

平成22年度日米科学協力事業核融合分野報告会
東京ガーデンパレス 2011年3月3-4日

ワークショップ開催

プラズマ・海洋・大気における流れと 乱流の階層的自己組織化

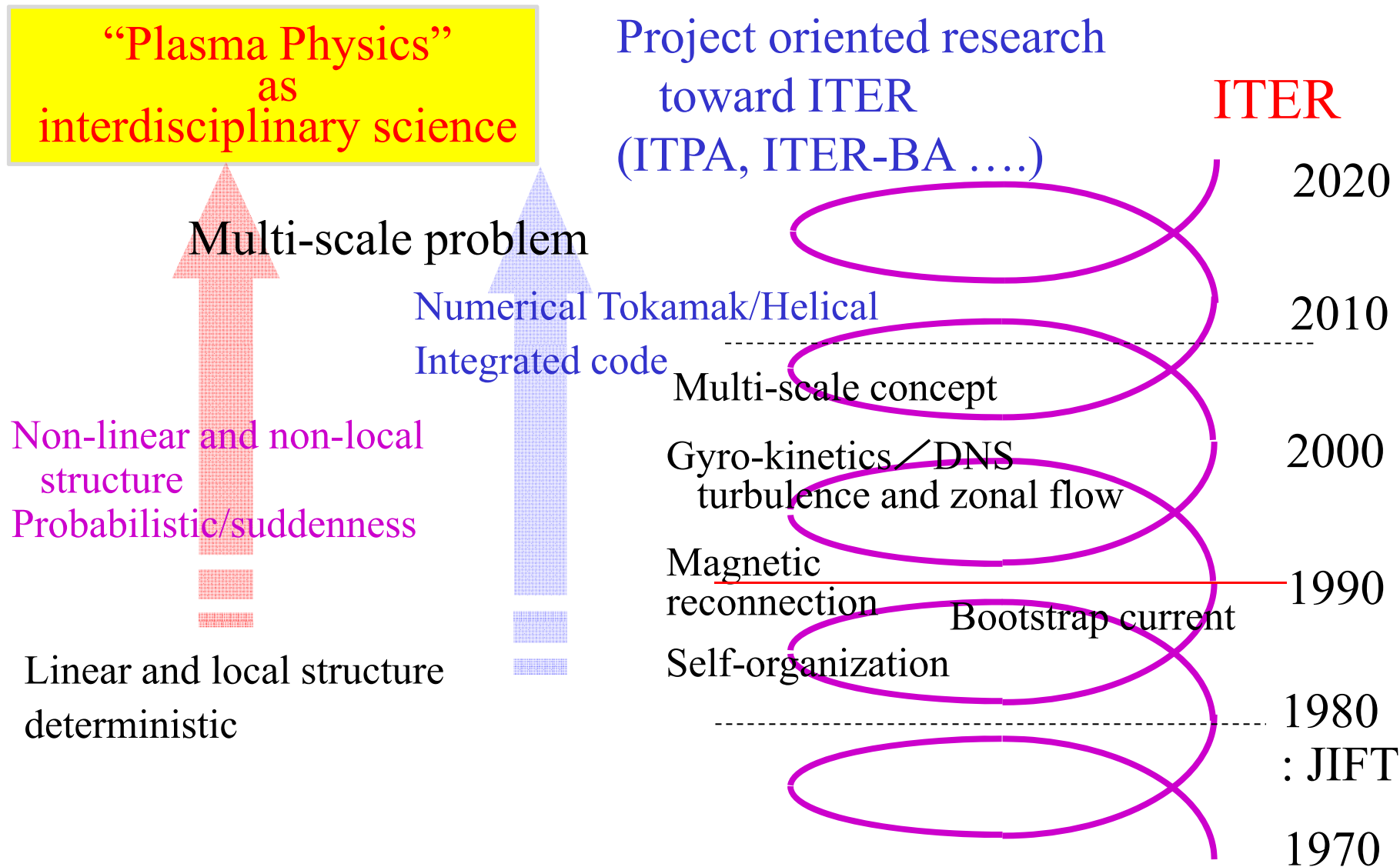
Hierarchical Self-organization of turbulent transport
and flows in plasmas, Oceans and atmosphere

岸本泰明 (Y. Kishimoto)

京都大学大学院エネルギー科学研究科

研究(ワークショップ)の視点・重要性

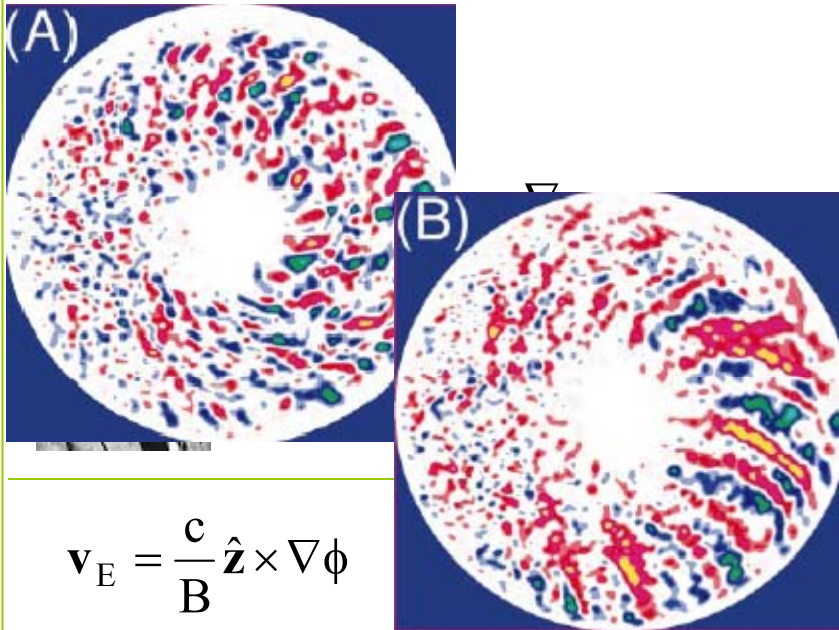
ITER 時代の核融合理論・シミュレーション研究



Similarity between Plasmas and fluids

Drift wave : Hasegawa-Mima eq.

$$(1 - \nabla^2) \frac{\partial \phi}{\partial t} + \mathbf{v}_d \cdot \nabla \phi - [(\mathbf{b} \times \nabla \phi) \cdot \nabla] \nabla^2 \phi = 0$$

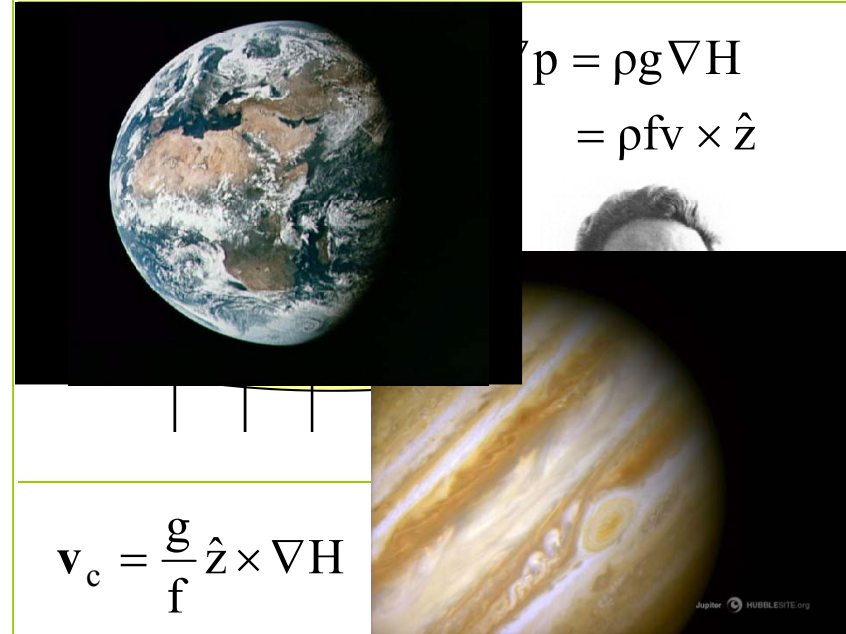


$$\mathbf{v}_E = \frac{c}{B} \hat{\mathbf{z}} \times \nabla \phi$$

Lin et al. Science, '98

Rossby wave : Charney equation

$$(1 - \nabla^2) \frac{\partial \mathbf{h}}{\partial t} + \mathbf{v}_R \cdot \nabla \mathbf{h} - [(\hat{\mathbf{z}} \times \nabla \mathbf{h}) \cdot \nabla] \nabla^2 \mathbf{h} = 0$$



$$\begin{aligned} \nabla p &= \rho \mathbf{g} \nabla H \\ &= \rho \mathbf{f} \mathbf{v} \times \hat{\mathbf{z}} \end{aligned}$$

$$\mathbf{v}_c = \frac{g}{f} \hat{\mathbf{z}} \times \nabla H$$

分野融合型 新しいスタイルのワークショップの開催

- ・ 核融合、宇宙・天体プラズマにおける乱流輸送やMHD現象の研究者と乱流や相流が中心的役割を果たす大気・海洋分野の研究者が一同に会して情報交換
- ・ 現象を支配する共通の学理を探求、異なった分野で発達した概念や手法を相互に理解・検証することにより、プラズマの理解を一層発展。
- ・ ITERなど、様々なスケールの乱流現象に支配される燃焼プラズマの理解と制御に向けた学術基盤の進展に寄与することが期待される。

議論形式のワークショップ！

H21年度： H22年3月24－26日 米国 UC San-Diego

H22年度： H23年3月16－18日 日本 京都大学

日本(5名) : 報告7件

岸本泰明(京都大) :	磁場核融合プラズマ物理(1)
矢木雅敏(九州大) :	磁場核融合プラズマ物理(1)
横井喜充(東京大) :	流体力学・MHD乱流物理(1)
林祥介(神戸大学) :	海洋・大気(地球・惑星)物理(2)
石澤明宏(核融合研) :	磁場核融合プラズマ物理(1)

米国(11名) : 報告7件

P. H. Diamond (UCSD) :	磁場核融合プラズマ物理(2)
G. Dif-Pradalier (UCSD) :	磁場核融合プラズマ物理(1)
M. Malkov (UCSD) :	宇宙プラズマ物理(1)
A. Kritsuk (UCSD) :	MHD乱流物理(1)
M. Xu (UCSD) :	磁場閉じ込め実験物理(1)
Y. Kosuga (UCSD) :	磁場核融合プラズマ物理(1)
K. Miki (UCSD) :	磁場核融合プラズマ物理(1)

C. Lee (UCSD)

J-H. Seo (KAIST)

L. Zhao (UCSD)

A. Ulvestad (UCSD)

Place : UC San Diego, SERF Building #329
Time : March 24 (Wednesday) – 26 (Friday), 2010

March 24 (Wednesday)

10:00-10:15 (15) Opening

P. H. Diamond (UCSD) and Y. Kishimoto (Kyoto)

Session 1 : Dynamics of large scale structure and identification (Chair: Y. Kishimoto)

10:15-11:15 (60) 1. Momentum Theorems for Zonal and Toroidal Flows in Drift Wave Turbulence

P. H. Diamond (UCSD)

11:15-12:00 (45) 2. Experiments on CSDX

M. Xu and G. Tynan (GA)

(+15) Discussion

Session 2 : Non-local turbulent transport (Chair : K. Miki)

13:30-14:15 (45) 3. Off-resonance mode and poloidal flow shear effect on ITB formation

M. Yagi (Kyushu Univ.)

14:15-15:00 (45) 4. Non-Locality in Transport

G. Dif-Pradalier (UCSD)

(+15) Discussion

Session 3 : Dynamics and structure of turbulent transport (1) (Chair: G. Dif-Pradalier)

15:30-16:30 (60) 5. Organization of equatorial precipitation activity in an aqua-planet model

Y. Hayashi (Kobe University)

16:30-17:15 (45) 6. Enstrophy, Entropy and Efficiency

Y. Kosuga (UCSD)

(+15) Discussion

March 25 Thursday

Session 4 : Dynamics and structure of turbulent transport (2) (Chair: M. Yagi)

09:00-10:00 (60) 7. Turbulent transport and acceleration of cosmic rays in supernova remnant shocks

M. Malkov (UCSD)

10:00-10:45 (45) 8. Profile relaxation and entropy dynamics in turbulent transport

Y. Kishimoto (Kyoto University)

(+15) Discussion

11:15-12:15 (60) 9. Modeling the flow--turbulence interaction based on a response-function closure

N. Yokoi (The University of Tokyo)

(+15) Discussion

Session 5 : Interaction of MHD and turbulence (Chair: Y. Yokoi)

14:00-15:00 (60) 10. Compressible MHD Turbulence

A. Kritsuk (UCSD)

(+15) Discussion

15:30-16:30 (60) 11. Interactions between micro-turbulence and macro-MHD

A. Ishizawa (NIFS)

(+15) Discussion

March 26 Friday

Session 6 : Dynamics and structure of turbulent transport (3) (Chair: A. Ishizawa)

9:00-9:45 (45) 12. Multi Frequency Shearing

K. Miki (UCSD)

(+15) Discussion

10:00-10:45 (45) 13. Spreading and Entrainment in 2D and Drift Wave Turbulence

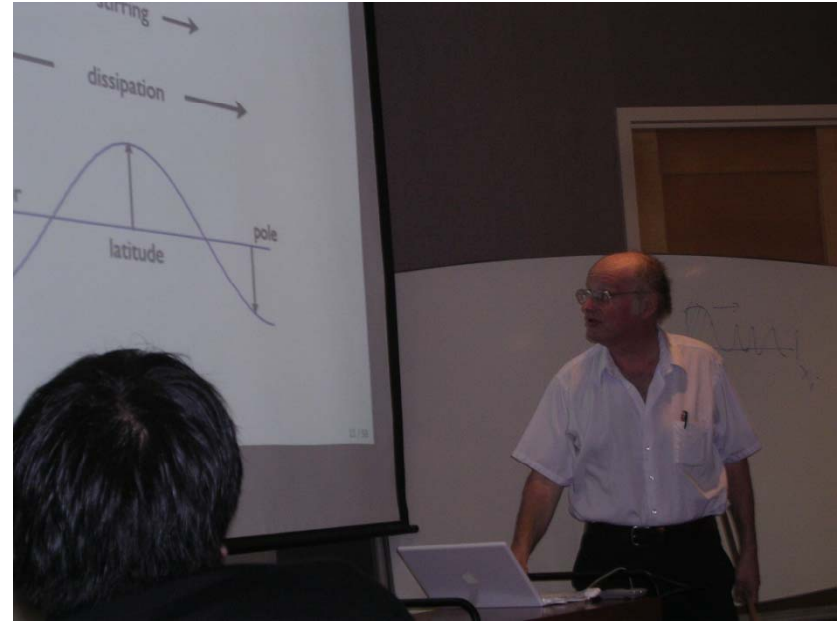
A. Ulvestad and P. H. Diamond (UCSD)

(+15) Discussion

11:00-11:45 (45) 14. Formation of jets in decaying turbulence on a rotating sphere

Yoshiyuki Hayashi (Kobe University)

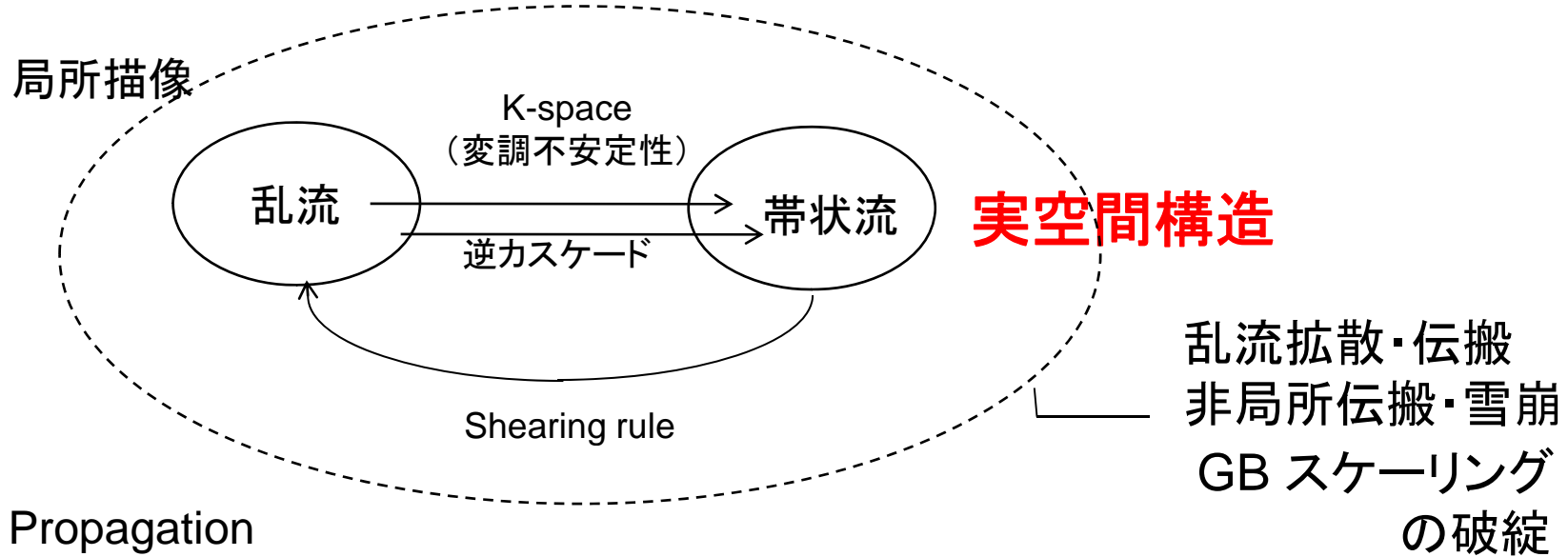
(+30) Discussion



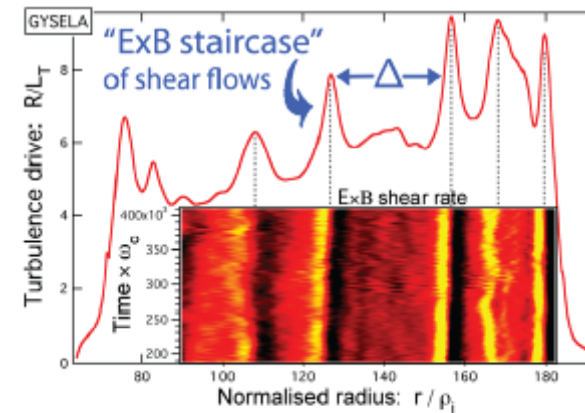
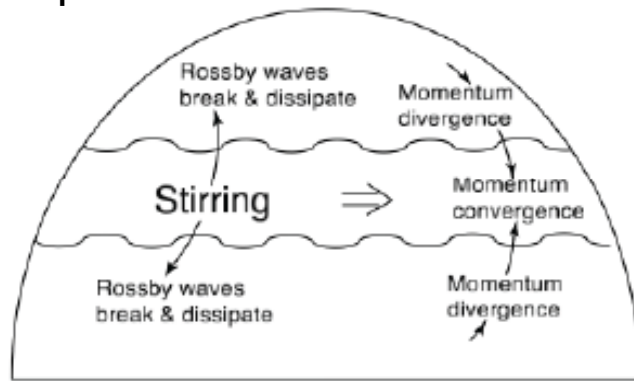
トピックス 帯状流に関する未解決問題

From
P. Diamond

乱流—帯状流相互作用 (predator-prey 系)



Propagation
Transport momentum



Controversy: Do Z.F.'s help or hinder spreading?

1. Spreading and overshoot phenomena - significance
2. **Physics content of spreading - zonal flow interaction**
3. Necessity of dissipative scattering formulation

Wave Packet Propagation in Zonal Shear Flow

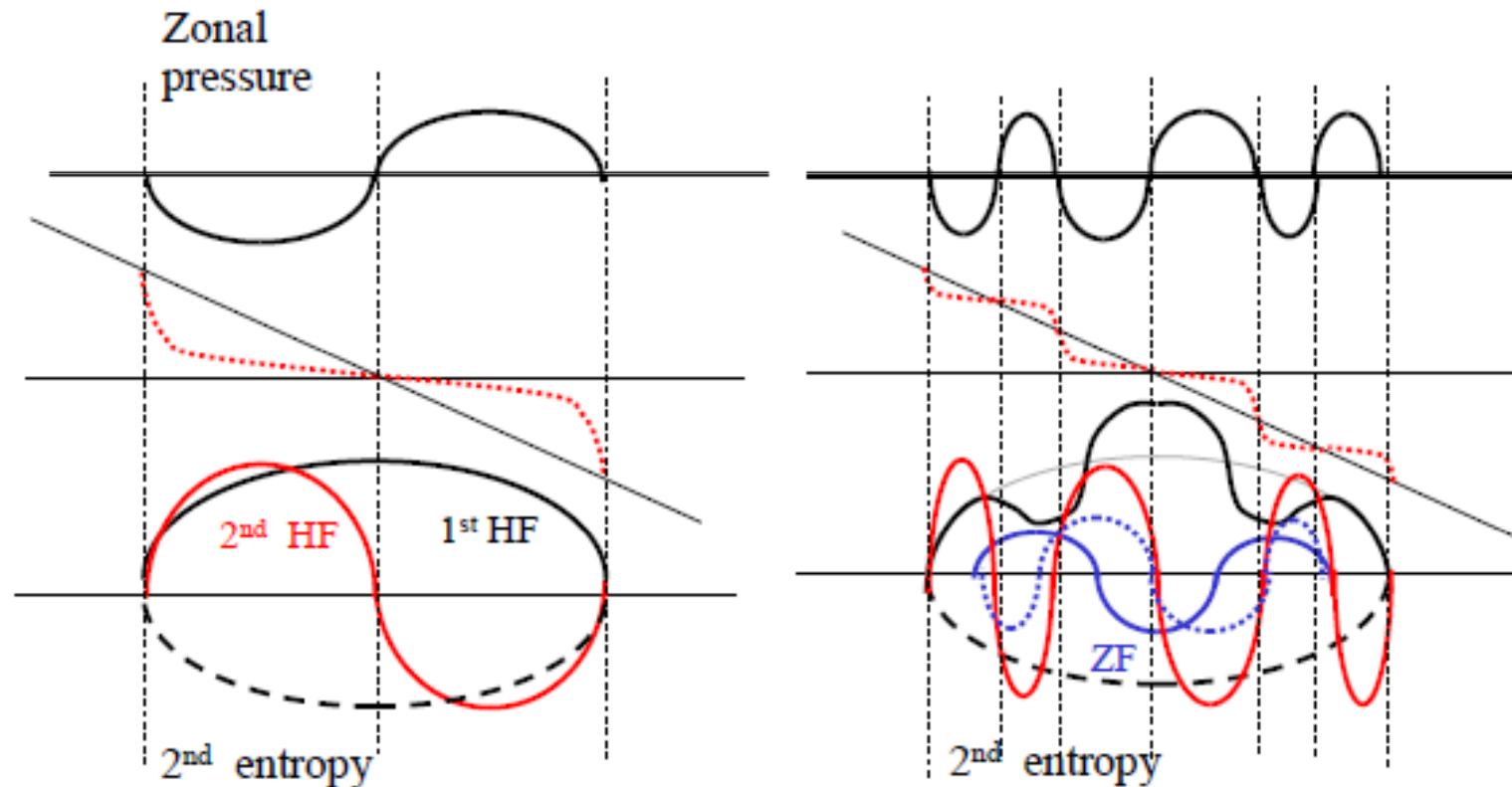
1. Simple, **non-perturbative** model
2. $c(\epsilon_0)$ - **exact** speed vs. amplitude relation for 'free' fronts, packets
3. Numerical studies with damping and overshoot
4. **Findings: spreading efficiency and penetration depth**

In particular : How does zonal flow promote turbulent spreading/propagation

- ▶ damping zonal flows **increases** turbulence spreading
- ▶ studies indicate Z.F.s **inhibit** spreading ∴ claims of Guo, Chen,

The effect of zonal flow on the relaxation

✓ Generation of short wavelength zonal pressure



cf. S.E. Parker et al.,
PoP 6, 1709 (1999)

$$\delta U_{(0,0)} = \int \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \Phi}{\partial x} \right) dy dz$$

Zonal pressure is in-phase
with zonal potential.

Comparison of GFD, MFE dynamics

- ▶ Wave-Flow physics: Extensive Research in GFD
→ formation of jets, Rhines Scale, etc
- ▶ GFD, MFE Dynamics similar, i.e.

	GFD	MFE
2D structure	Rapid Rotation Ω	Strong Magnetic Field
Inhomogeneity	β , inhomogeneity in Ω	v_* , inhomogeneity in $\langle n \rangle$, $\langle T \rangle$, etc
Potential Vorticity	$q = \nabla^2 \phi + \beta y$	$q = (1 - \nabla^2) \phi + \langle n \rangle$

∴ can borrow concepts!

- ▶ 'Classic' example, (>30 years)
→ Charney-Hasegawa-Mima equation for Rossby-Drift Waves

$$\partial_t q + \{\phi, q\} = \tilde{f} + D \nabla^2 q$$

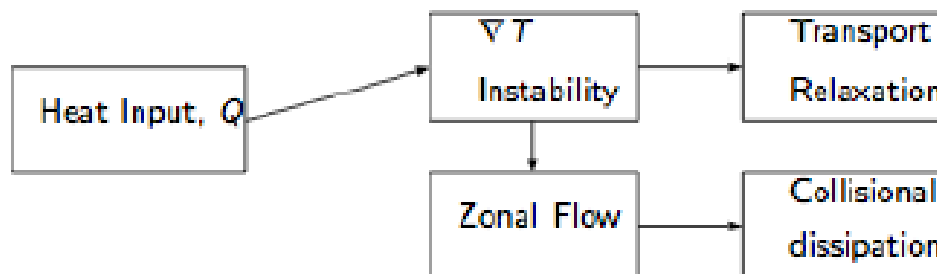
Efficiency for ZF

- ▶ Consider a simple case: ZF drive by heat input
- ▶ Efficiency for **ZF generation** by heat flux input (Darmet model)

$$\partial_t \int d^3v \frac{\langle \delta f^2 \rangle}{\langle f \rangle} = \frac{3n}{2} \frac{\chi_{turb}^i}{L_T^2} - \frac{n \langle V_E \rangle'^2}{v_{thi}^2} K + \dots$$

$$\Rightarrow e = \frac{\text{flow generation}}{\text{heat input}} = \frac{K \langle V_E \rangle'^2 / v_{thi}^2}{\chi_{turb} / L_T^2} = \frac{K}{\chi_{turb}} \frac{\langle V_E \rangle'^2}{v_{thi}^2 / a^2} \frac{L_T^2}{a^2}$$

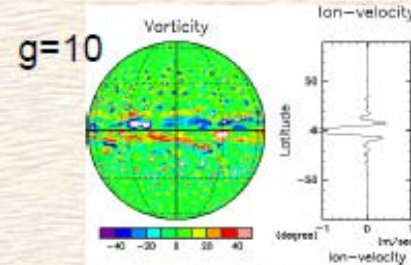
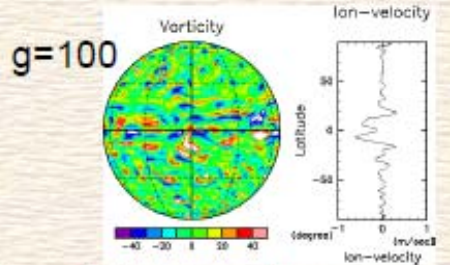
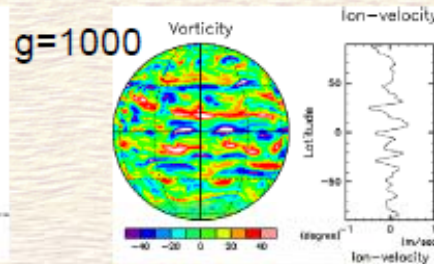
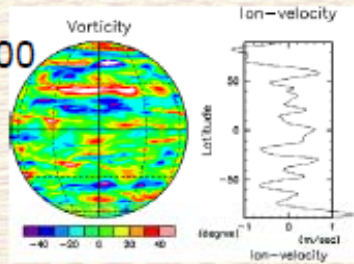
efficiency looks close to $O(1)$ → Most energy goes into ZF



Vorticity and zonal flow

$\Omega = 400$ $g = 10000$

$Fr^2 \ll 1$



- When \sqrt{gH} is large (coherent vortices in the mean flow)
- When \sqrt{gH} is large (banded flow in the mean flow)
- When \sqrt{gH} is large (easterly jet at the equator)

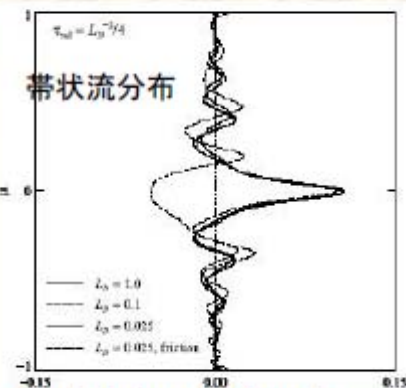
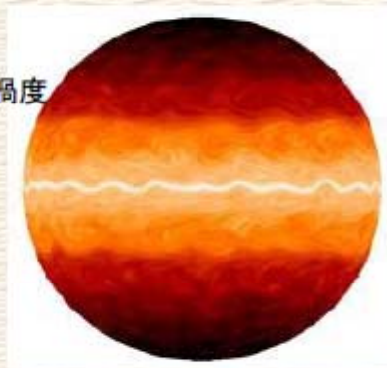
<http://www.gfd-dennou.org>

From Hayashi et al.

■ Scott and Polvani (2008) (Forced)

- Newton cooling → Equatorial Westerly
- Rayleigh dumping → Equatorial Easterly

ポテンシャル渦度



Maybe understood by considering equatorial wave structure

まとめ : 核融合と関連分野との連携・交流

- ・ 核融合プラズマの乱流輸送は、これまでの線形・局所理論に基づいた単一階層の研究から、乱流と帯状流を中心とした広範囲の時空間スケールを扱うマルチスケールの研究に大きくパラダイムシフトしている。
- ・ マルチスケールの研究では、波数空間のエネルギーの授受だけでなく、乱流や帯状流の空間構造、それらの空間伝播や雪崩現象、グローバルな分布との相互作用など、大域的・非局所的な理論の枠組みが不可欠
- ・ これらの乱流と帯状流の相互作用やそれに関わる構造形成現象は、大気・気象、海流分野など、地球・惑星科学の中心課題との類似性が高く、共通の学理が内在する。
- ・ 異なった分野で発達した概念を手法を相互に理解・検証することにより、プラズマの理解を一層発展させることが可能であり、ITER等の燃焼プラズマの理解と制御に向けた学術基盤の構築につながる。

ワークショップの当初目標を達成、平成22年度の第2回のワークショップ(H23年3月16-18日)で、理解の深化と連携の永続的发展を目指す。