- 逐家好，今仔日欲來試用閩南語報告
- 別怕聽不懂，我會逐字念，而且用大量的訓用字來方便逐家讀
- 若有問題免歹勢，請擇手

用HYMACS來改善Kain-Fritsch方案的兩个問題：
1. 對水平解析度太敏感
2. 將熱帶氣旋預報得過強

講者：王珩(Ong, Hing，碩士班二年級）
指導教授：吳健銘, 郭鴻基
國立臺灣大學大氣科學系

（感謝動力與模擬研究室的同學）

大綱

- 介紹

  對科學與科技來講，積雲參數化有什麼問題

  因端與解決方案—混成質量通量積雲參數化，簡稱HYMACS

  兩个科學假說
- 質量擧升實驗
- 結論與未來展望

介紹

欲開始矣

對科學來說…

- 積雲參數化是一个很重要的多重尺度問題，因為伊表示咱對積雲與環境的交互作用的了解
- 不而過，1992年，Molinari與Dudek歸納出一个問題：

水平解析度

3 km　　20 km

毋免用積雲參數化 就可以模擬出積雲	對積雲參數化來講 毋用毋對，用也毋對	用積雲參數化 可以模擬出積雲的效果

若毋用，積雲毋是變無就是變太大

若用，對水平解析度太敏感

對科學來說…

- 整合性積雲參數化的目標就是無論水平解析度是多少都可以用
- 2013年，Arakawa與Wu指出一个關鍵是σ：積雲佔網格的面積比
- 我們的研究會提出另外一个關鍵：HYMACS

水平解析度

3 km

20 km

毋免用積雲參數化
就可以模擬出積雲

對積雲參數化來講
毋用毋對，用也毋對

用積雲參數化
可以模擬出積雲的效果

整合性(unified)

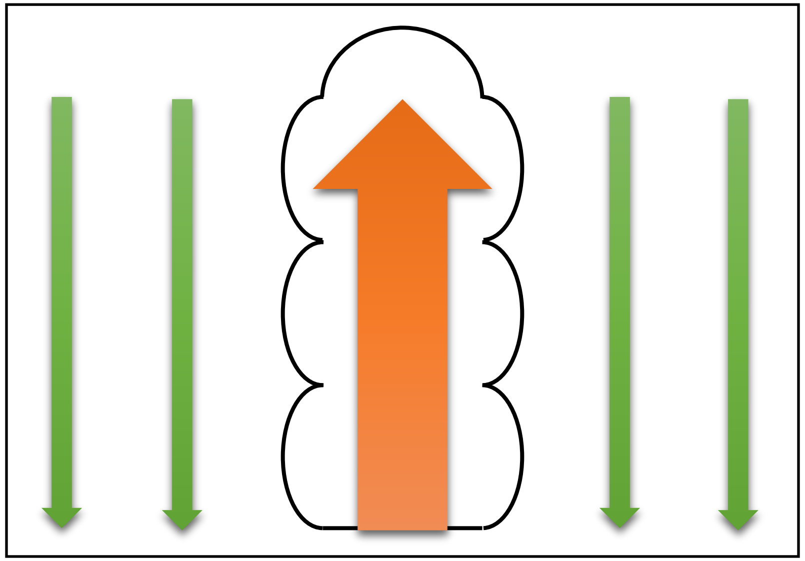
σ、HYMACS

對科技來說…

- 很多數值天氣預報模式都有用質量通量型積雲參數化方案，尤其是Kain-Fritsch方案
- 幾个先輩(e.g., Prater and Evans, 2002; Rao and Prasad, 2007; Srinivas et al., 2007; Chandrasekar and Balaji, 2012; others suggested using Grell scheme, e.g., Mandal et al., 2004; Yang and Ching, 2005)的敏感度實驗顯示對熱帶氣旋強度抑是路徑預報來講，Kain-Fritsch方案是最好的積雲參數化方案
- 不而過，在十公里左右的水平解析度，用Kain-Fritsch方案的模式易於將熱帶氣旋預報得過強e.g., Srinivas et al., 2007; Chandrasekar and Balaji, 2012; Sun et al., 2013; Singh and Mandal, 2014; Haghroosta et al., 2014)

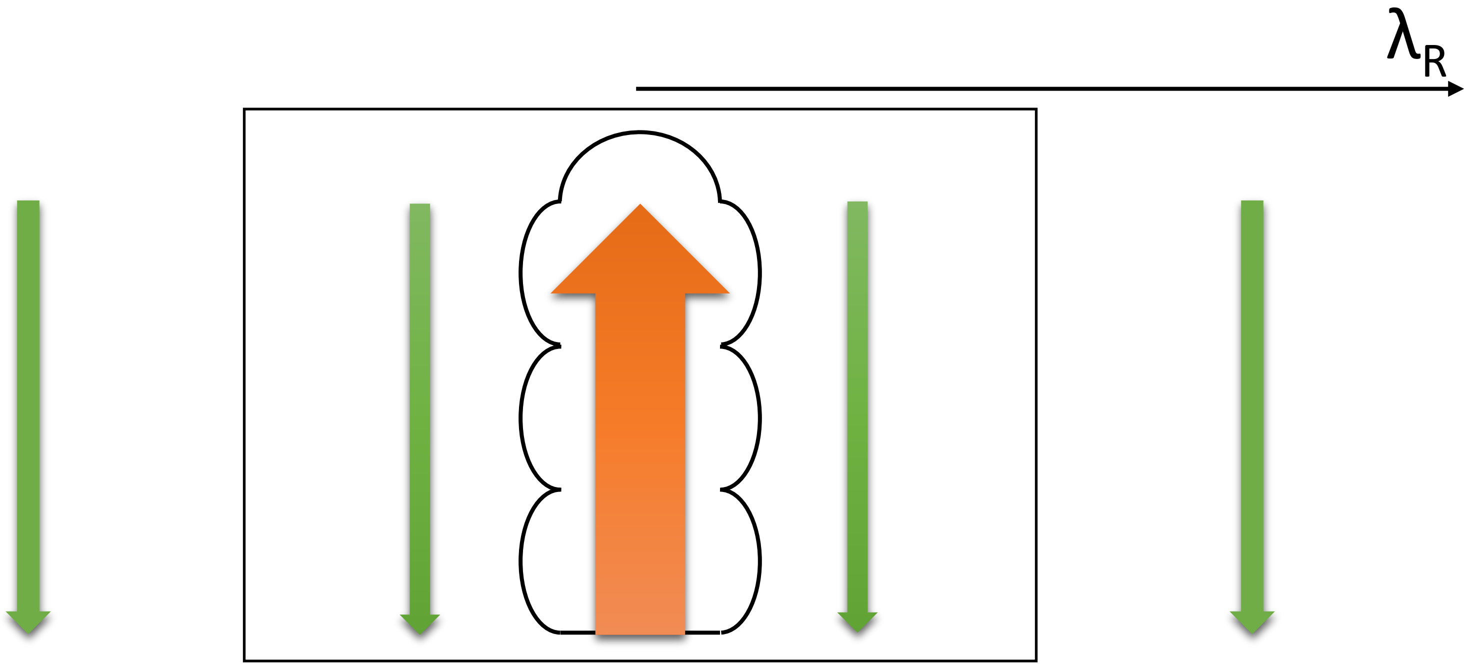
可能的因端

- 古典的質量通量型積雲參數化假設對質量通量來講，積雲區浮起來多少，共一个網格柱內得要共時降落去多少



可能的因端

- 猶毋過概念上，Rossby變形半徑若比網格柱較闊，這个假設就無效矣



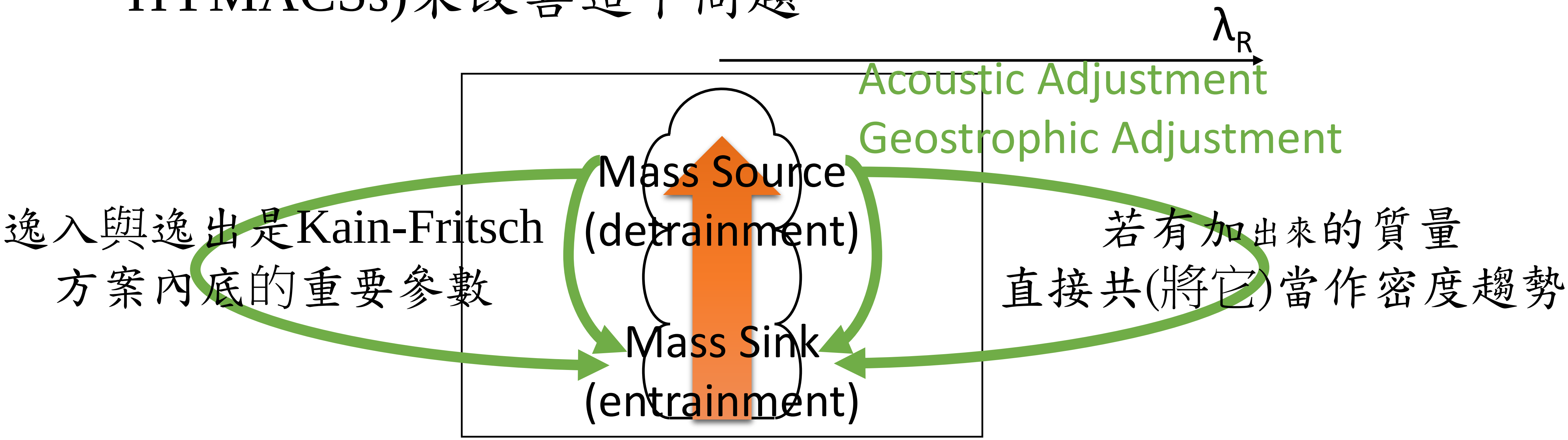
可能的因端

- 將質量通量全部降佇在共一個網格柱內會造成過熱

- 這也許就是Kain-Fritsch方案將熱帶氣旋預報得過強的因端

可能的解決方案

- 2007年，Kuell等人針對可壓縮模式發明一款混成質量通量積雲參數化(Hybrid Mass Flux Cumulus Schemes，簡稱HYMACSs)來改善這個問題



可能的解決方案

- 這个想法其來有自。1993年，Kain與Fritsch發明他們的方案的時陣就講過：『In general, a more realistic approach may be to solve for the compensating environmental motions on the resolvable scale by including convective mass source and sink terms in a resolvable-scale continuity equation.』
- 我也感覺無為而治較好。往過只有靜力平衡模式，將質量通量全部降在共一個網格柱內本底是姑不而將(不得已)，若用可壓縮模式還這樣做，好像『共篩子鬥揀米』(幫篩子挑米)，假gâu(自作聰明)

可能的解決方案

關於HYMACS的研究：

- 水平解析度(3.5 km ~ 28 km)不會影響著積雲與環境的質量交換，也就是說可以解決『整合性』的問題(Kuell et al., 2007)
- 在海風引發對流个理想模擬中，HYMACS真的做得比Kain-Fritsch方案與Tiedtke方案較實在(Kuell and Bott, 2008)

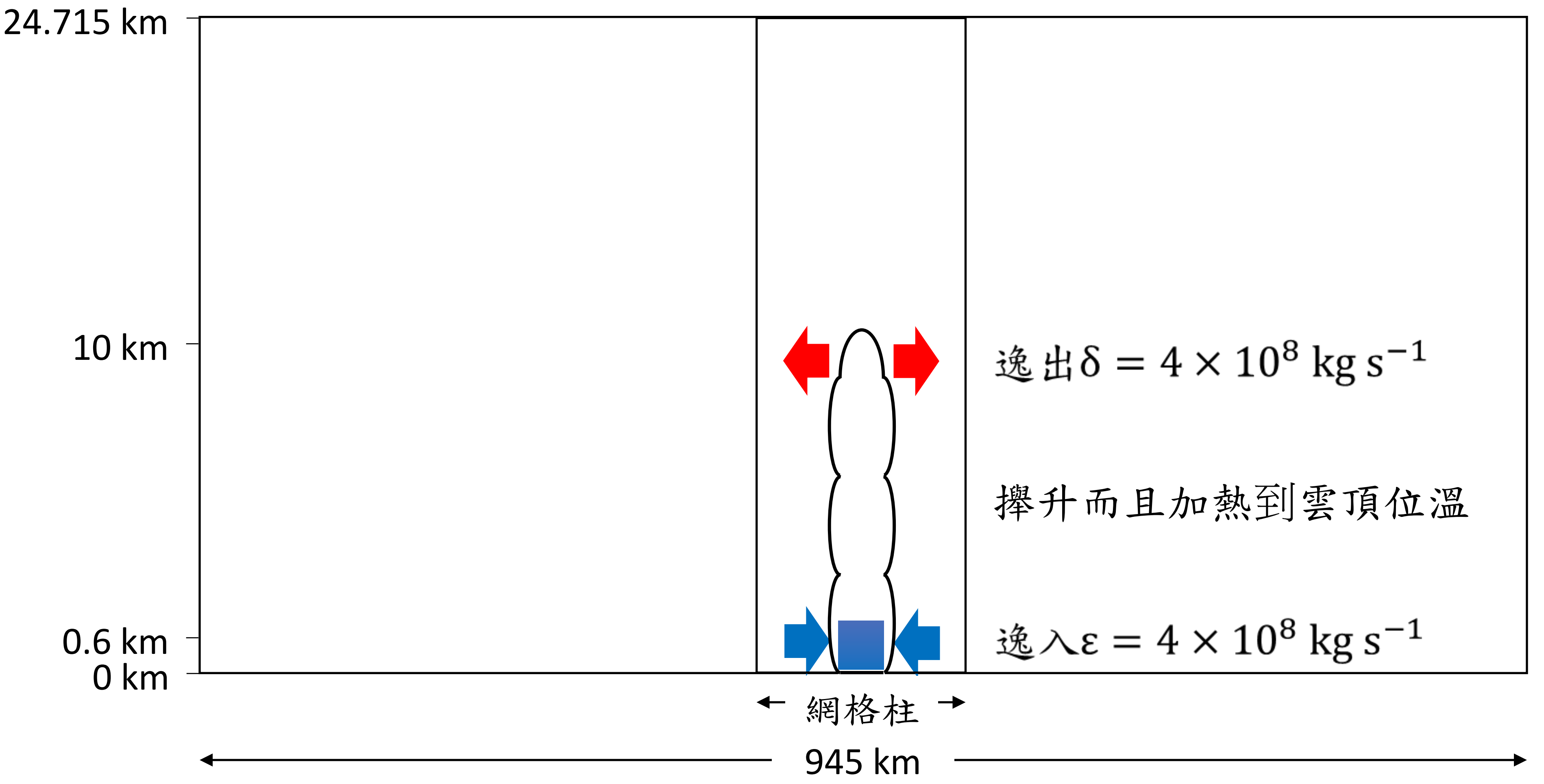
科學假說

- 不只σ，HYMACS也是整合性積雲參數化的關鍵
- 對作業性熱帶氣旋強度預報來講，HYMACS說不定比Kain-Fritsch方案較適合

質量擧升實驗

講講遮爾濟是有影無(講了這麼多是真的嗎)

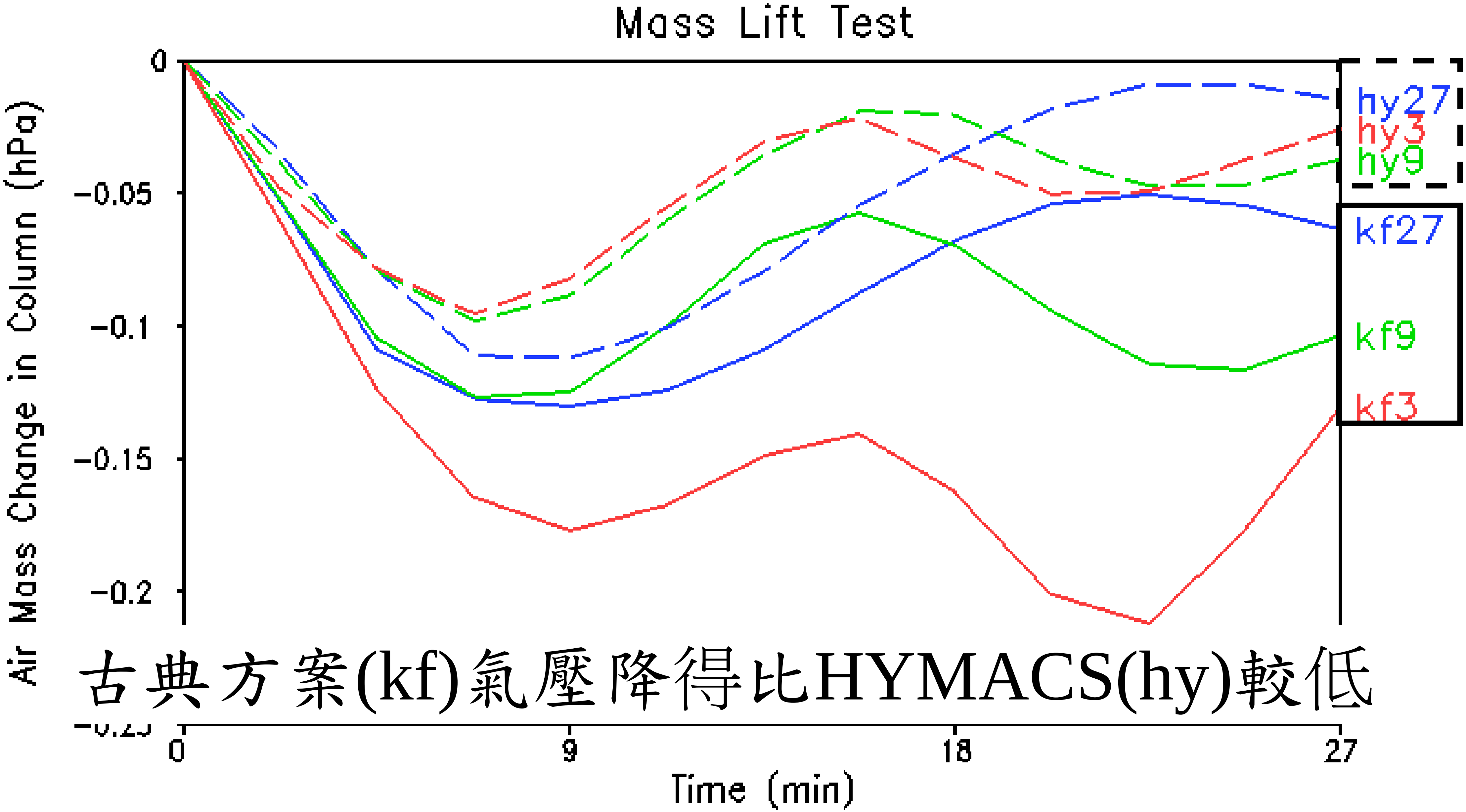
質量擧升實驗設計
(WRF，三維空間，初始靜止，颱風季探空)



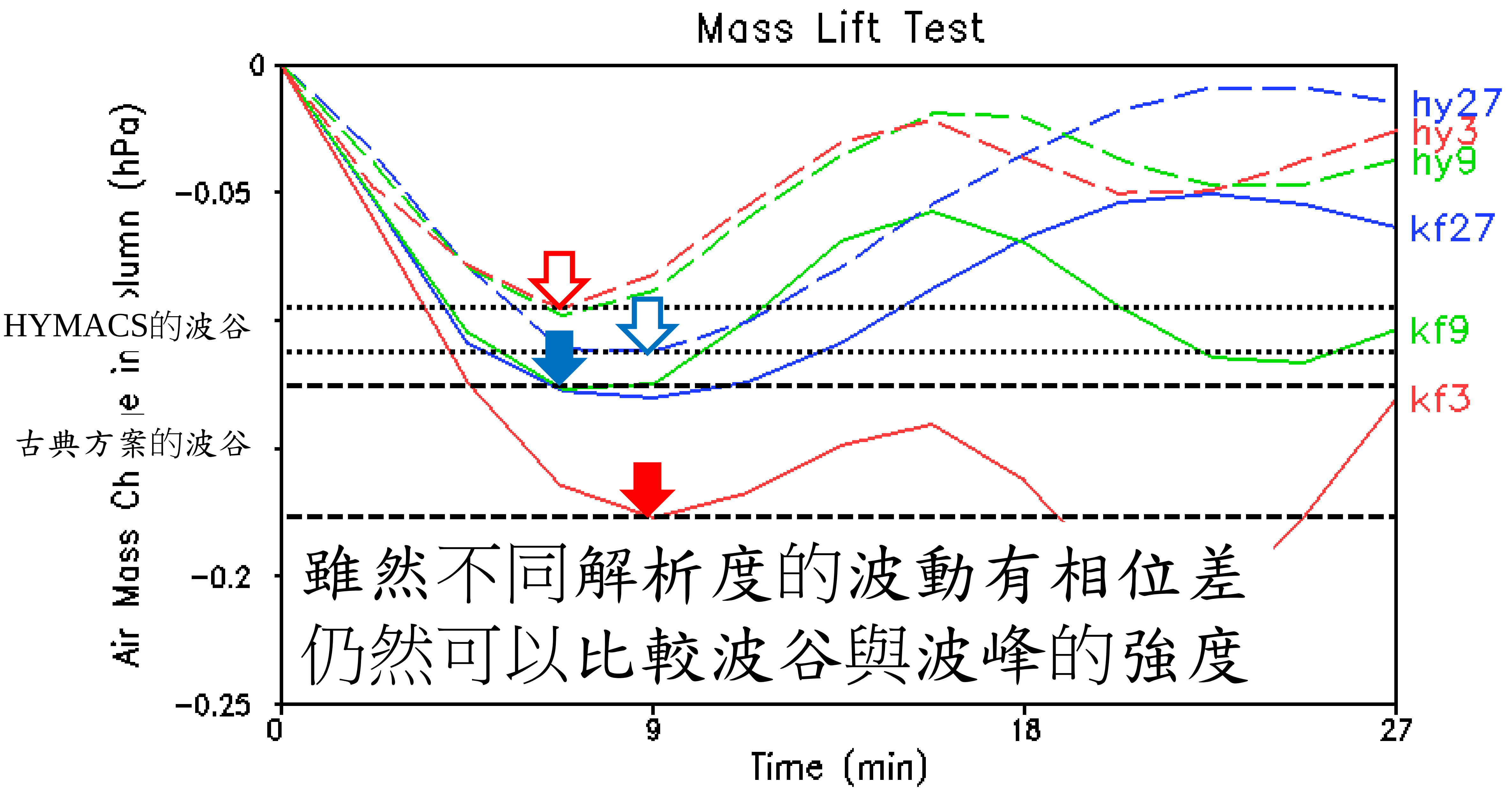
質量擇升實驗設計

- 共款的條件，用三款水平解析度與兩款方案來模擬

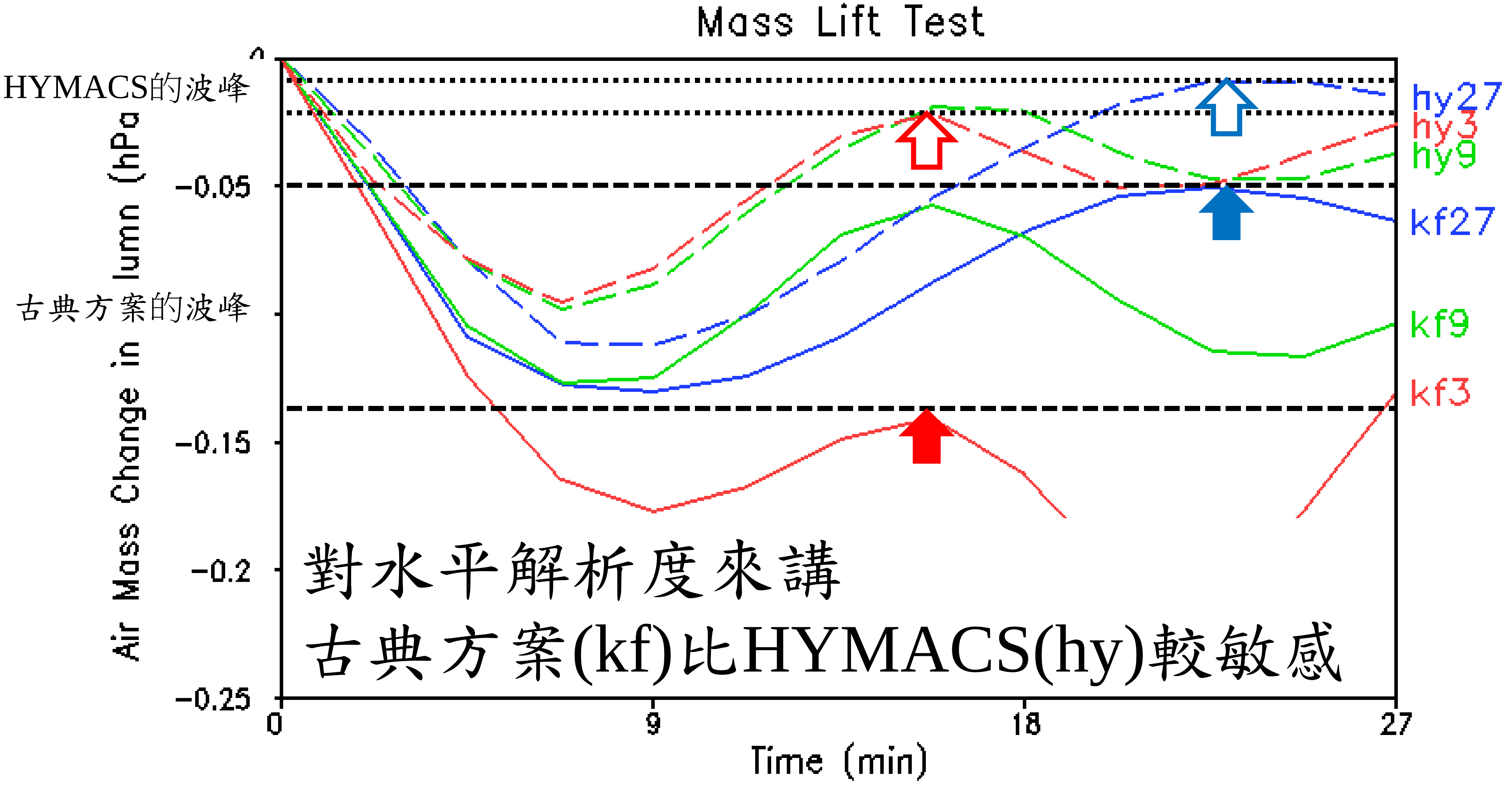
Horizontal grid spacing setting (km)	3	9	27
Hybrid mass flux cumulus scheme (hy)	hy3	hy9	hy27
Classical cumulus scheme (kf)	kf3	kf9	kf27



古典方案(kf)氣壓降得比HYMACS(hy)較低



Mass Lift Test
Air Mass Change in Column (hPa)
0
-0.05
-0.2
-0.25
0
9
18
27
Time (min)
hy27
hy3
hy9
kf27
kf9
kf3
HYMACS的波谷
古典方案的波谷
雖然不同解析度的波動有相位差
仍然可以比較波谷與波峰的強度



Mass Lift Test
HYMACS的波峰
古典方案的波峰
Air Mass Change in Column (hPa)
0
−0.05
−0.15
−0.2
−0.25
0
9
18
27
Time (min)
hy27
hy3
hy9
kf27
kf9
kf3
對水平解析度來講
古典方案(kf)比HYMACS(hy)較敏感

結論與未來展望

- 對水平解析度來講，古典方案(kf)比HYMACS(hy)較敏感

  →HYMACS是整合性積雲參數化的一个關鍵
- 古典方案(kf)氣壓降得比HYMACS(hy)較低

  →HYMACS說不定可以改善Kain-Fritsch方案將熱帶氣旋預報得過強的問題

後一步就是做理想熱帶氣旋模擬來證實這个假說

多謝逐家

講到這

請問大家有什麼問題

系集平均連續方程

- 為著欲表示積雲對流的無確定性，共(將)連續方程中的預報變數拆作系集平均項佮(紊流項)'：

$$\left(\frac{\partial}{\partial t}\right)_z [\overline{\rho\psi} + (\rho\psi)'] + \nabla_{\mathbf{z}} \cdot [\overline{\rho\psi} + (\rho\psi)'](\bar{\mathbf{V}} + \mathbf{V}') + \frac{\partial}{\partial z}[\overline{\rho\psi} + (\rho\psi)'](\bar{w} + w') = (\bar{\rho} + \rho')\left(\bar{\dot{\psi}} + \dot{\psi}'\right), \quad (1)$$

其中ρ, $\mathbf{V}$佮w 各是密度、水平速度佮垂直速度，ψ是一個佮質量無關的量，會使(可以)是1抑是一个預報變數

系集平均連續方程

- 因為系集平均項才是咱關心的，取式(1)个系集平均：

$$\left(\frac{\partial\overline{\rho\psi}}{\partial t}\right)_z+\nabla_{\mathbf{z}}\cdot(\overline{\rho\psi}\overline{\mathbf{V}})+\frac{\partial}{\partial z}(\overline{\rho\psi}\overline{w})+\nabla_{\mathbf{z}}\cdot\left[\overline{(\rho\psi)'\mathbf{V}'}\right]+\frac{\partial}{\partial z}\left[\overline{(\rho\psi)'w'}\right]=\bar{\rho}\bar{\dot{\psi}}+\overline{\rho'\dot{\psi}'}. \quad (2)$$

這就是系集平均連續方程。若共(將)ψ代作1，式(2)就變作系集平均質量連續方程：

$$\left(\frac{\partial\bar{\rho}}{\partial t}\right)_z+\nabla_{\mathbf{z}}\cdot(\bar{\rho}\overline{\mathbf{V}})+\frac{\partial}{\partial z}(\bar{\rho}\overline{w})+\nabla_{\mathbf{z}}\cdot(\overline{\rho'\mathbf{V}'})+\frac{\partial}{\partial z}(\overline{\rho'w'})=0. \quad (3)$$

一般HYMACS的封閉假設

- 為著方便，共(將)式(2)改寫作：

$$\left(\frac{\partial\overline{\rho\psi}}{\partial t}\right)_z + \nabla_{\mathbf{z}} \cdot \left(\overline{\rho\psi}\overline{\mathbf{V}}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\overline{\rho\psi}\overline{w}\right) - \bar{\rho}\bar{\dot{\psi}} = \overline{\rho'\dot{\psi}'} - \nabla_{\mathbf{z}} \cdot \left[\overline{(\rho\psi)'\mathbf{V}'}\right] - \frac{\partial}{\partial z}\left[\overline{(\rho\psi)'w'}\right] \equiv \left(\frac{\partial\overline{\rho\psi}}{\partial t}\right)_{cumulus}. \quad (4)$$

倒爿(左邊)攏(都)是預報變數，有法度(辦法)計算；正爿(右邊)無法度(辦法)計算，共(將它)定義作：

$$\left(\frac{\partial\overline{\rho\psi}}{\partial t}\right)_{cumulus} = \left[\overline{\rho\dot{\psi}} - \nabla_{\mathbf{z}} \cdot \left(\overline{\rho\psi\mathbf{V}}\right) - \frac{\partial}{\partial z}\left(\overline{\rho\psi w}\right)\right] - \left[\bar{\rho}\bar{\dot{\psi}} - \nabla_{\mathbf{z}} \cdot \left(\overline{\overline{\rho\psi}\overline{\mathbf{V}}}\right) - \frac{\partial}{\partial z}\left(\overline{\overline{\rho\psi}\overline{w}}\right)\right]. \quad (5)$$

一般HYMACS的封閉假設

- 紲落來(接下來)的目標就是診斷$\left(\frac{\partial\overline{\rho\psi}}{\partial t}\right)_{cumulus}$
- 一般來講，假設一个網格盒中的系集平均的空間分布齊勻(Anthes, 1977)，若按呢(這樣)，系集平均就會當(可以)寫作網格盒中的空間平均：

$$\left(\frac{\partial\overline{\rho\psi}}{\partial t}\right)_{cumulus} \cong \left(\frac{\partial\overline{\rho\psi}}{\partial t}\right)_{cumulus'} = \frac{1}{V}\left\{\iiint_V \left[\rho\dot{\psi} - \mathbf{\nabla_z}\cdot(\rho\psi\mathbf{V}) - \frac{\partial}{\partial z}(\rho\psi w)\right]dV' - \iiint_V \left[\bar{\rho}\bar{\dot{\psi}} - \mathbf{\nabla_z}\cdot(\overline{\rho\psi}\bar{\mathbf{V}}) - \frac{\partial}{\partial z}(\overline{\rho\psi}\bar{w})\right]dV'\right\}, \quad (6)$$

其中V表示網格盒的體積

一般HYMACS的封閉假設

- 因為積雲對流的垂直指向性，共(將)網格盒拆作一个$\widetilde{\text{環境}}$佮幾个(次網格積雲對流柱)$_i$插佇(在)內面：

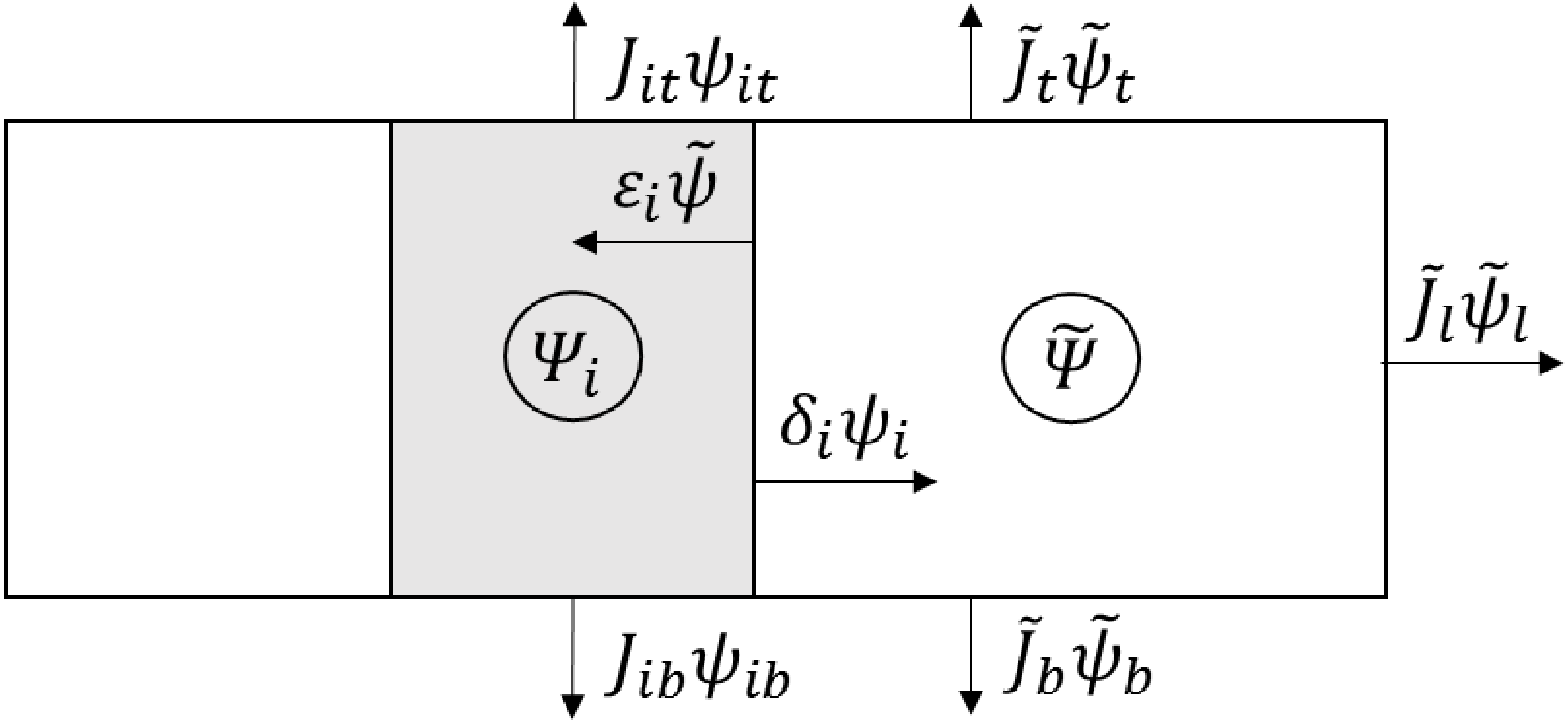
$$\left(\frac{\partial\overline{\rho\psi}}{\partial t}\right)_{cumulus'} = \frac{1}{V}\left\{\sum_i \iiint_{V_i}\left[\rho_i\dot{\psi}_i - \nabla_{\mathbf{z}}\cdot\left(\rho_i\psi_i\mathbf{V}_i\right) - \frac{\partial}{\partial z}\left(\rho_i\psi_i w_i\right)\right]dV' + \iiint_{\tilde{V}}\left[\tilde{\rho}\tilde{\dot{\psi}} - \nabla_{\mathbf{z}}\cdot\left(\tilde{\rho}\tilde{\psi}\tilde{\mathbf{V}}\right) - \frac{\partial}{\partial z}\left(\tilde{\rho}\tilde{\psi}\tilde{w}\right)\right]dV' - \iiint_{V}\left[\bar{\rho}\bar{\dot{\psi}} - \nabla_{\mathbf{z}}\cdot\left(\overline{\rho\psi}\overline{\mathbf{V}}\right) - \frac{\partial}{\partial z}\left(\overline{\rho\psi}\overline{w}\right)\right]dV', \qquad (7)$$

其中$V = \tilde{V} + \sum_i V_i$

一般HYMACS的封閉假設

- 對式(7)用輻散定理，共(將)整體積分寫作邊界面積分。假設雲內結構佮環境內結構無重要(Bjerknes, 1938)，若按呢(這樣)， ψ乘以質量通量的面積分就會當(可以)寫作質量通量的面積分乘以ψ：

$$\left(\frac{\partial\overline{\rho\psi}}{\partial t}\right)_{cumulus'} \cong \left(\frac{\partial\overline{\rho\psi}}{\partial t}\right)_{HYMACS} = \frac{1}{V}\{\textstyle\sum_i\left[\Psi_i + \varepsilon_i\tilde{\psi} - \delta_i\psi_i - J_{it}\psi_{it} - J_{ib}\psi_{ib}\right] + \left[\tilde{\Psi} + \sum_i\left(-\varepsilon_i\tilde{\psi} + \delta_i\psi_i\right) - \tilde{J}_l\tilde{\psi}_l - \tilde{J}_t\tilde{\psi}_t - \tilde{J}_b\tilde{\psi}_b\right] - \left[\bar{\Psi} - \bar{J}_l\bar{\psi}_l - \bar{J}_t\bar{\psi}_t - \bar{J}_b\bar{\psi}_b\right]\}, \qquad (8)$$


$J_{it}\psi_{it}$
$\tilde{J}_t\tilde{\psi}_t$
$\varepsilon_i\tilde{\psi}$
Ψ_i
$\tilde{\Psi}$
$\tilde{J}_l\tilde{\psi}_l$
$\delta_i\psi_i$
$J_{ib}\psi_{ib}$
$\tilde{J}_b\tilde{\psi}_b$

一般HYMACS的封閉假設

- ψ若是1，式(8)就變作：

$$\left(\frac{\partial\bar{\rho}}{\partial t}\right)_{HYMACS} = \frac{1}{V}\{\textstyle\sum_i[\varepsilon_i - \delta_i - J_{it} - J_{ib}] + [\sum_i(-\varepsilon_i + \delta_i) - \tilde{J}_l - \tilde{J}_t - \tilde{J}_b] - [-\bar{J}_l - \bar{J}_t - \bar{J}_b]\}. \qquad (9)$$

- 古典的積雲參數化攏(都)共(將)式(9)假設作無，攏(全部)屬於HYMACS的特例

HYMAKFS的封閉假設

- 紲落來(接下來)的目標就是診斷( )$_i$佮($\widetilde{\quad}$)
- 這个研究用傳統假設：積雲佔網格的面積比不止仔(非常)細(小)，若按呢(這樣)，環境就等於平均，式(8)就會當(可以)寫作：

$$\left(\frac{\partial\overline{\rho\psi}}{\partial t}\right)_{HYMACS'} = \frac{1}{V}\{\textstyle\sum_i[\Psi_i + \varepsilon_i\overline{\psi} - \delta_i\psi_i - J_{it}\psi_{it} - J_{ib}\psi_{ib}] + [\cancel{\tilde{\Psi}} + \sum_i(-\varepsilon_i\overline{\psi} + \delta_i\psi_i) - \cancel{\tilde{J}_l\tilde{\Psi}_l} - \cancel{\tilde{J}_t\tilde{\Psi}_t} - \cancel{\tilde{J}_b\tilde{\Psi}_b}] - [\cancel{\bar{\Psi}} - \cancel{\bar{J}_l\bar{\Psi}_l} - \cancel{\bar{J}_t\bar{\Psi}_t} - \cancel{\bar{J}_b\bar{\Psi}_b}], \qquad (10)$$

HYMAKFS的封閉假設

- 假設積雲對流維持穩定態，若按呢(這樣)，式(10)第一項就銷去矣

$$\left(\frac{\partial\overline{\rho\psi}}{\partial t}\right)_{HYMAKFS} = \frac{1}{V}\left[\sum_i \cancel{\left(\Psi_i + \varepsilon_i\overline{\psi} - \delta_i\psi_i - J_{it}\psi_{it} - J_{ib}\psi_{ib}\right) +} \sum_i\left(-\varepsilon_i\overline{\psi} + \delta_i\psi_i\right)\right]. \quad (11)$$

封閉假設小結

$$\left(\frac{\partial\overline{\rho\psi}}{\partial t}\right)_{cumulus} \cong \left(\frac{\partial\overline{\rho\psi}}{\partial t}\right)_{cumulus'} \cong \left(\frac{\partial\overline{\rho\psi}}{\partial t}\right)_{HYMACS}$$

- 一般HYMACS的封閉假設：1. 一个網格盒中的系集平均的空間分布齊匀(Anthes, 1977)，2. 雲內結構佮環境內結構無重要 (Bjerknes, 1938)

$$\left(\frac{\partial\overline{\rho\psi}}{\partial t}\right)_{HYMACS} \cong \left(\frac{\partial\overline{\rho\psi}}{\partial t}\right)_{HYMACS'} \cong \left(\frac{\partial\overline{\rho\psi}}{\partial t}\right)_{HYMAKFS}$$

- HYMAKFS的封閉假設：3. 積雲佔網格的面積比不止仔(非常)細(小) (Kuell et al., 2007)，4. 積雲對流維持穩定態 (Kain and Fritsch, 1993)

古典Kain-Fritsch方案的封閉假設

- 3.1 傳統假設：積雲佔網格的面積比不止仔(非常)細(小)：

$$\tilde{\psi} = \bar{\psi}$$

- 3.2 古典假設：無淨質量通量：

$$\tilde{J} = \bar{J} - \sum_i J_i$$

$$\left(\frac{\partial \overline{\rho\psi}}{\partial t}\right)_{KFSs} = \frac{1}{V}\sum_i\left(-\varepsilon_i\overline{\psi} + \delta_i\psi_i + J_{it}\psi_{it} + J_{ib}\psi_{ib}\right). \quad (12)$$

HYMAKFS的封閉假設

$$\left(\frac{\partial\overline{\rho\psi}}{\partial t}\right)_{HYMAKFS} = \frac{1}{V}\sum_i\left(-\varepsilon_i\overline{\psi} + \delta_i\psi_i\right). \quad (11)$$

$$\left(\frac{\partial\overline{\rho\psi}}{\partial t}\right)_{KFSs} = \frac{1}{V}\sum_i\left(-\varepsilon_i\overline{\psi} + \delta_i\psi_i + J_{it}\psi_{it} + J_{ib}\psi_{ib}\right). \quad (12)$$

會使(可以)用KFS對ε_i、δ_i、ψ_i的計算，算到最後才用式(11)，就完成HYMAKFS的計算矣