先の発表の最後のスライド…

Rossby波によるエネルギーフラックスの全球シームレス解析に向けて

相木秀則 (Hidenori Aiki)　JAMSTEC-APL

科学研究費基盤A 等温位/等密度座標に基づく大気/海洋大循環の解析 (H27-H31: 15H02129)
第1回打ち合わせ 東北大学 物理A棟A0509号室 2015年6月9日(火)ー6月10日（水）

過去20年間の研究：エネルギー変換率の全球分布の診断

- どこで渦が発達するのか？
- どこで渦が減衰するのか？

これからの研究：エネルギーフラックスの全球分布の診断

- 平均流による移流，各種ロスビー波の内訳（惑星β，シアβ，層厚β）の理解
- どこからどこへ「何が」エネルギーを運ぶのか？

Chang and Orlanski (1994)

- 圧力フラックス＋回転成分 （赤道域に拡張できない）
- 惑星β効果以外にも，シアβ効果や層厚β効果を加味する必要がある

本研究の方針

- Impulse-bolus擬運動量の保存式（この部分をこれから説明します）に隠された妙薬を応用して，全緯度帯に適用可能な波のエネルギー方程式を構築（各種赤道波の解析解を用いて検証済）

全ての緯度帯の波を対象としたEliassen–Palm理論と渦度力学

相木秀則 (海洋研究開発機構), 高谷康太郎 (京都産業大学), Richard J. Greatbatch (Univ. Kiel)

Aiki, H., K. Takaya and R. J. Greatbatch, 2015:

A divergence-form wave-induced pressure inherent in the extension of the Eliassen-Palm theory to a three-dimensional framework for all waves at all latitudes,

Journal of the Atmospheric Sciences, 72, 2822-2849

http://dx.doi.org/10.1175/JAS-D-14-0172.1

http://www.jamstec.go.jp/res/ress/aiki/

全ての緯度帯の波を対象としたEliassen–Palm理論と渦度力学

各種赤道波, 中緯度惑星波、慣性重力波

Eliassen & Palm (1960)
- 山岳波(非静力重力波と中緯度惑星波の両方)
- 東西平均→鉛直2次元
- 波によるエネルギーフラックスと運動量伝達を関係づける試み

Andrews & McIntyre (1976, JAS)
- 準地衡近似に焼き直し(中緯度惑星波に限定)
- 東西平均→鉛直2次元
- 4つの要素

[EP1]　Taylor–Brethertonの恒等式(渦位の南北フラックスの別表現診断式)
[EP2]　Eliassen–Palmの関係式(擬運動量の予報保存式:フラックスが群速度の向き)
[EP3]　TEM (transformed Eulerian mean)運動量方程式
[EP4]　MEM (merged Eulerian mean)運動量方程式　(非加速定理によく使われる…)

$$Q^\dagger = \psi_{xx} + \psi_{yy} + (\psi_z f_0^2/N^2)_z$$

$$(\partial_t + \overline{\overline{u}}\partial_x)[\underbrace{\psi_{xx} + \psi_{yy} + (\psi_z f_0^2/N^2)_z}_{Q^\dagger}] + \psi_x(\beta - \overline{\overline{u}}_{yy}) = 0$$

東西平均からのずれ

$$A^\dagger = A - \overline{\overline{A}}$$

$$\nabla_{yz} = \langle\!\langle \partial_y, \partial_z \rangle\!\rangle$$

[EP1]　Taylor–Brethertonの恒等式（渦位の南北フラックスの別表現診断式）

$$\overline{\overline{Q^\dagger \psi_x}} = -\nabla_{yz} \cdot \langle\!\langle \underbrace{-\overline{\overline{\psi_x \psi_y}}}_{\overline{\overline{v^g u^g}}}, \underbrace{-\overline{\overline{\psi_z \psi_x}} f_0^2/N^2}_{-f_0 \overline{\overline{v^g \rho^\dagger}}/\overline{\overline{\rho}}_z} \rangle\!\rangle$$

[EP2]　Eliassen–Palmの関係式（擬運動量の予報保存式：フラックスが群速度の向き）

$$\partial_t [\underbrace{(1/2)\overline{\overline{Q^{\dagger 2}}}/(\overline{\overline{u}}_{yy} - \beta)}_{E/C_p^x}] + \nabla_{yz} \cdot \langle\!\langle \underbrace{-\overline{\overline{\psi_x \psi_y}}}_{C_g^y (E/C_p^x)}, \underbrace{-\overline{\overline{\psi_z \psi_x}} f_0^2/N^2}_{C_g^z (E/C_p^x)} \rangle\!\rangle = 0$$

モデル解析に適した表現になっている
（Fourier解析をして群速度を求めなくて済む）

全ての緯度帯の線形中立波の支配方程式(高さ座標系における時間平均からのずれ)

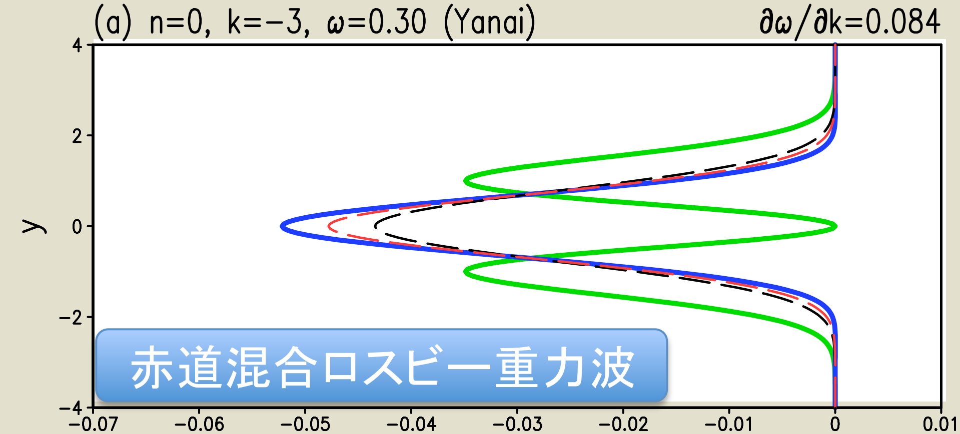
$$
\begin{aligned}
&u'_t - (f_0 + \beta y) v' = -p'_x, \\
&v'_t + (f_0 + \beta y) u' = -p'_y, \\
&\rho'_t + w' \overline{\rho}_z = 0, \\
&u'_x + v'_y + w'_z = 0, \\
&\langle\!\langle u', v', w' \rangle\!\rangle = \langle\!\langle \xi'_t, \eta'_t, \zeta'_t \rangle\!\rangle,
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
&A' = A - \overline{A} \\
&\nabla = \langle\!\langle \partial_x, \partial_y, \partial_z \rangle\!\rangle
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
&\zeta' \equiv -\rho' / \overline{\rho}_z = -p'_z / N^2, \\
&K = (u'^2 + v'^2)/2, \quad G = (N^2/2) \zeta'^2,
\end{aligned}
$$

Classical Energy-based (CE) 擬運動量の時間発展式 [EP2]

$$
\begin{aligned}
&(\underbrace{K + G}_{E})_t + \nabla \cdot \langle\!\langle u'p', v'p', w'p' \rangle\!\rangle = 0, \qquad c_p \equiv \omega / k, \qquad c_g \equiv \partial \omega / \partial k \\
&(E/c_p)_t + \nabla \cdot \langle\!\langle u'p'/c_p, v'p'/c_p, w'p'/c_p \rangle\!\rangle = 0, \\
&\int_{-\infty}^{+\infty} \overline{u'p'}/c_p \; dy = \int_{-\infty}^{+\infty} c_g (\overline{E}/c_p) \; dy, \qquad \overline{u'p'}/c_p \neq c_g (\overline{E}/c_p)
\end{aligned}
$$



$$\int_{-\infty}^{+\infty} \overline{u'p'}/c_p \, dy$$

$$= \int_{-\infty}^{+\infty} c_g(\overline{E}/c_p) \, dy$$

$$= \int_{-\infty}^{+\infty} c_g(\overline{\zeta'_z u'} + \overline{q'\eta'}/2) \, dy$$

$$= \int_{-\infty}^{+\infty} (\overline{u'u'} - \overline{K} + \overline{G}) \, dy$$

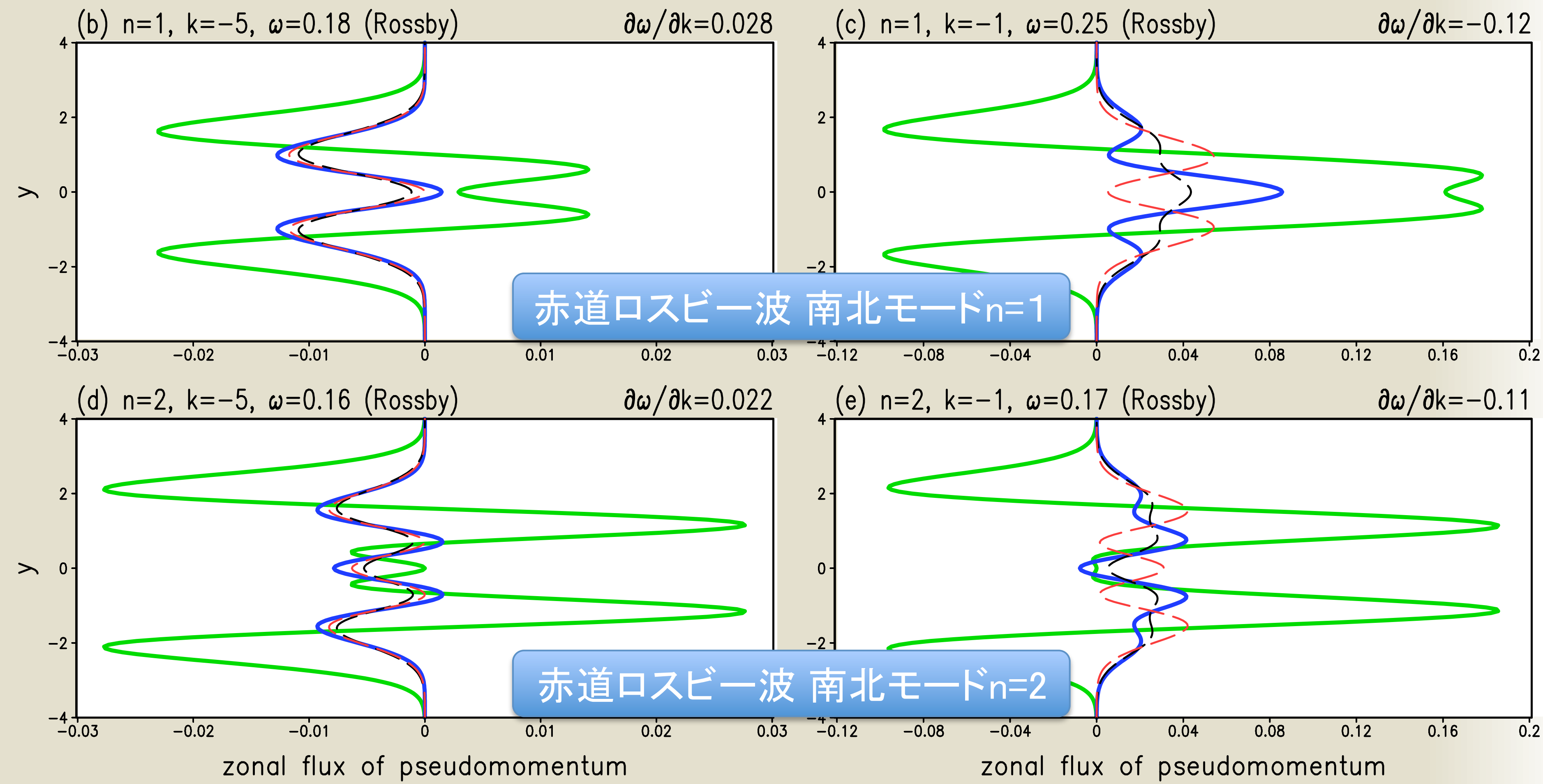
後で
説明します

CEフラックス
（モデル診断可能情報）

群速度×CE擬運動量
（知りたい情報）

群速度×IB擬運動量
（知りたい情報）

IBフラックス
（モデル診断可能情報）



Classical Energy-based (CE)
擬運動量の時間発展式
（EPの関係式）

エネルギーとの関連は有用

3次元フラックスが圧力フラックスに近いので惑星波の群速度ベクトルの考察に不向き

一般化した
Taylor−Brethertonの恒等式
（渦位フラックスの別表現）

渦や不安定波問題に応用可

↓

Impulse−Bolus（IB）擬運動量
の時間発展式
（EPの関係式）

3次元フラックスが
Plumb（1986)の表現に近いので
惑星波の群速度ベクトルを示唆

しかしボーラス速度の正体が不明

1980年代の研究：浅水方程式か温位座標系を使用

Ageostrophic Taylor-Bretherton identity
Tung (1986) Hayashi and Young (1987) McPhaden and Ripa (1990) Takehiro and Hayashi (1992) this study
Ageostrophic Eliassen-Palm relation
Ripa (1982) Andrews (1983a) Haynes (1988) Brunet and Haynes (1996) this study

Ripa (1982, JPO): 上記の[EP2]だけを考察

- 浅水方程式(赤道波を想定しているが中緯度慣性重力波・惑星波に応用可)
- 時間平均→水平2次元
- 多層モデルにも不安定波にも応用可 (Haynes, 1988; Sakai 1989; Iga, 1999)
- なぜボーラス速度(Rhines, 1982)が擬運動量の代わりに?
- その後普及しない…..大多数の研究者はEuler平均でモデル解析するのを好む

全ての緯度帯の線形中立波の支配方程式(高さ座標系における時間平均からのずれ)

$$
\begin{aligned}
&u'_t - (f_0 + \beta y)v' = -p'_x, \\
&v'_t + (f_0 + \beta y)u' = -p'_y, \\
&\rho'_t + w'\overline{\rho}_z = 0, \\
&u'_x + v'_y + w'_z = 0, \\
&\langle\langle u', v', w' \rangle\rangle = \langle\langle \xi'_t, \eta'_t, \zeta'_t \rangle\rangle,
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
&\zeta' \equiv -\rho'/\overline{\rho}_z = -p'_z/N^2, \\
&K = (u'^2 + v'^2)/2, \quad G = (N^2/2)\zeta'^2, \\
&q' \equiv v'_x - u'_y - (f_0 + \beta y)\zeta'_z, \\
&q'_t + \beta v' = 0, \\
&\eta' = -q'/\beta,
\end{aligned}
$$

Ripa (1982, JPO): 上記の[EP2]だけを考察

- 浅水方程式(赤道波を想定しているが中緯度慣性重力波・惑星波に応用可)
- 時間平均→水平2次元
- 多層モデルにも不安定波にも応用可 (Haynes, 1988; Sakai 1989; Iga, 1999)
- なぜボーラス速度(Rhines, 1982)が擬運動量の代わりに？
- その後普及しない…..大多数の研究者はEuler平均でモデル解析するのを好む

全ての緯度帯の線形中立波の支配方程式(高さ座標系における時間平均からのずれ)

$$
\begin{aligned}
&u'_t - (f_0 + \beta y)v' = -p'_x,\\
&v'_t + (f_0 + \beta y)u' = -p'_y,\\
&\rho'_t + w'\overline{\rho}_z = 0,\\
&u'_x + v'_y + w'_z = 0,\\
&\langle\langle u', v', w'\rangle\rangle = \langle\langle \xi'_t, \eta'_t, \zeta'_t\rangle\rangle,
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
&\zeta' \equiv -\rho'/\overline{\rho}_z = -p'_z/N^2,\\
&K = (u'^2 + v'^2)/2, \quad G = (N^2/2)\zeta'^2,\\
&q' \equiv v'_x - u'_y - (f_0 + \beta y)\zeta'_z,\\
&q'_t + \beta v' = 0,\\
&\eta' = -q'/\beta,
\end{aligned}
$$

一般化したTaylor-Brethertonの恒等式（渦位フラックスの別表現）[3D-EP1]

$$
\begin{aligned}
&\partial_t(\zeta'_z u') + q'v' = -\nabla\cdot\langle\langle u'u' - K + G, v'u', \zeta' p'_x\rangle\rangle,\\
&\partial_t(\zeta'_z v') - q'u' = -\nabla\cdot\langle\langle u'v', v'v' - K + G, \zeta' p'_y\rangle\rangle,
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
A' &= A - \overline{A}\\
\nabla &= \langle\langle \partial_x, \partial_y, \partial_z\rangle\rangle
\end{aligned}
$$

一般化したTaylor–Brethertonの恒等式（渦位フラックスの別表現）[3D–EP1]

$$\partial_t(\zeta_z' u') + q'v' = -\nabla\cdot\langle\!\langle u'u' - K + G, v'u', \zeta' p_x' \rangle\!\rangle,$$
$$\partial_t(\zeta_z' v') - q'u' = -\nabla\cdot\langle\!\langle u'v', v'v' - K + G, \zeta' p_y' \rangle\!\rangle,$$

$$A' = A - \overline{A}$$
$$\nabla = \langle\!\langle \partial_x, \partial_y, \partial_z \rangle\!\rangle$$

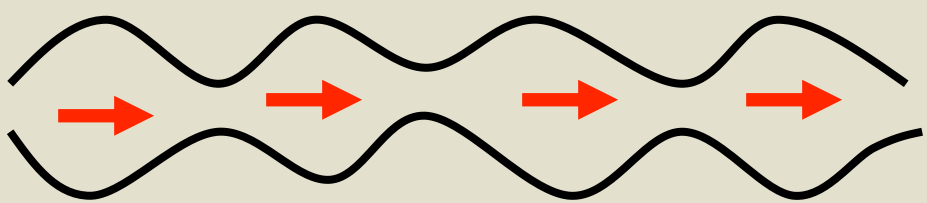
ボーラス速度って何ですか？（気象学会で発表後の質問）
（Peter Rhines氏：ウッズホール海洋研究所1982年サマースクールのテキスト）

深さ座標系でTaylor展開

$$\overline{A}^L = \overline{A} + \overline{\xi' A_x' + \eta' A_y' + \zeta' A_z'}$$
$$\widetilde{A} = \overline{A} + \overline{\zeta' A_z'}$$
$$\widehat{A} = \widetilde{A} + \overline{\zeta_z' A'} = \overline{A} + (\overline{\zeta' A'})_z$$

深さ座標系で記述

$$u^{Stokes} \equiv \overline{u}^L - \overline{u} = \overline{\xi' u_x' + \eta' u_y' + \zeta' u_z'}$$
$$u^{qs} \equiv \widehat{u} - \overline{u} = (\overline{\zeta' u'})_z$$
$$u^{bolus} \equiv \widehat{u} - \widetilde{u} = \overline{\zeta_z' u'}$$



http://forum.teachingbooks.net/2012/11/guest-blogger-nic-bishop/

全ての緯度帯の線形中立波の支配方程式（高さ座標系における時間平均からのずれ）

$$
\begin{aligned}
&u'_t - (f_0 + \beta y)v' = -p'_x, \\
&v'_t + (f_0 + \beta y)u' = -p'_y, \\
&\rho'_t + w'\overline{\rho}_z = 0, \\
&u'_x + v'_y + w'_z = 0, \\
&\langle\!\langle u', v', w' \rangle\!\rangle = \langle\!\langle \xi'_t, \eta'_t, \zeta'_t \rangle\!\rangle,
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
&\zeta' \equiv -\rho'/\overline{\rho}_z = -p'_z/N^2, \\
&K = (u'^2 + v'^2)/2, \quad G = (N^2/2)\zeta'^2, \\
&q' \equiv v'_x - u'_y - (f_0 + \beta y)\zeta'_z, \\
&q'_t + \beta v' = 0, \\
&\eta' = -q'/\beta,
\end{aligned}
$$

一般化したTaylor-Brethertonの恒等式（渦位フラックスの別表現）[EP1]

$$
\begin{aligned}
&\partial_t(\zeta'_z u') + q'v' = -\nabla \cdot \langle\!\langle u'u' - K + G, v'u', \zeta' p'_x \rangle\!\rangle, \\
&\partial_t(\zeta'_z v') - q'u' = -\nabla \cdot \langle\!\langle u'v', v'v' - K + G, \zeta' p'_y \rangle\!\rangle,
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
&A' = A - \overline{A} \\
&\nabla = \langle\!\langle \partial_x, \partial_y, \partial_z \rangle\!\rangle
\end{aligned}
$$

Impulse-Bolus (IB) 擬運動量の時間発展式 [EP2]

$$
\begin{aligned}
&\partial_t(\zeta'_z u' + q'\eta'/2) + \nabla \cdot \langle\!\langle u'u' - K + G, v'u', \zeta' p'_x \rangle\!\rangle = 0, \\
&\partial_t(\zeta'_z v' - q'\xi'/2) + \nabla \cdot \langle\!\langle u'v', v'v' - K + G, \zeta' p'_y \rangle\!\rangle = \beta(v'\xi' - u'\eta')/2,
\end{aligned}
$$

ボーラス速度　　惑星波のインパルス

$$\boxed{\zeta'_z u' + q'\eta'/2}$$

$$\boxed{\zeta'(u'_z - w'_x)}$$

重力波の
インパルス（非静力）

まとめ

一般化した
Taylor–Brethertonの恒等式
（渦位フラックスの別表現）

渦や不安定波問題に応用可

1980年代の研究
浅水方程式を使用

Impulse–Bolus (IB) 擬運動量
の時間発展式
（EPの関係式）

3次元フラックスが
Plumb (1986)の表現に近いので
惑星波の群速度ベクトルを示唆

しかしボーラス速度の正体が不明

Classical Energy–based (CE)
擬運動量の時間発展式
（EPの関係式）

エネルギーとの関連は有用

3次元フラックスが圧力フラックスに
近いので惑星波の群速度ベクトルの
考察に不向き

Classical Energy-based (CE) 擬運動量の時間発展式 [EP2]

$$(\underbrace{K+G}_{E})_t + \nabla \cdot \langle\langle u'p', v'p', w'p' \rangle\rangle = 0, \qquad c_p \equiv \omega/k, \qquad c_g \equiv \partial\omega/\partial k$$

$$(E/c_p)_t + \nabla \cdot \langle\langle u'p'/c_p, v'p'/c_p, w'p'/c_p \rangle\rangle = 0,$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \overline{u'p'}/c_p \; dy$$
$$= \int_{-\infty}^{+\infty} c_g(\overline{E}/c_p) \; dy$$

Classical Energy-based (CE) 擬運動量の時間発展式 [EP2]

$$(\underbrace{K+G}_{E})_t + \nabla\cdot\langle\!\langle u'p', v'p', w'p'\rangle\!\rangle = 0, \qquad c_p \equiv \omega/k, \qquad c_g \equiv \partial\omega/\partial k$$

$$(E/c_p)_t + \nabla\cdot\langle\!\langle u'p'/c_p, v'p'/c_p, w'p'/c_p\rangle\!\rangle = 0,$$

$$\pi' \equiv \int^t p'\,dt,$$
$$u' - f\eta' = -\pi'_x,$$
$$v' + f\xi' = -\pi'_y,$$

$$\begin{aligned} E &\equiv K + G \\ &= (u'^2 + v'^2 + N^2\zeta'^2)/2 \\ &= (u'\xi'_t + v'\eta'_t - \zeta\pi'_{zt})/2, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\int_{-\infty}^{+\infty} \overline{u'p'}/c_p\ dy \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} c_g(\overline{E}/c_p)\ dy \end{aligned}$$

CE擬運動量　　　　IB擬運動量　　　　何かの3次元発散

$$(-u'\xi'_x - v'\eta'_x + \zeta'\pi'_{zx})/2 = \zeta'_z u' + q'\eta'/2 + \nabla\cdot\langle\!\langle -v'\eta', u'\eta', \zeta'\pi'_x\rangle\!\rangle/2$$

ゲージ変換

Aiki, Takaya and Greatbatch (2015, JAS)

まとめ

一般化した
Taylor–Bretherton の恒等式
（渦位フラックスの別表現）

渦や不安定波問題に応用可

Classical Energy–based (CE)
擬運動量の時間発展式
（EPの関係式）

エネルギーとの関連は有用

3次元フラックスが圧力フラックスに近いので惑星波の群速度ベクトルの考察に不向き

本研究（その1）
高さ座標系を使用

本研究
（その2）

Impulse–Bolus (IB) 擬運動量
の時間発展式
（EPの関係式）

3次元フラックスが
Plumb (1986)の表現に近いので
惑星波の群速度ベクトルを示唆

しかしボーラス速度の正体が不明

本研究
（その2）

CE擬運動量とIB擬運動量の
関係をゲージ変換で理解

お互いの差はフラックスの発散
に過ぎないので
積分恒等式を用いて理解可能

ボーラス速度　　惑星波のインパルス

$$\boxed{\zeta'_z u' + q'\eta'/2}$$

$$\boxed{\zeta'(u'_z - w'_x)}$$

重力波の
インパルス（非静力）

Aiki, Takaya and Greatbatch (2015, JAS)

Classical Energy-based (CE) 擬運動量の時間発展式 [EP2]

$$\underbrace{(K+G)}_{E}{}_t + \nabla\cdot\langle\!\langle u'p', v'p', w'p'\rangle\!\rangle = 0, \qquad c_p \equiv \omega/k, \qquad c_g \equiv \partial\omega/\partial k$$

$$(E/c_p)_t + \nabla\cdot\langle\!\langle u'p'/c_p, v'p'/c_p, w'p'/c_p\rangle\!\rangle = 0,$$

$$\pi' \equiv \int^t p'dt,$$
$$u' - f\eta' = -\pi'_x,$$
$$v' + f\xi' = -\pi'_y,$$

$$\begin{aligned} E &\equiv K + G \\ &= (u'^2 + v'^2 + N^2\zeta'^2)/2 \\ &= (u'\xi'_t + v'\eta'_t - \zeta\pi'_{zt})/2, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\int_{-\infty}^{+\infty} \overline{u'p'}/c_p\ dy \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} c_g(\overline{E}/c_p)\ dy \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} c_g(\overline{\zeta'_z u'} + \overline{q'\eta'}/2)\ dy \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} (\overline{u'u'} - \overline{K} + \overline{G})\ dy \end{aligned}$$

CE擬運動量　　　　IB擬運動量　　　　何かの3次元発散

$$(-u'\xi'_x - v'\eta'_x + \zeta'\pi'_{zx})/2 = \zeta'_z u' + q'\eta'/2 + \nabla\cdot\langle\!\langle -v'\eta', u'\eta', \zeta'\pi'_x\rangle\!\rangle/2$$

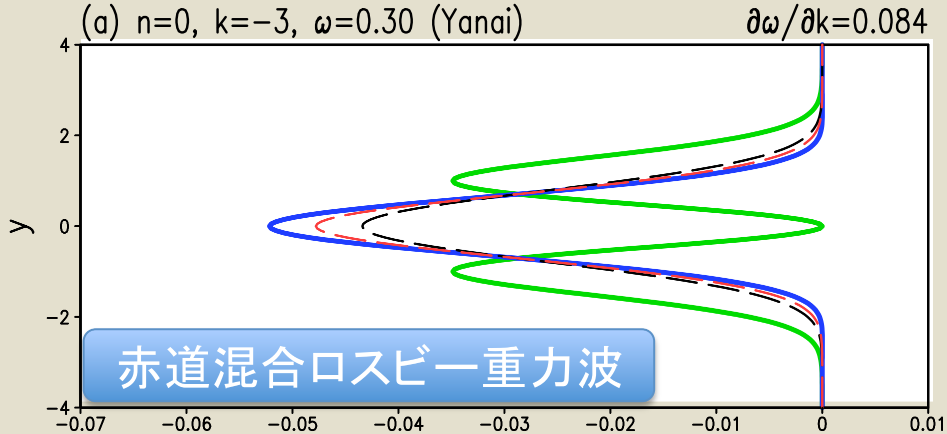
ゲージ変換

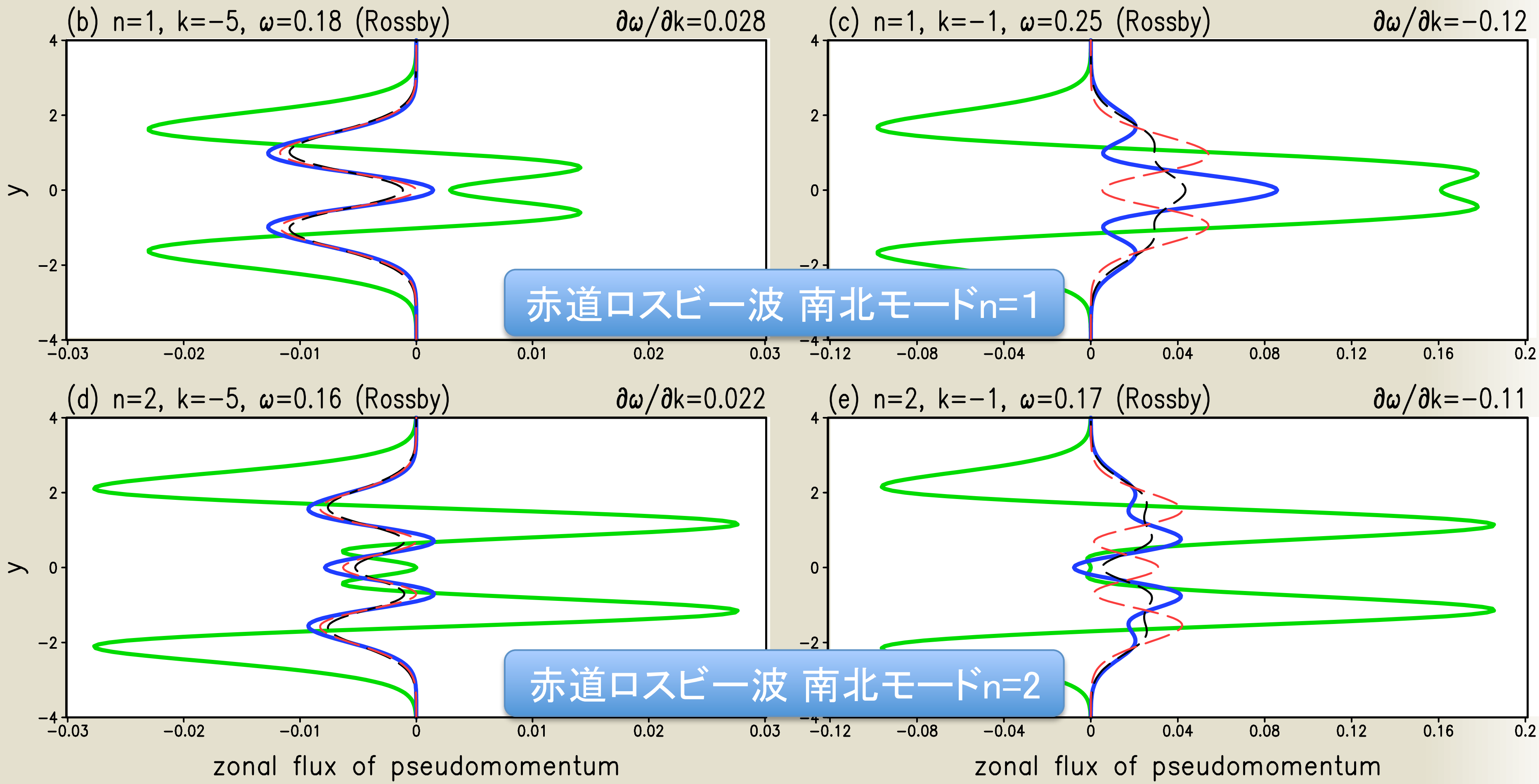
Impulse-Bolus (IB) 擬運動量の時間発展式 [EP2]

$$\partial_t(\zeta'_z u' + q'\eta'/2) + \nabla\cdot\langle\!\langle u'u' - K + G, v'u', \zeta'p'_x\rangle\!\rangle = 0,$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \overline{u'p'}/c_p \, dy$$
$$= \int_{-\infty}^{+\infty} c_g(\overline{E}/c_p) \, dy$$
$$= \int_{-\infty}^{+\infty} c_g(\overline{\zeta_z' u'} + \overline{q'\eta'}/2) \, dy$$
$$= \int_{-\infty}^{+\infty} (\overline{u'u'} - \overline{K} + \overline{G}) \, dy$$

CEフラックス
（モデル診断可能情報）
群速度×CE擬運動量
（知りたい情報）
群速度×IB擬運動量
（知りたい情報）
IBフラックス
（モデル診断可能情報）





まとめ

一般化した
Taylor–Bretherton の恒等式
（渦位フラックスの別表現）

渦や不安定波問題に応用可

本研究（その1）
高さ座標系を使用

Impulse–Bolus (IB) 擬運動量
の時間発展式
（EPの関係式）
3次元フラックスが
Plumb (1986)の表現に近いので
惑星波の群速度ベクトルを示唆

しかしボーラス速度の正体が不明

Classical Energy–based (CE)
擬運動量の時間発展式
（EPの関係式）
エネルギーとの関連は有用
3次元フラックスが圧力フラックスに
近いので惑星波の群速度ベクトルの
考察に不向き

本研究
（その2）

CE擬運動量とIB擬運動量の
関係をゲージ変換で理解

お互いの差はフラックスの発散
に過ぎないので
積分恒等式を用いて理解可能

本研究
（その2）

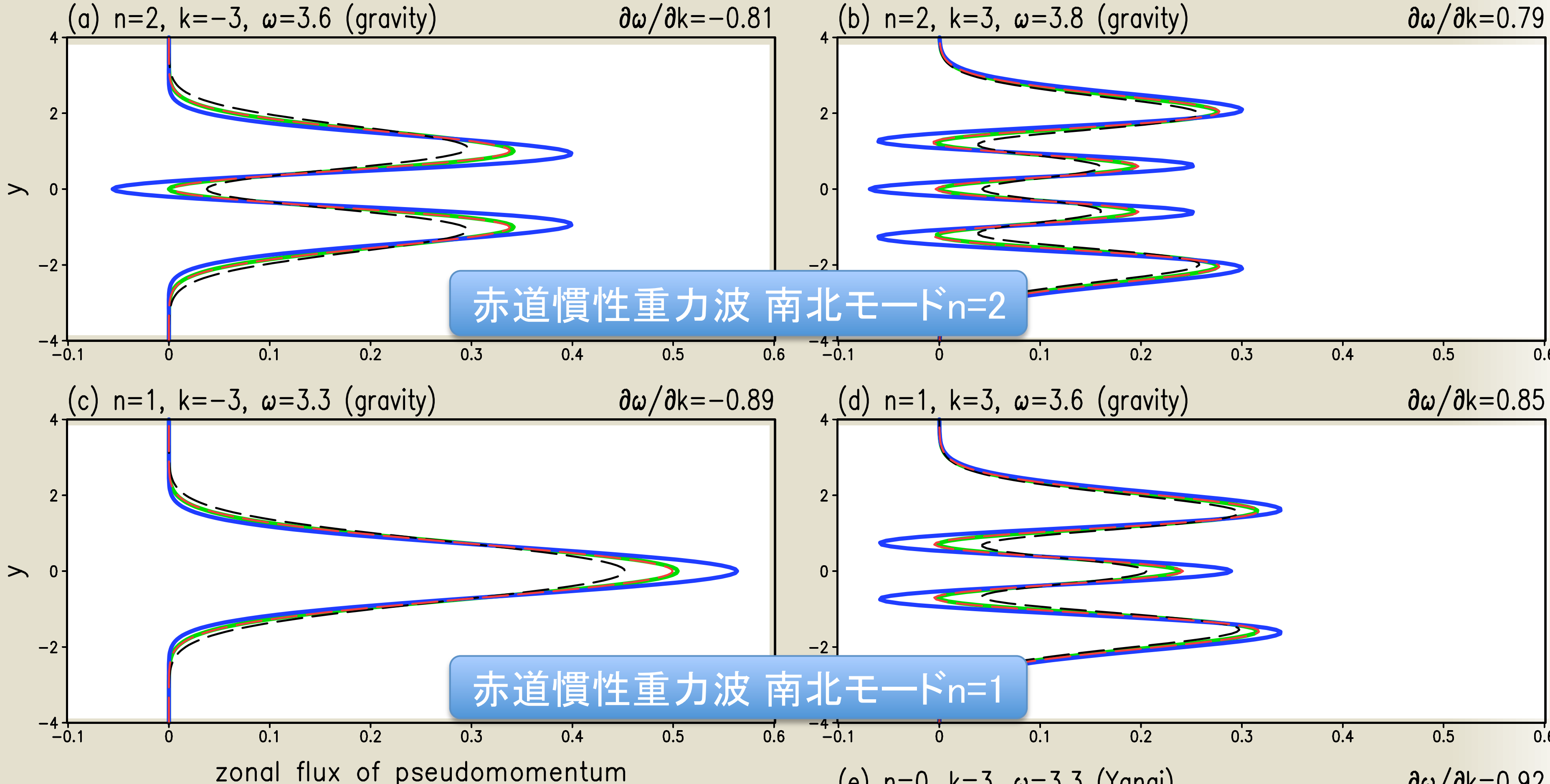
ボーラス速度　　惑星波のインパルス

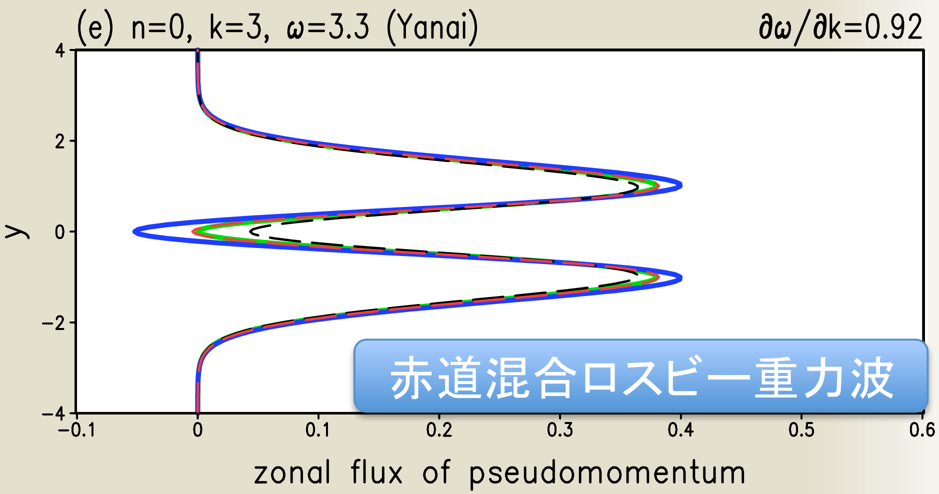
$$\boxed{\zeta_z' u' + q'\eta'/2}$$

$$\boxed{\zeta'(u_z' - w_x')}$$

重力波の
インパルス（非静力）

Aiki, Takaya and Greatbatch (2015, JAS)



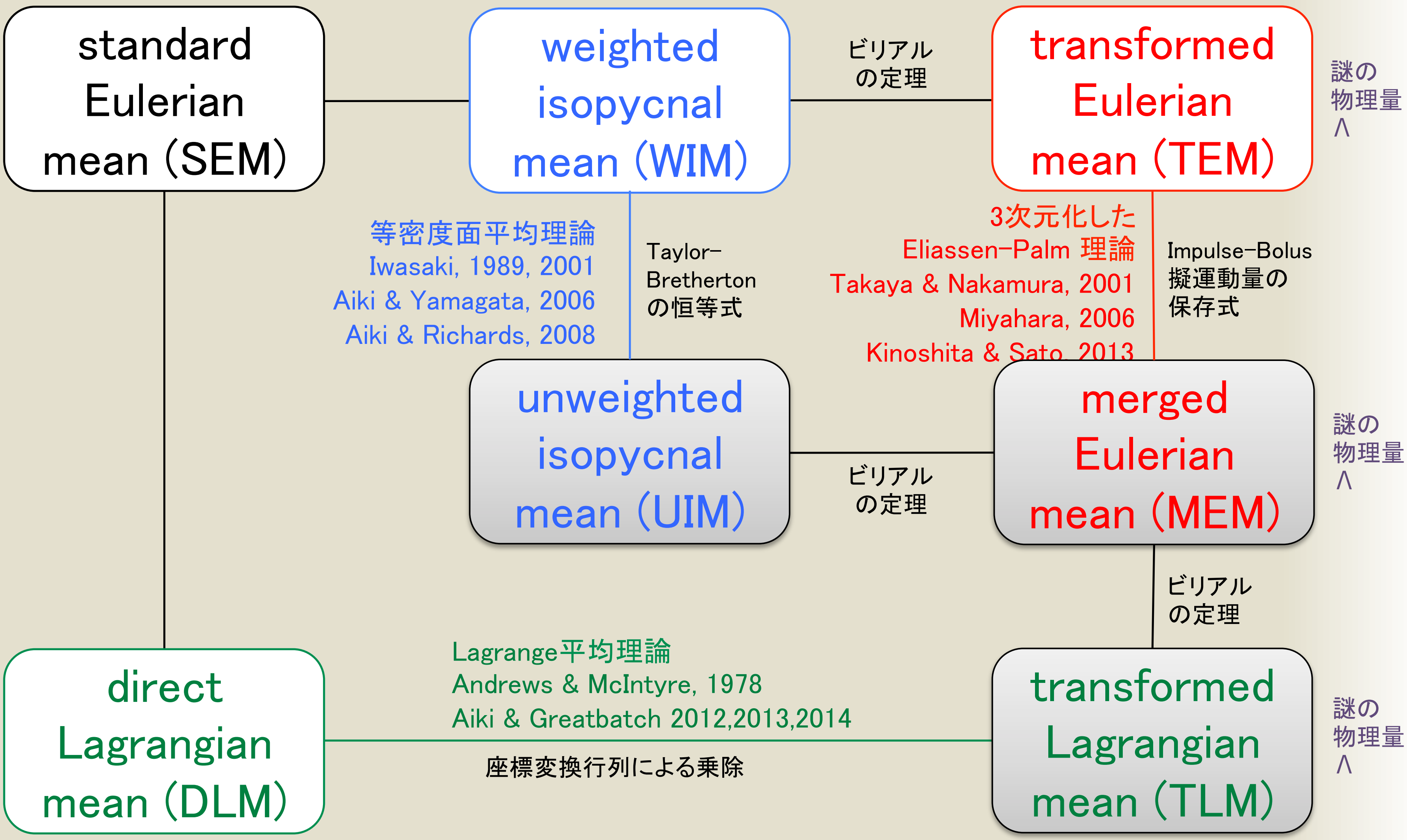


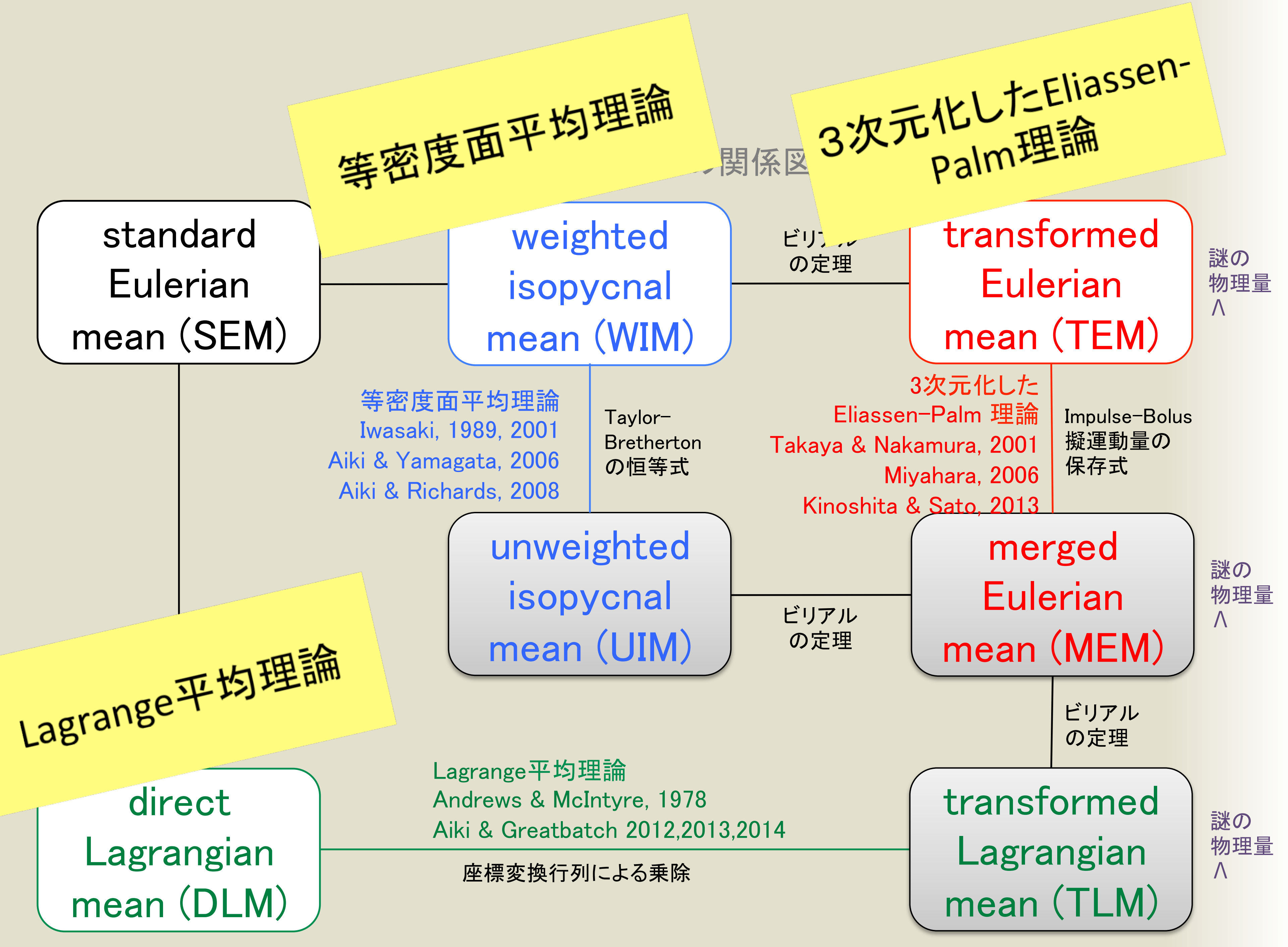
$$\int_{-\infty}^{+\infty} \overline{u'p'}/c_p \, dy$$
$$= \int_{-\infty}^{+\infty} c_g(\overline{E}/c_p)\, dy$$
$$= \int_{-\infty}^{+\infty} c_g(\overline{\zeta_z' u'} + \overline{q'\eta'}/2)\, dy$$
$$= \int_{-\infty}^{+\infty} (\overline{u'u'} - \overline{K} + \overline{G})\, dy$$

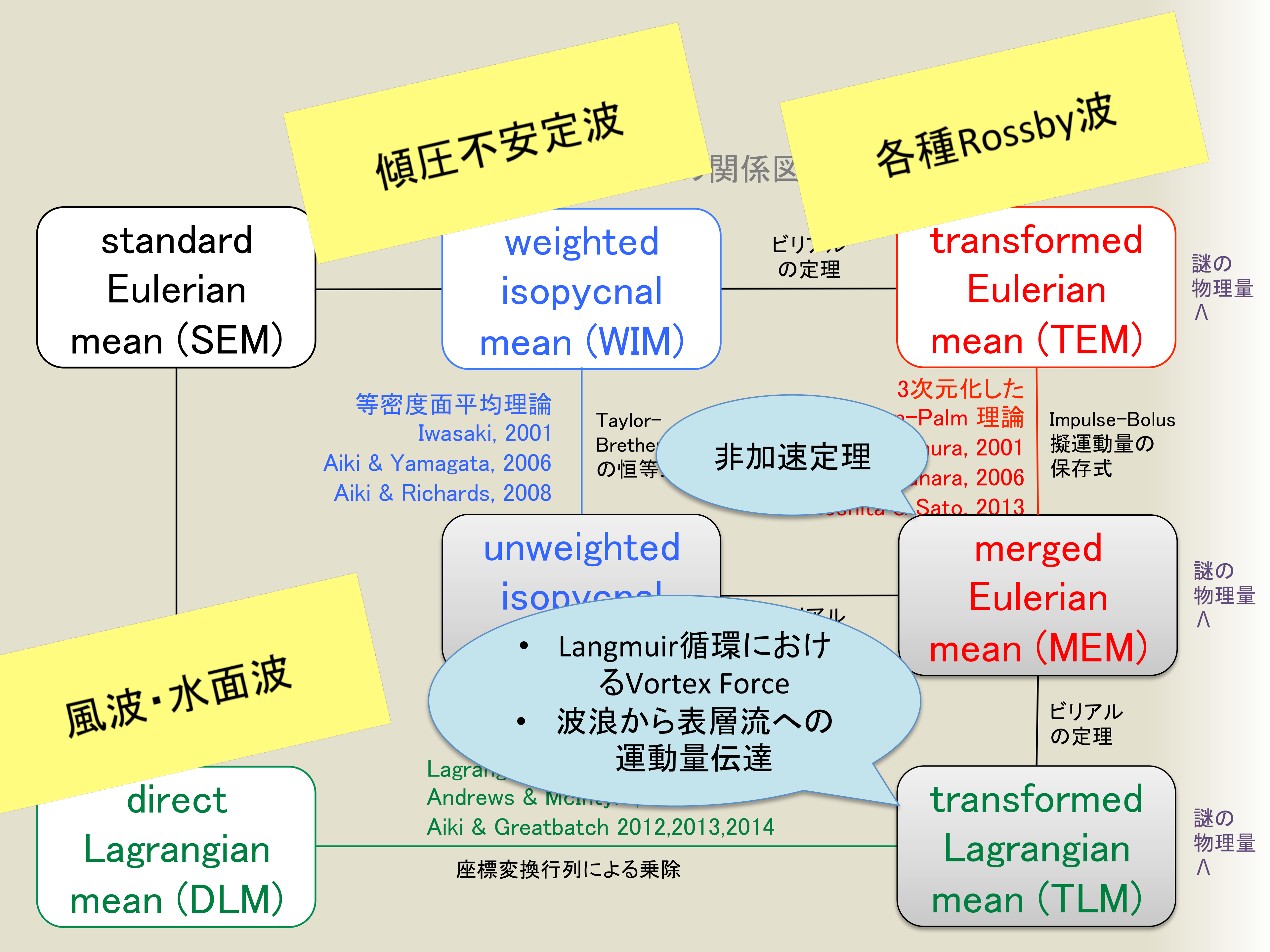
CEフラックス
（モデル診断可能情報）
群速度×CE擬運動量
（知りたい情報）
群速度×IB擬運動量
（知りたい情報）
IBフラックス
（モデル診断可能情報）

Aiki, Takaya, and Greabatch (JAS, 2015)

各理論の運動量方程式の関係




等密度面平均理論
3次元化したEliassen-Palm理論
standard Eulerian mean (SEM)
weighted isopycnal mean (WIM)
ビリアルの定理
transformed Eulerian mean (TEM)
謎の物理量Λ
等密度面平均理論
Iwasaki, 1989, 2001
Aiki & Yamagata, 2006
Aiki & Richards, 2008
Taylor–Bretherton の恒等式
3次元化した Eliassen–Palm 理論
Takaya & Nakamura, 2001
Miyahara, 2006
Kinoshita & Sato, 2013
Impulse–Bolus 擬運動量の保存式
unweighted isopycnal mean (UIM)
ビリアルの定理
merged Eulerian mean (MEM)
謎の物理量Λ
Lagrange平均理論
ビリアルの定理
Lagrange平均理論
Andrews & McIntyre, 1978
Aiki & Greatbatch 2012,2013,2014
direct Lagrangian mean (DLM)
座標変換行列による乗除
transformed Lagrangian mean (TLM)
謎の物理量Λ



傾圧不安定波
関係図
各種Rossby波
standard Eulerian mean (SEM)
weighted isopycnal mean (WIM)
ビリアル の定理
transformed Eulerian mean (TEM)
謎の物理量
Λ
等密度面平均理論
Iwasaki, 2001
Aiki & Yamagata, 2006
Aiki & Richards, 2008
Taylor–
Brethe
の恒等
非加速定理
3次元化した
–Palm 理論
ura, 2001
hara, 2006
Sato, 2013
Impulse–Bolus
擬運動量の
保存式
unweighted
isopycnal
merged Eulerian mean (MEM)
謎の物理量
Λ
風波・水面波
• Langmuir循環におけるVortex Force
• 波浪から表層流への運動量伝達
ビリアル の定理
Lagran
Andrews & McIntyre
Aiki & Greatbatch 2012,2013,2014
direct Lagrangian mean (DLM)
座標変換行列による乗除
transformed Lagrangian mean (TLM)
謎の物理量
Λ

AMS 20th Conference on Atmospheric and Oceanic Fluid Dynamics
15-19 June, 2015 in Minneapolis

W. R. Young

Why the bolus velocity deserved to die and how I killed it

https://ams.confex.com/ams/20Fluid/webprogram/Paper273091.html

H. Aiki

Why the bolus velocity deserved to survive and how we use it

https://ams.confex.com/ams/20Fluid/webprogram/Paper272904.html