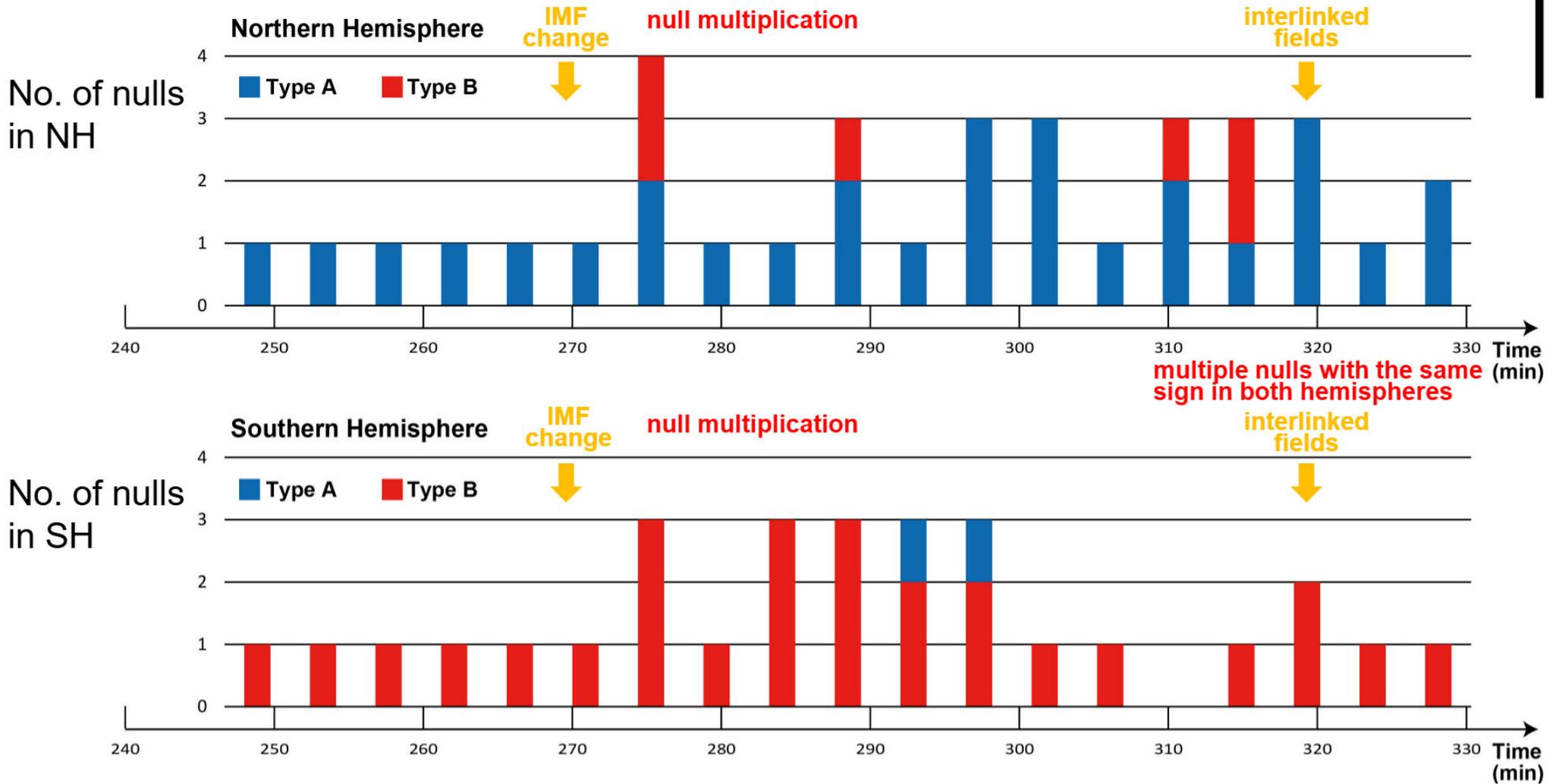
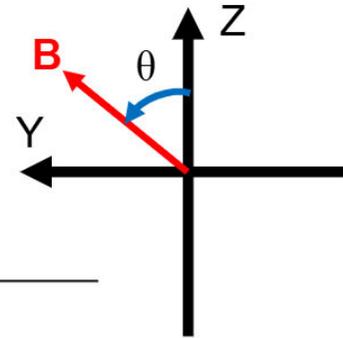
鎖交する閉磁力線の電離圏側根元は極冠内に現れる閉領域の“島”になる

Open/closed field line regions in the ionosphere. An “island” of a closed region is seen in the polar cap in both hemispheres. The two islands are geomagnetically conjugate.

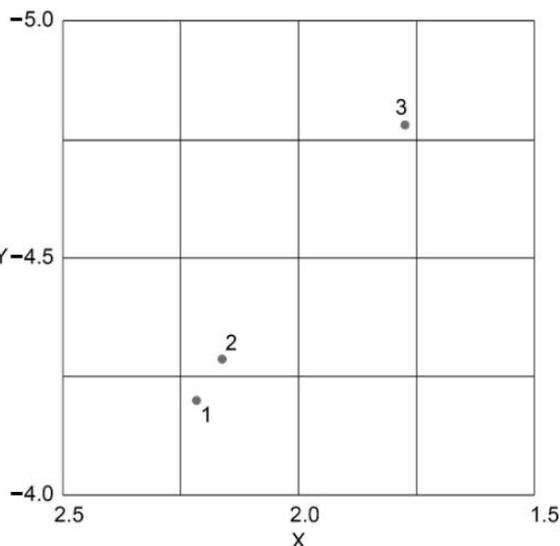
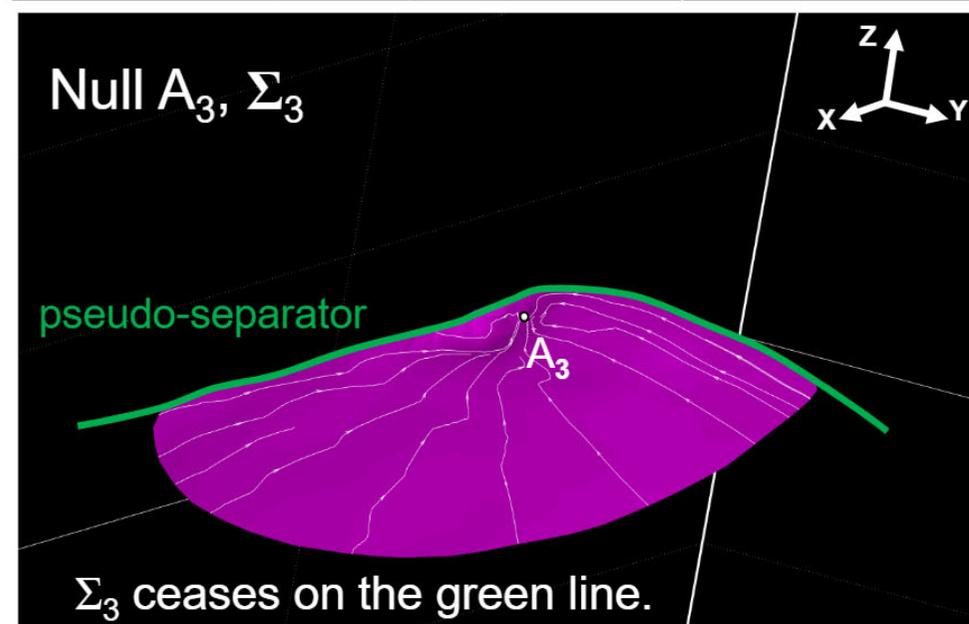
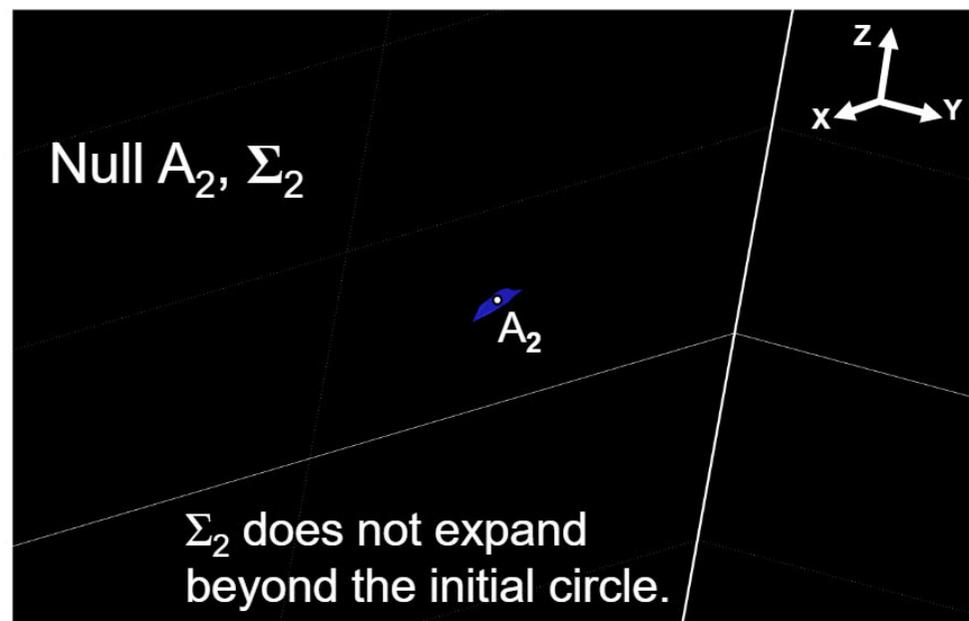
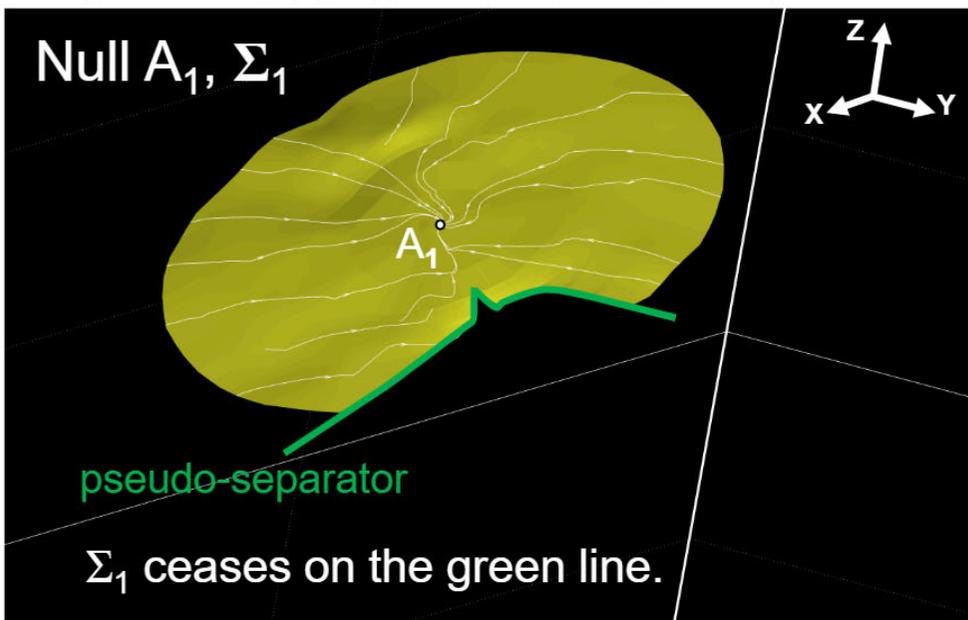


どこが壊れている？ 元々ある2個の零点が零点群になる (level 6の例)

First, a quasi-steady magnetosphere was obtained with an IMF strength of $B=6\text{nT}$ and a clock angle of $\theta=-45^\circ$ ($B_y < 0$), and then these parameters were changed stepwise to $B=13\text{nT}$ and $\theta=-70^\circ$.



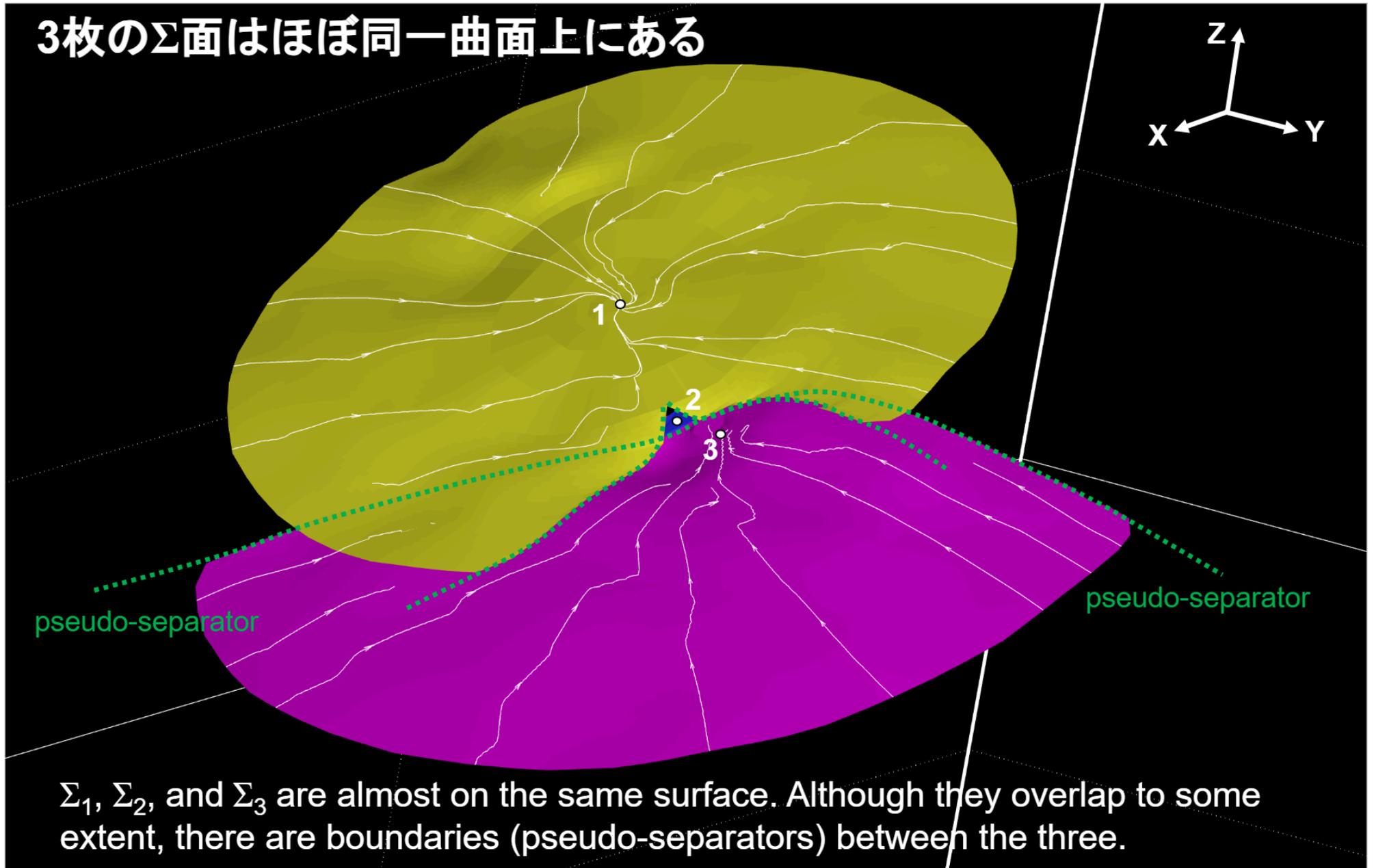
3枚の Σ を零点から広げてゆくと...



←データは0.25Reの正方格子に補間. 零点探索は各格子内に線形零点1個と仮定する手法を採用.

There are three A-type nulls in the Northern Hemisphere. Σ surfaces do not expand in some directions, indicating the presence of a separator.

3枚の Σ 面はほぼ同一曲面上にある

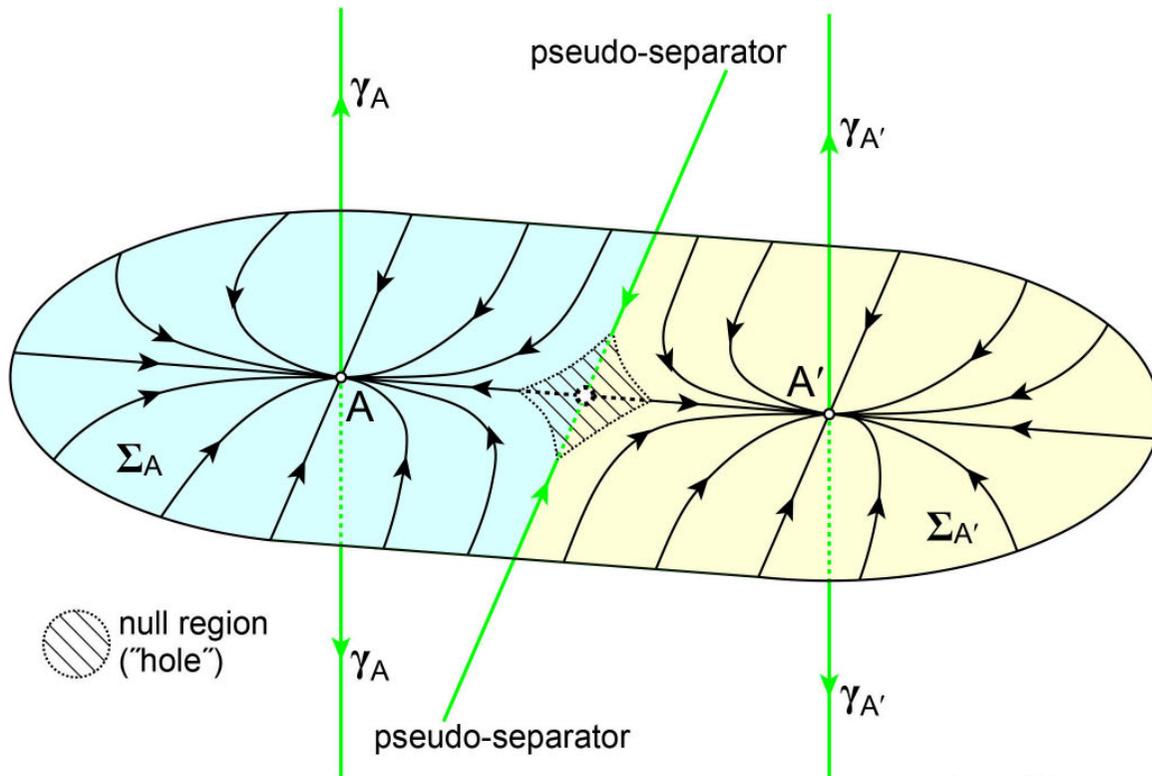


Σ_1 , Σ_2 , and Σ_3 are almost on the same surface. Although they overlap to some extent, there are boundaries (pseudo-separators) between the three.

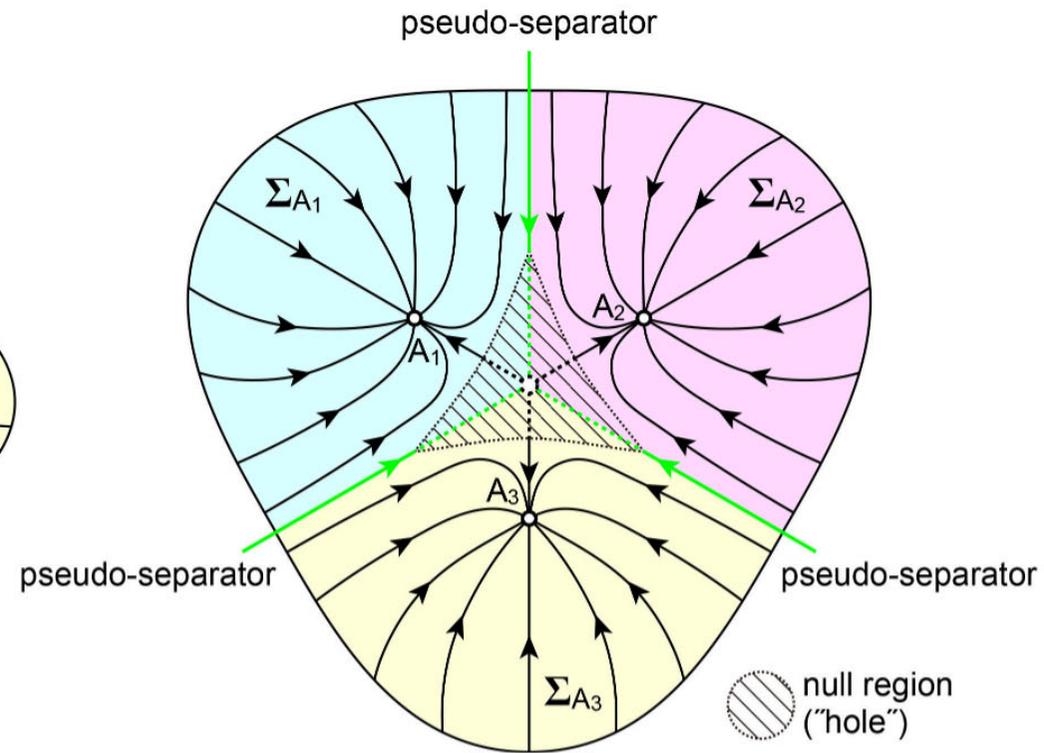
Interpretation: Connection of nulls with the same sign

The shaded area may be a null line or a null region and cannot be represented by the first order of the expansion (i.e., Jacobian). It requires higher order expansion such as Hessian.

Double A saddle connection



Triple A saddle connection



$$\mathbf{B}(\mathbf{r}) = \mathbf{0} + (\nabla \mathbf{B})_0 \cdot \mathbf{r} + \frac{1}{2} (\nabla \nabla \mathbf{B})_0 : \mathbf{r} \mathbf{r} + \frac{1}{6} (\nabla \nabla \nabla \mathbf{B})_0 : \mathbf{r} \mathbf{r} \mathbf{r} + \dots$$

$\det(\nabla \mathbf{B})_0 \approx 0$ in the null region.

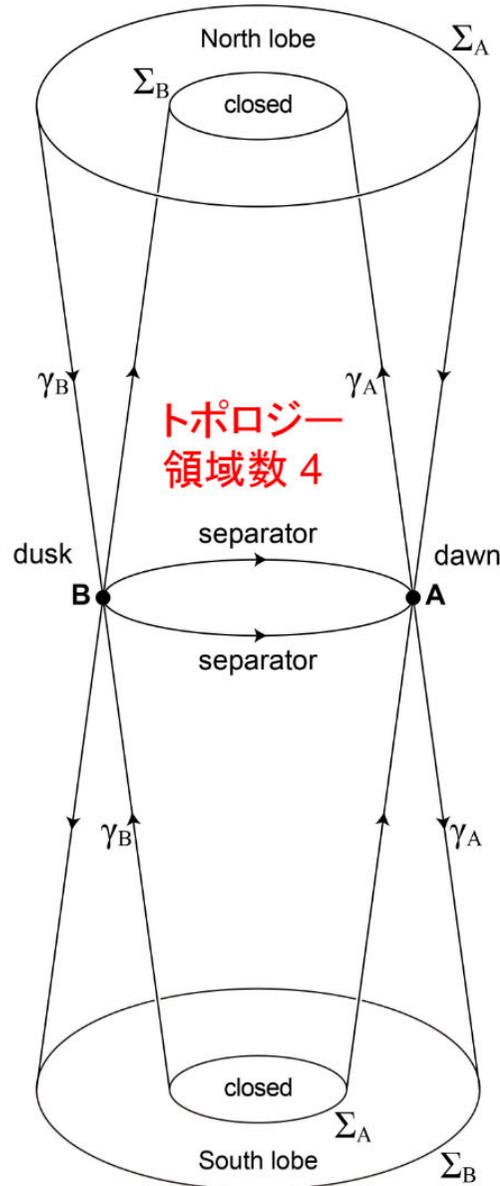
結論

鎖交磁場は、最も簡単には、**4-null**, **8-separator** の構造で説明できる。本来の零点が分裂(複数化)して“零領域”を形成することが鎖交磁場の原因と思われる。

Figure (a) shows the usual 2-null, 2-separator structure **viewed from the tail**, in which space is divided into **four** topological regions (**IMF**, **closed**, **north lobe**, & **south lobe**) by the separatrices. When a disturbance impinges on the magnetosphere, the nulls duplicate in both hemispheres to form the 4-null, 8-separator structure [Figure (b)]. The number of topological regions in this case is **ten**. The field interlinkage on the nightside can be explained by the **red closed line** and the **green IMF line**.

右図において Σ_A の下端と Σ_B の上端をつなぐとトーラスになる(簡単化のため右図では省略)。

(a) 2-null, 2-separator structure ($B_y < 0$)



(b) 4-null, 8-separator structure ($B_y < 0$)

