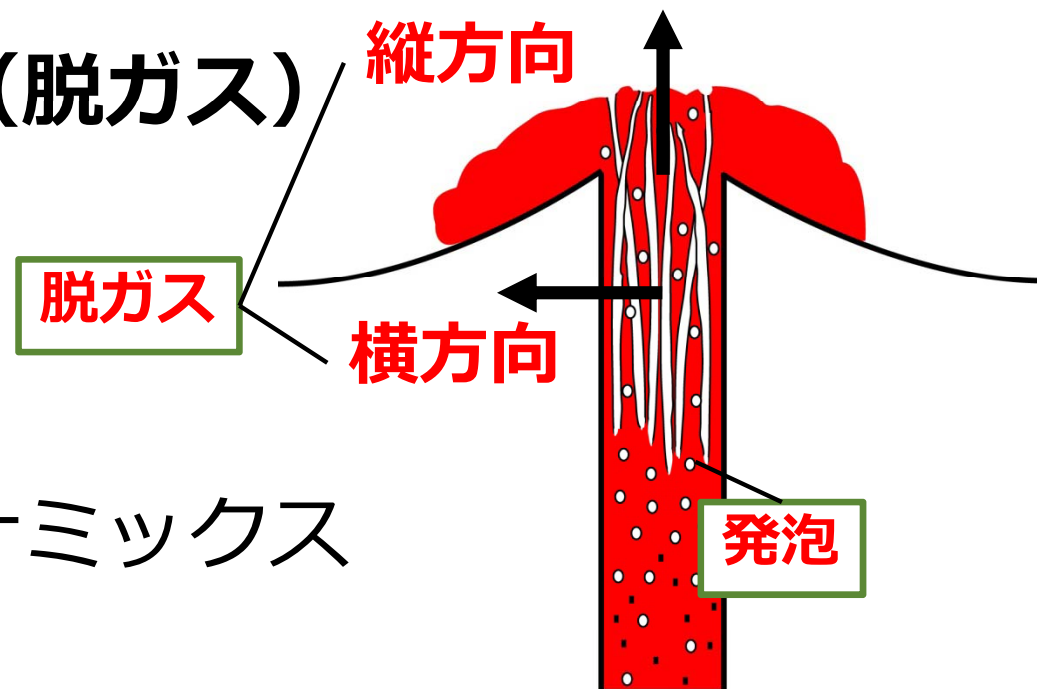


# 溶岩ドーム噴火のダイナミクスに 対する1次元火道流モデルの開発： (1)縦方向脱ガスと横方向脱ガスの影響

小園 誠史 (防災科学技術研究所)  
小屋口 剛博 (東京大学地震研究所)

# 溶岩ドーム噴火

- ▶ マグマからのガス分離（脱ガス）  
： 縦方向・横方向
- ▶ 脱ガス vs. 発泡  
→ 火道流の複雑なダイナミックス  
爆発的噴火への遷移
- ▶ 多項目観測
  - ✓ マグマ空隙率分布（ミュオン，岩石学）
  - ✓ 圧力分布（GPS，傾斜計）
  - ✓ 揮発成分組成（火山ガス，メルトインクルージョン）



# 火道流モデル

$$q_1 = \rho_1 u_1 (1 - \phi) = (1 - n)q \quad : \text{質量保存}$$

$$q_g = \rho_g u_g \phi = nq(1 - E_w)$$

$$E_w = \frac{q_w}{nq} \quad : \text{(横方向脱ガスの程度)}$$

$$0 = -(1 - \phi) \frac{dp}{dz} - \rho_1 (1 - \phi) g + F_{lg} - \frac{8\eta(c, \beta, \phi) u_1}{r_c^2}$$

: 運動量保存

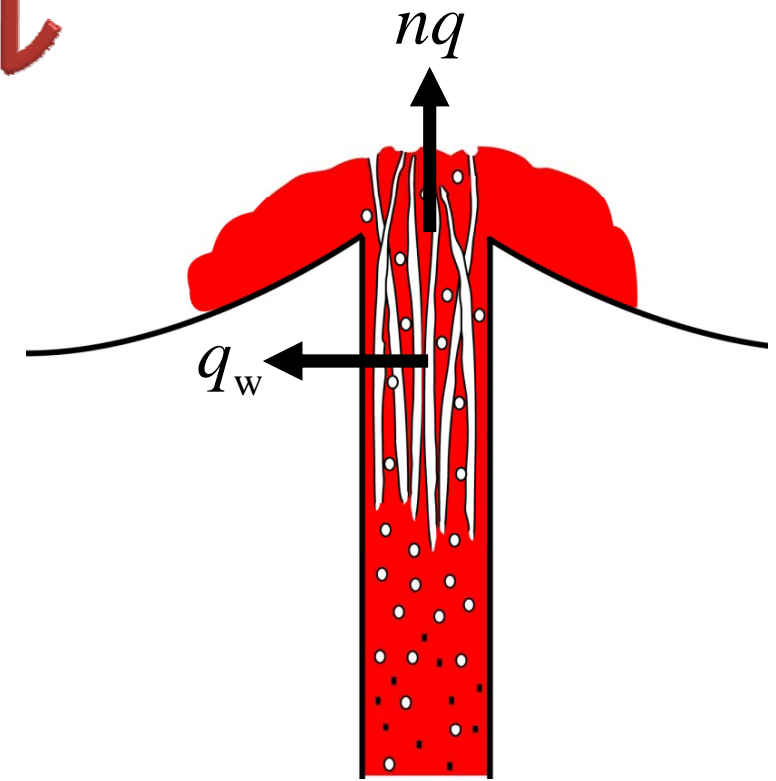
$$0 = -\phi \frac{dp}{dz} - \rho_g \phi g - F_{lg}$$

$$F_{lg} = \frac{\eta_g (1 - \phi) (u_g - u_1)}{k_v \phi^{m-2}} \quad : \text{気液間相互作用力}$$

$$\frac{dq_w}{dz} = \frac{2\phi \rho_g k_w [p - \{\rho_1 g(-z) + p_a\}] \exp(z/L)}{\eta_g r_c^2}$$

$$\rho_g = \frac{p}{RT}, \quad \rho_1 = \text{const.} \quad : \text{状態方程式}$$

$$n = \frac{n_0 - sp^{1/2}}{1 - sp^{1/2}} \quad (n \geq 0) \quad : \text{ガス質量分率}$$



$k_v$  : 縦方向脱ガス浸透率

$k_w$  : 横方向脱ガス浸透率

$\rho$  : 密度       $q$  : マグマ流量 ( $\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )

$\phi$  : 空隙率       $p$  : 圧力

$u$  : 速度       $T$  : 温度

$p_a$  : 大気圧       $r_c$  : 火道半径

$\eta$  : マグマ粘性       $\beta$  : 結晶量

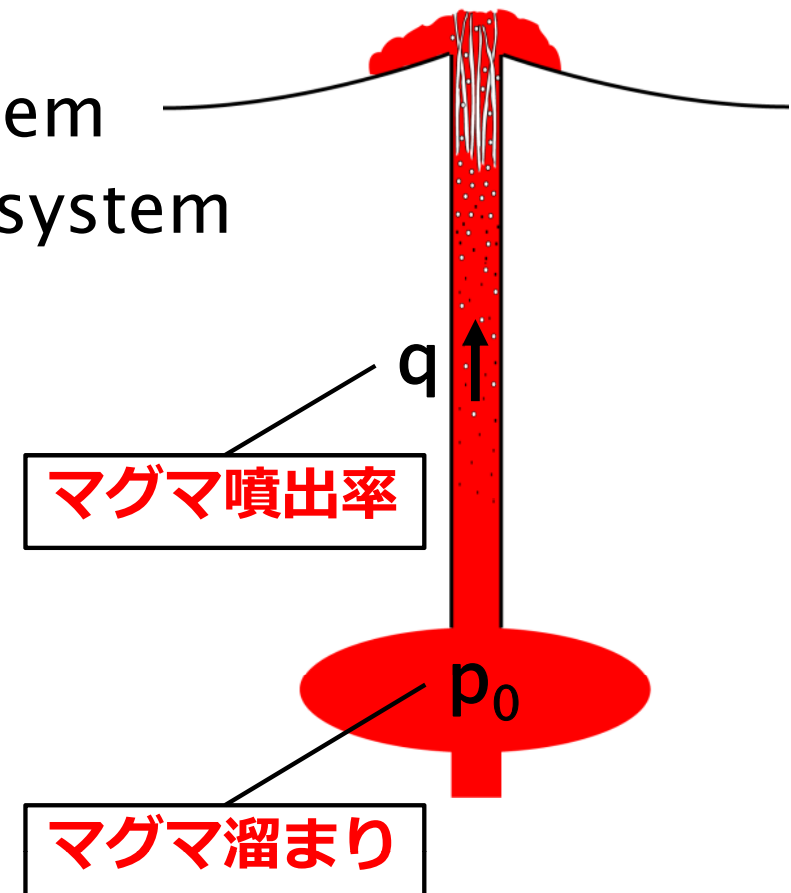
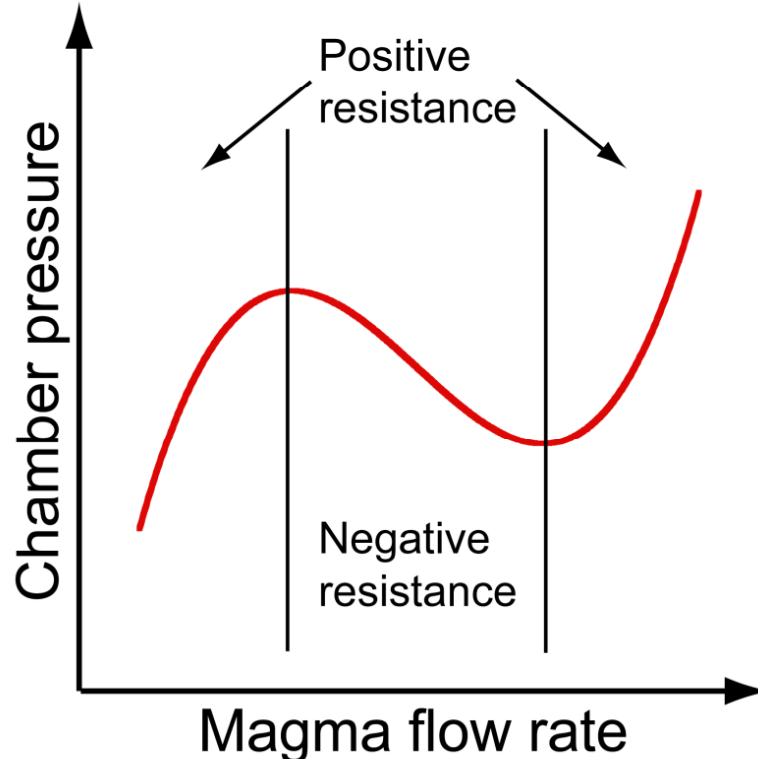
$\eta_g$  : ガス粘性       $c$  :  $\text{H}_2\text{O}$  濃度

# マグマ溜まり圧力-マグマ噴出率

- ▶ 火道流の巨視的なダイナミクス：マグマ溜まり圧力とマグマ噴出率の関係（ $p$ - $q$ 図）によって特徴づけられる

(e.g., Melnik and Sparks, 1999; 2005)

- ▶ **Positive** resistance → **Stable** system
- ▶ **Negative** resistance → **Unstable** system

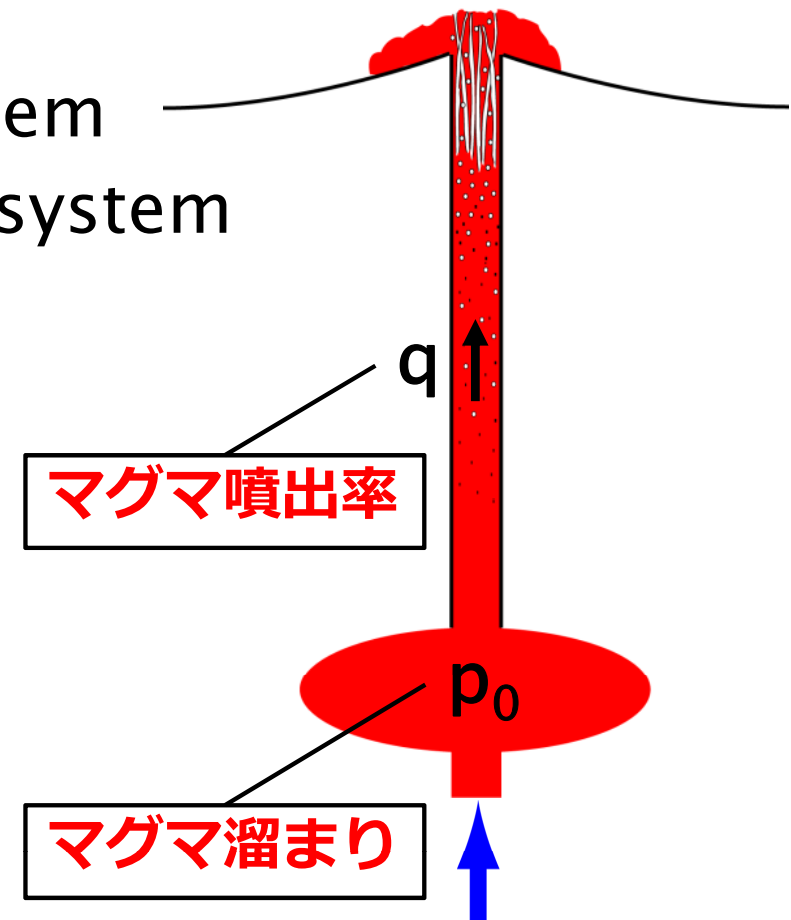
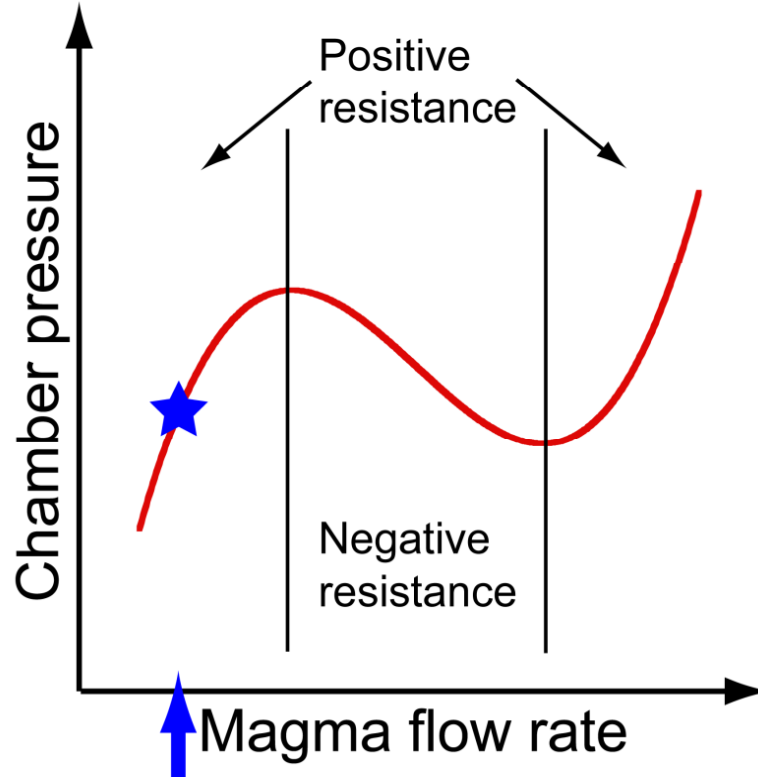


# マグマ溜まり圧力-マグマ噴出率

- ▶ 火道流の巨視的なダイナミクス：マグマ溜まり圧力とマグマ噴出率の関係（ $p$ - $q$ 図）によって特徴づけられる

(e.g., Melnik and Sparks, 1999; 2005)

- ▶ **Positive** resistance → **Stable** system
- ▶ **Negative** resistance → **Unstable** system



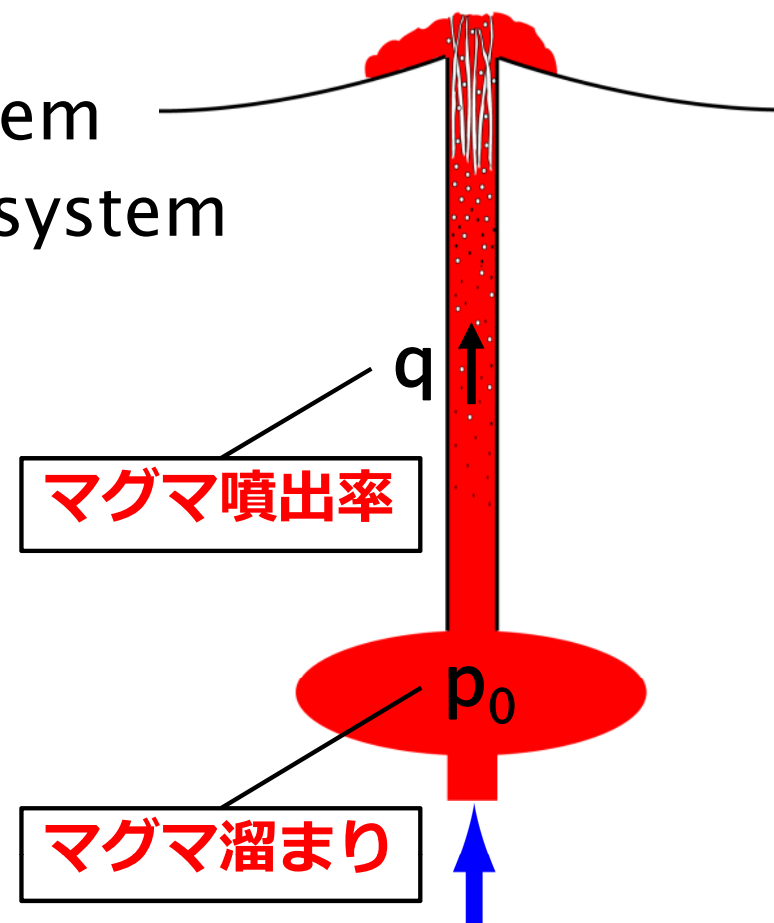
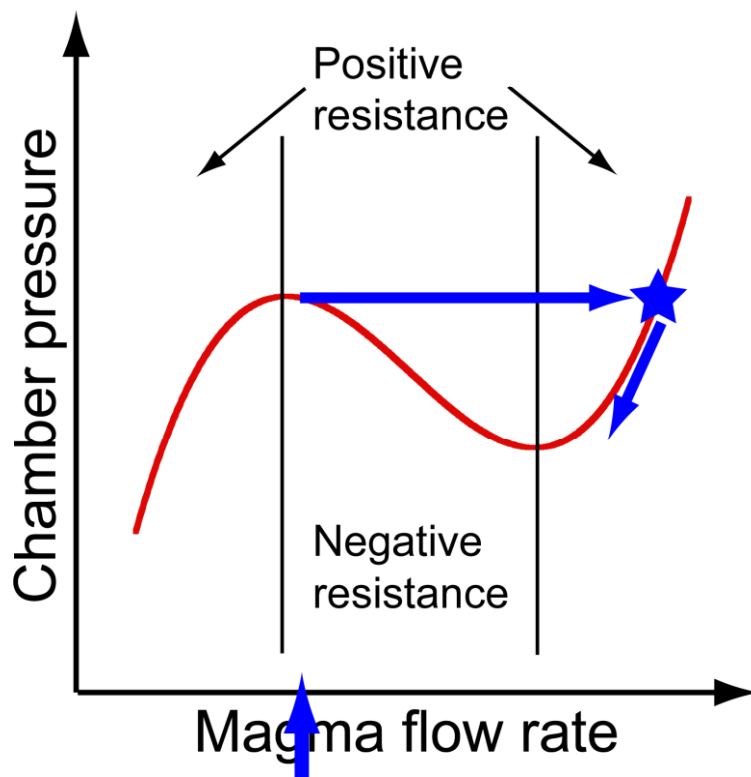


# マグマ溜まり圧力-マグマ噴出率

- ▶ 火道流の巨視的なダイナミクス：マグマ溜まり圧力とマグマ噴出率の関係（ $p$ - $q$ 図）によって特徴づけられる

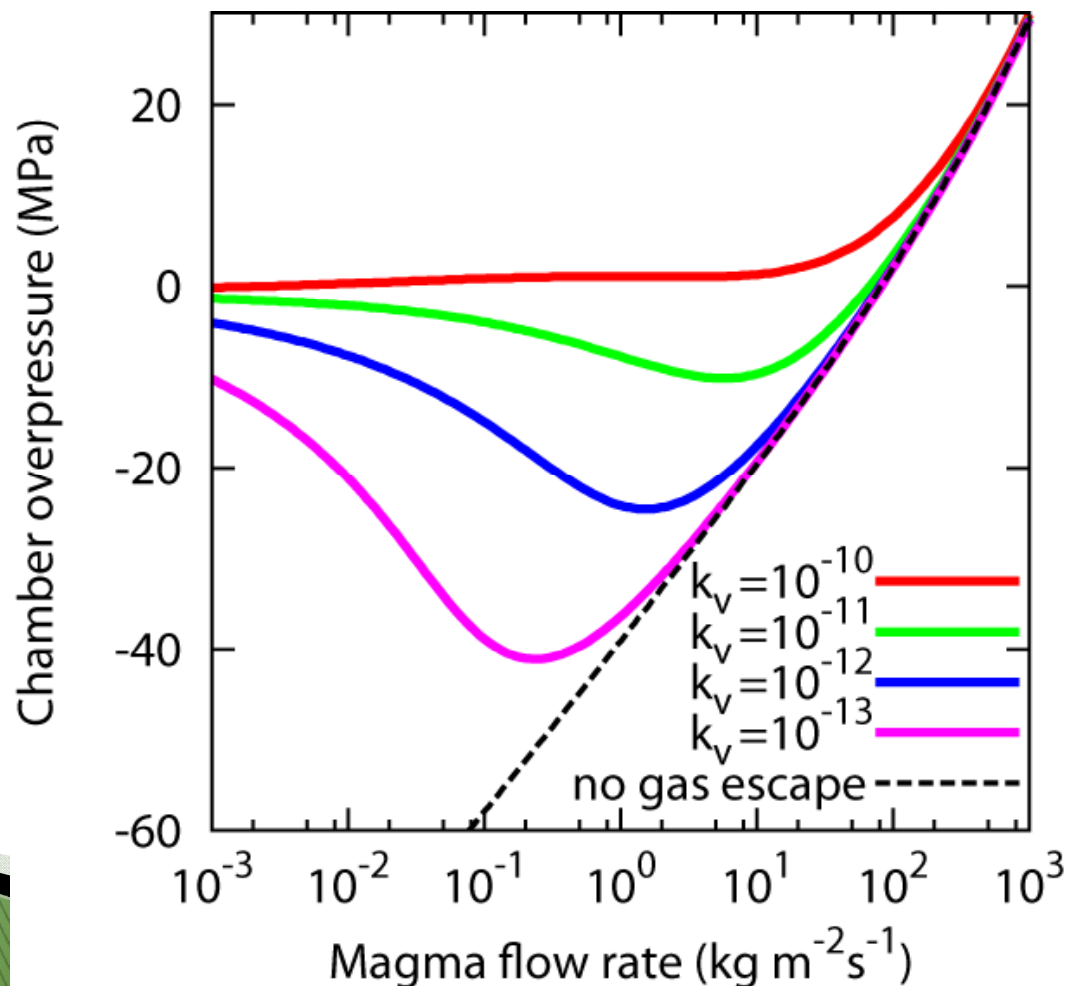
(e.g., Melnik and Sparks, 1999; 2005)

- ▶ **Positive** resistance → **Stable** system
- ▶ **Negative** resistance → **Unstable** system



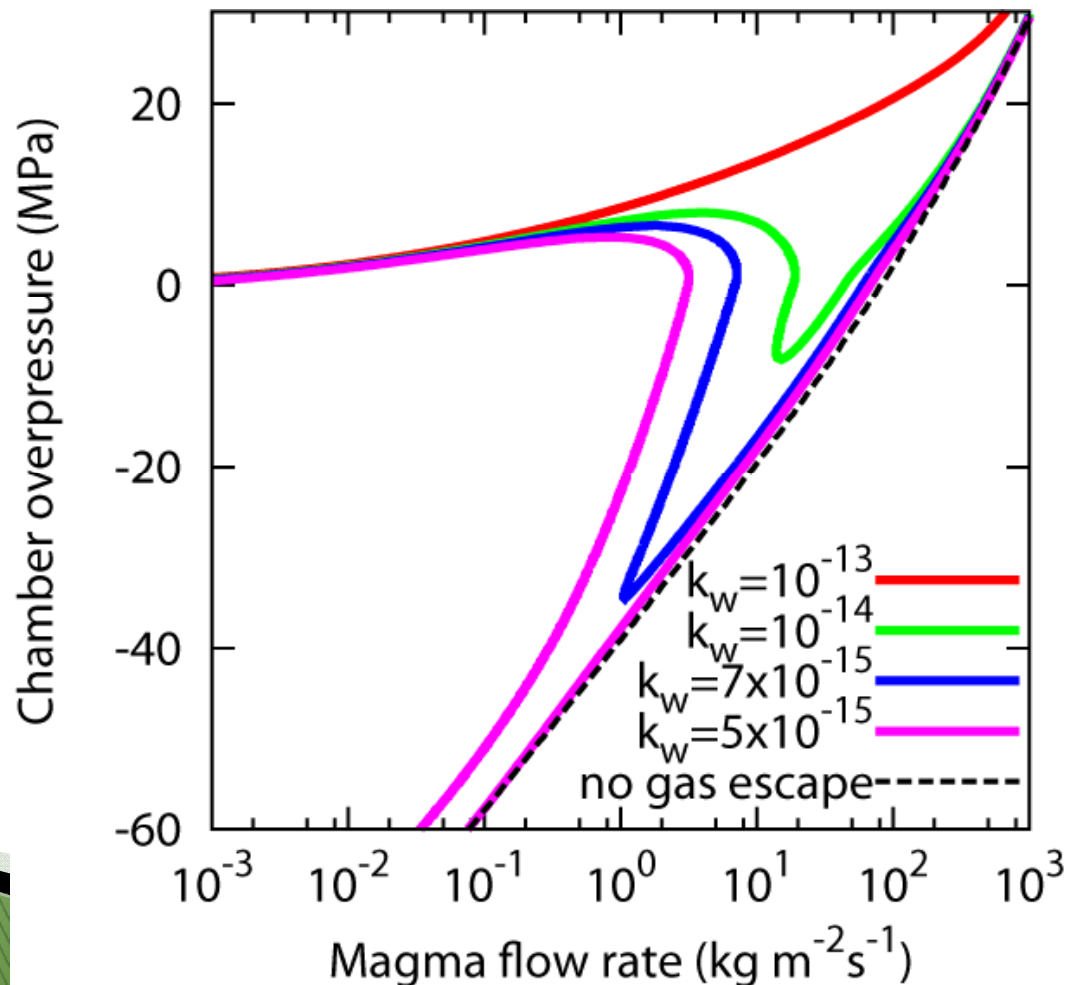
# 縦方向脱ガスのみ (横方向脱ガスなし)

- ▶ Negative resistanceの領域が幅広いパラメータ範囲において存在する.



# 横方向脱ガスのみ (縦方向脱ガスなし)

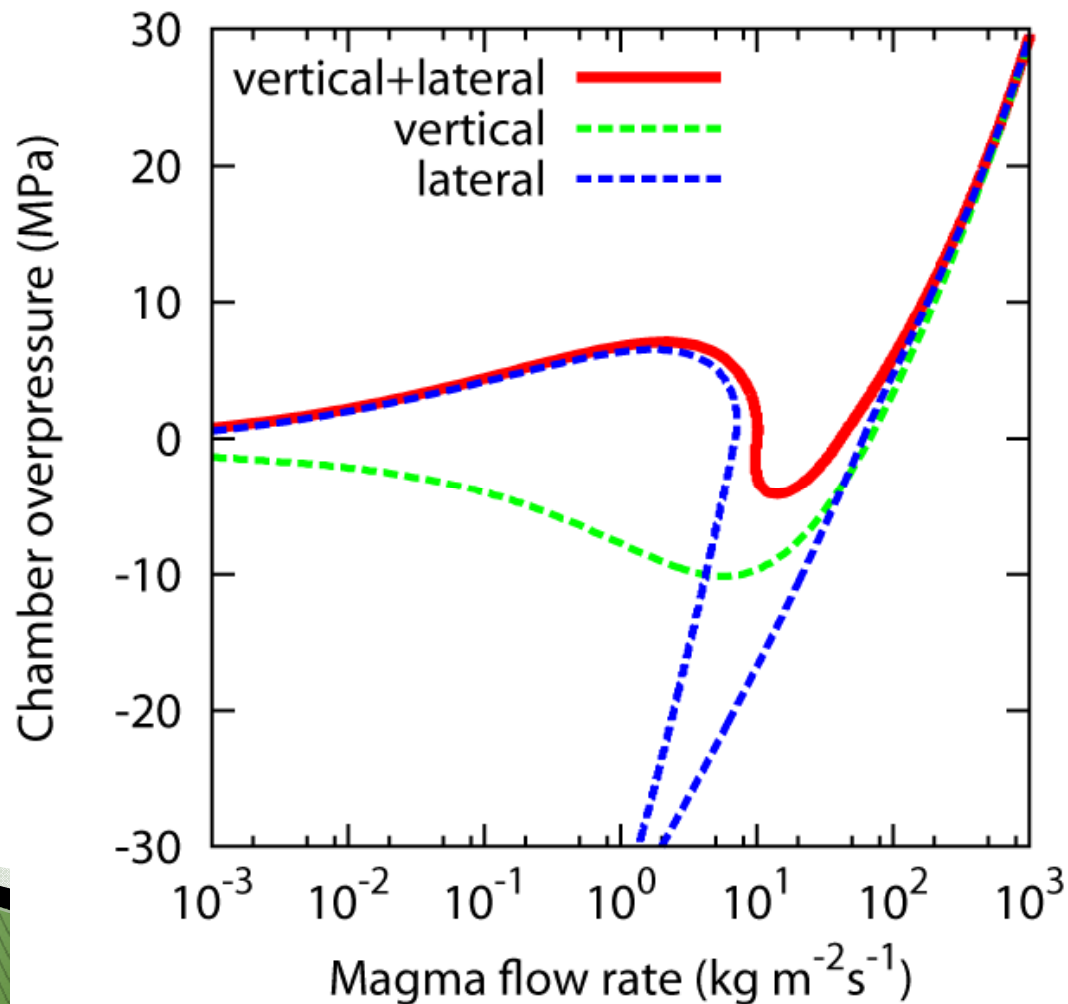
- ▶ **Positive resistance**の領域が低噴出率の範囲において形成される。



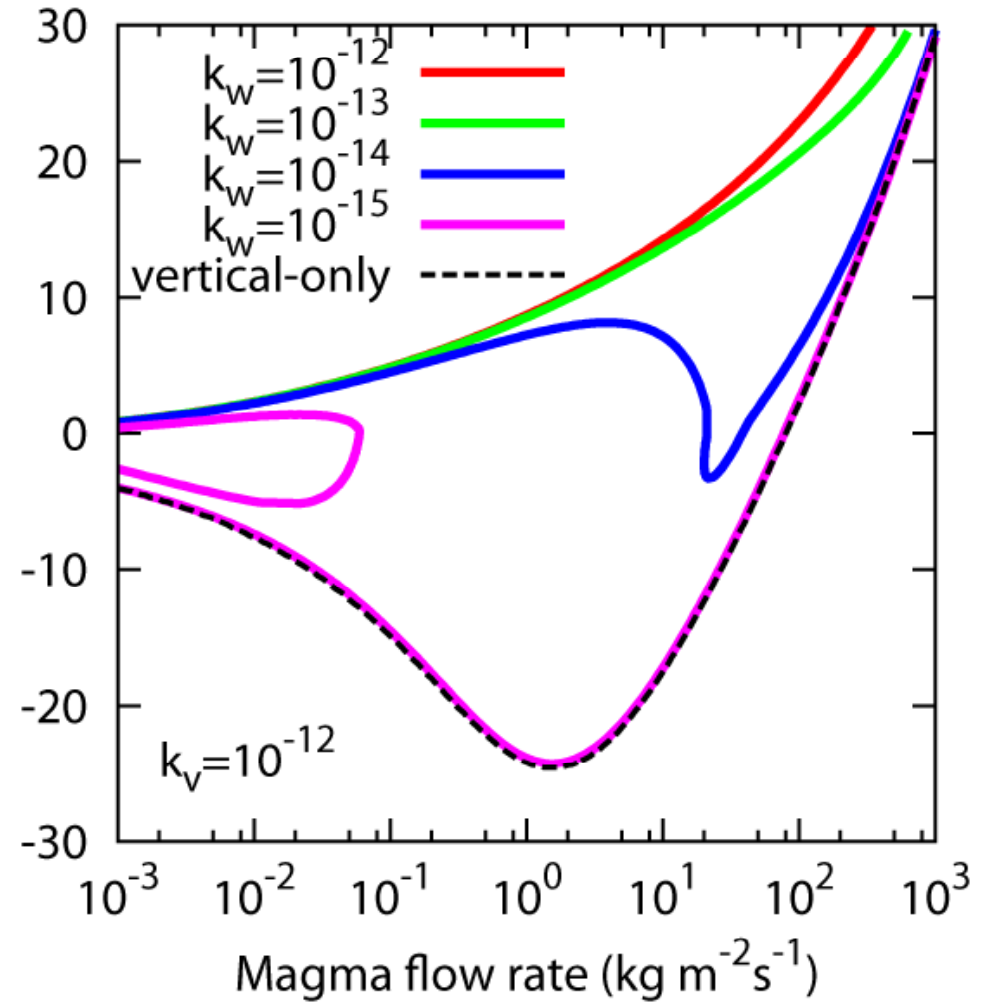
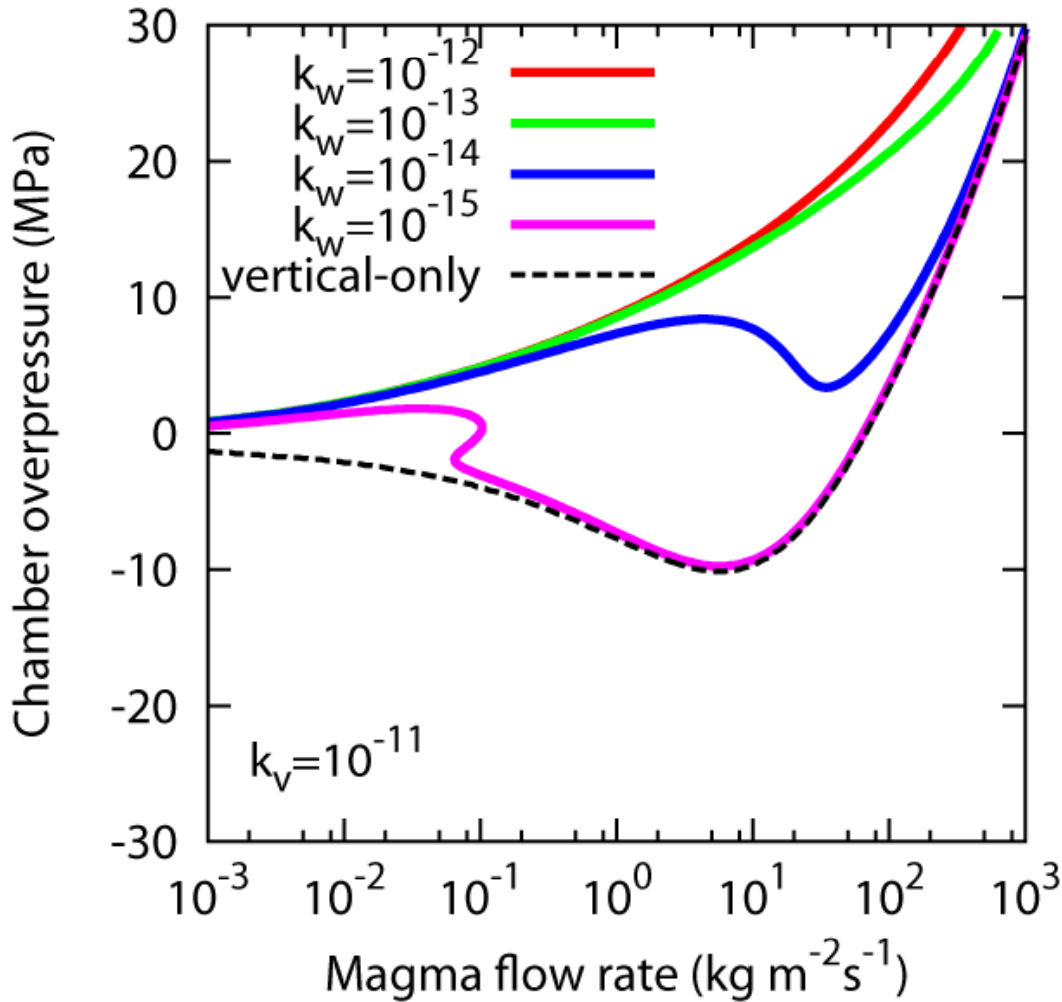


# 縦方向脱ガス + 横方向脱ガス(1 / 2)

- ▶  $p_0$ - $q$ 図は、噴出率減少/増加とともに、横方向脱ガス/縦方向脱ガスのカーブに漸近していく。

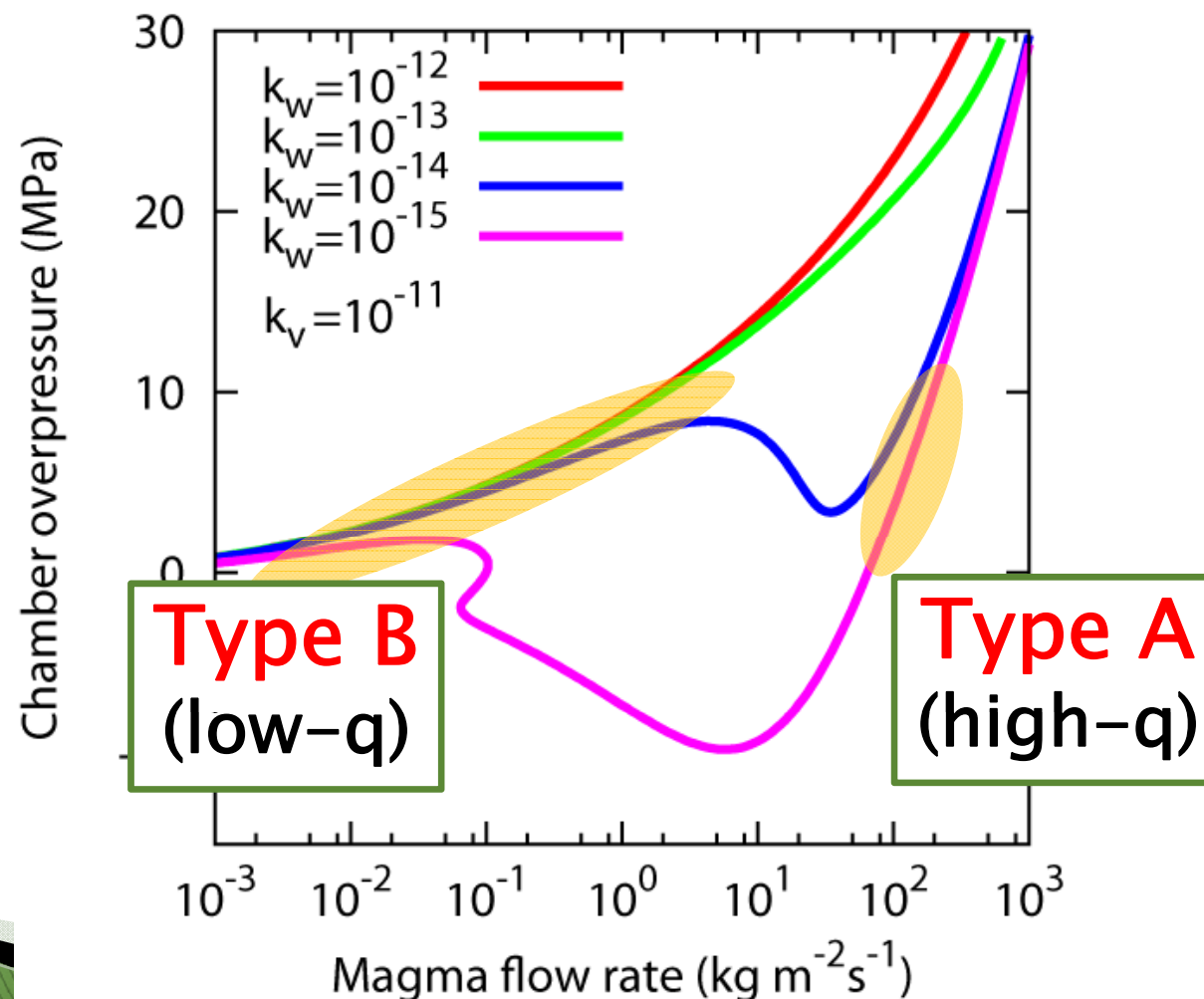


# 縦方向脱ガス + 横方向脱ガス(2/2)



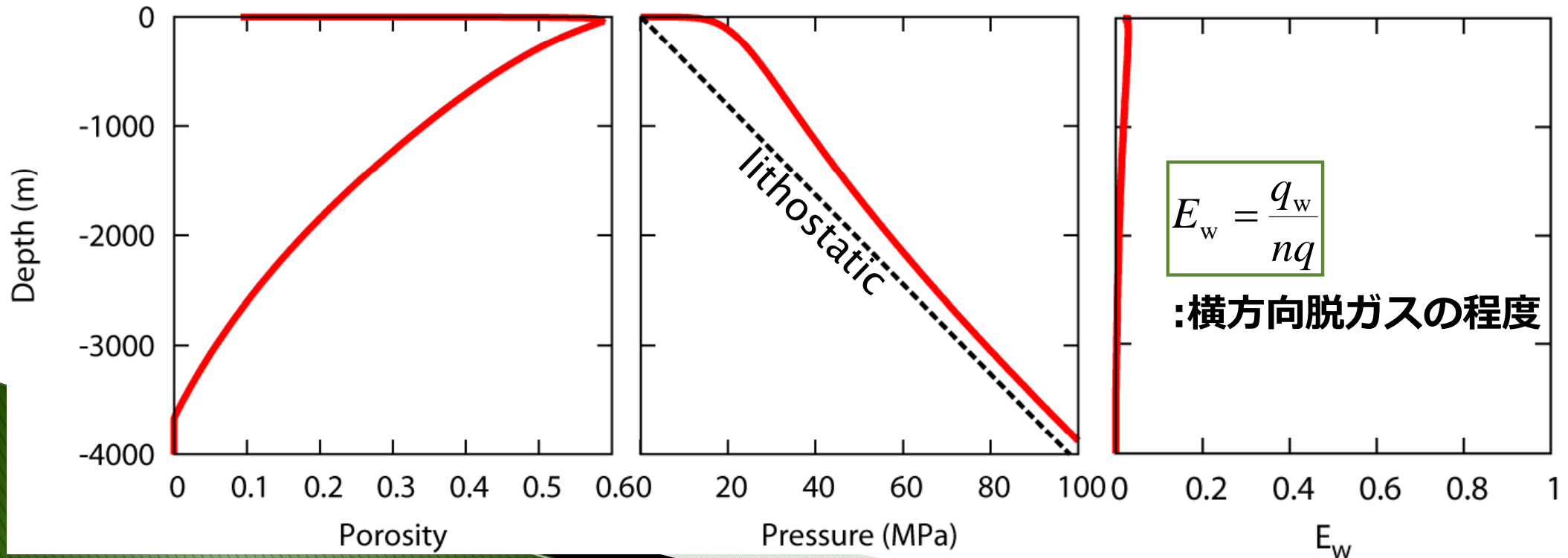
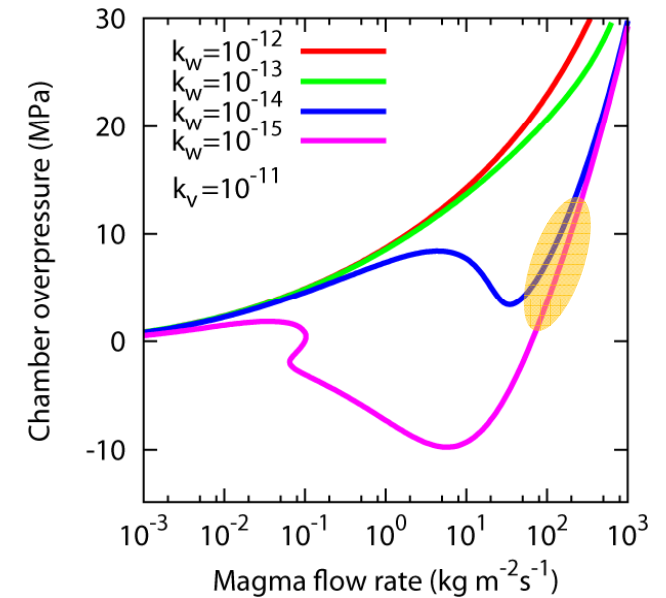
# 2つのPositive resistance領域

- ▶ 2つのpositive resistance (stable) 領域が形成される:  
**Type A**と**Type B**



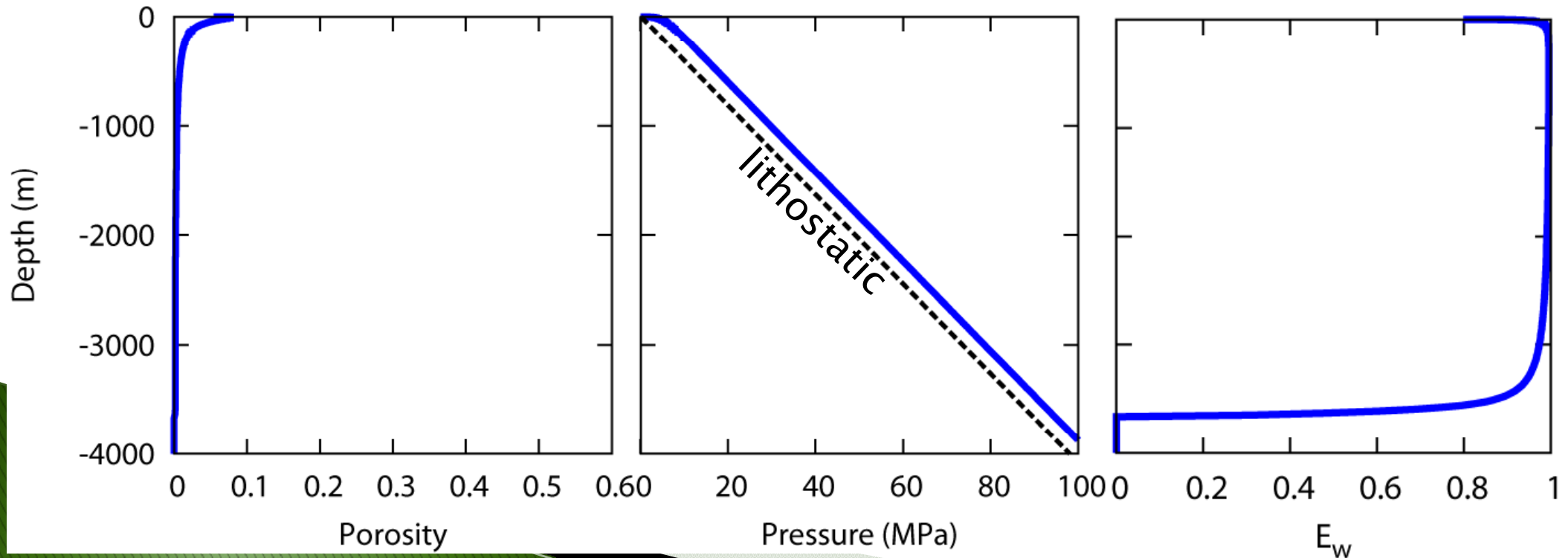
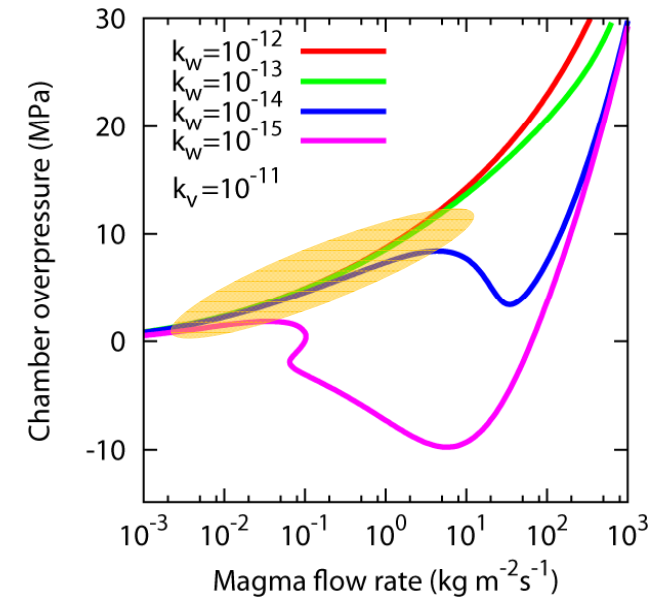
# 火道流の特徴： Type A

- ▶ 火道浅部において **高空隙率**・**高過剰圧**
- ▶  **$E_w$ 小**

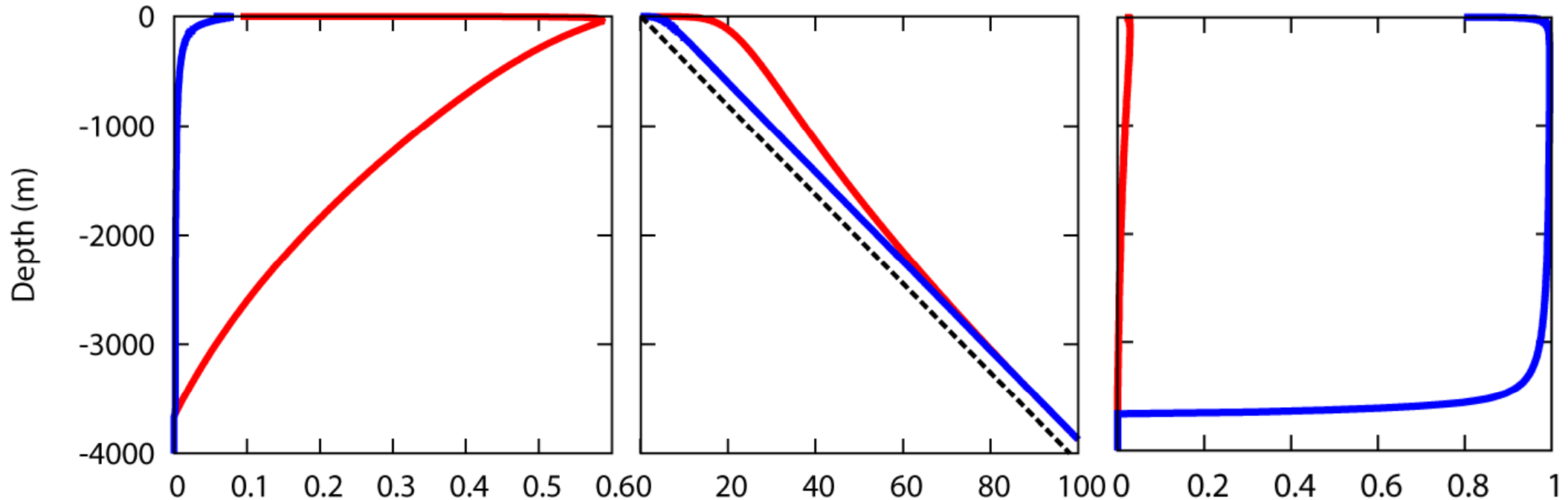


# 火道流の特徴： Type B

- ▶ 火道浅部において **低空隙率**・**低過剰圧**
- ▶  **$E_w$ 大**



# Type A or Type B?



Porosity



ミュオンラジオグラフィ  
岩石学的データ

Pressure (MPa)

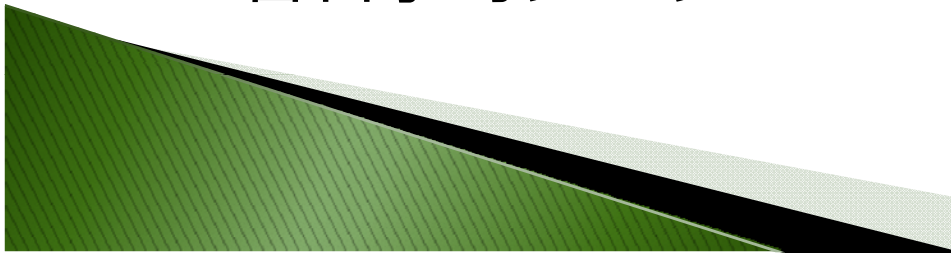


測地学的データ  
(GPS, tilt)

$E_w$



地球化学的データ





# 地球化学モデリングにおける $E_w$

## ▶ 揮発成分分配のモデリング

$$\frac{C_{gi}}{C_{li}^0} = D_i \left[ \left\{ (1 - E_w) D_i - 1 \right\} n + 1 \right] \frac{D_i - 1}{(1 - E_w) D_i - 1}$$

$$D_i = \frac{C_{gi}}{C_{li}} \quad \text{: 分配係数}$$

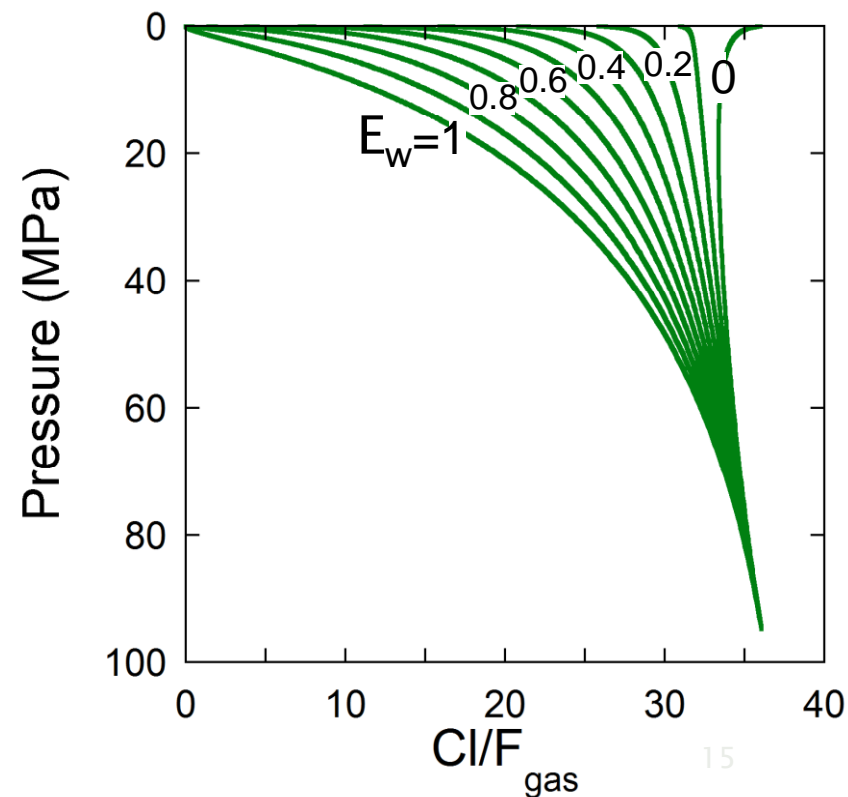
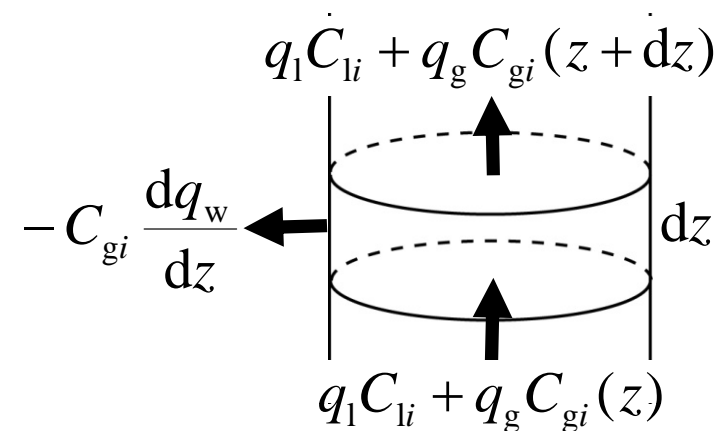
$\left\{ \begin{array}{l} C_{gi} : \text{気相中揮発成分濃度} \\ C_{li} : \text{液相中揮発成分濃度} \end{array} \right.$

✓  $E_w = 0$

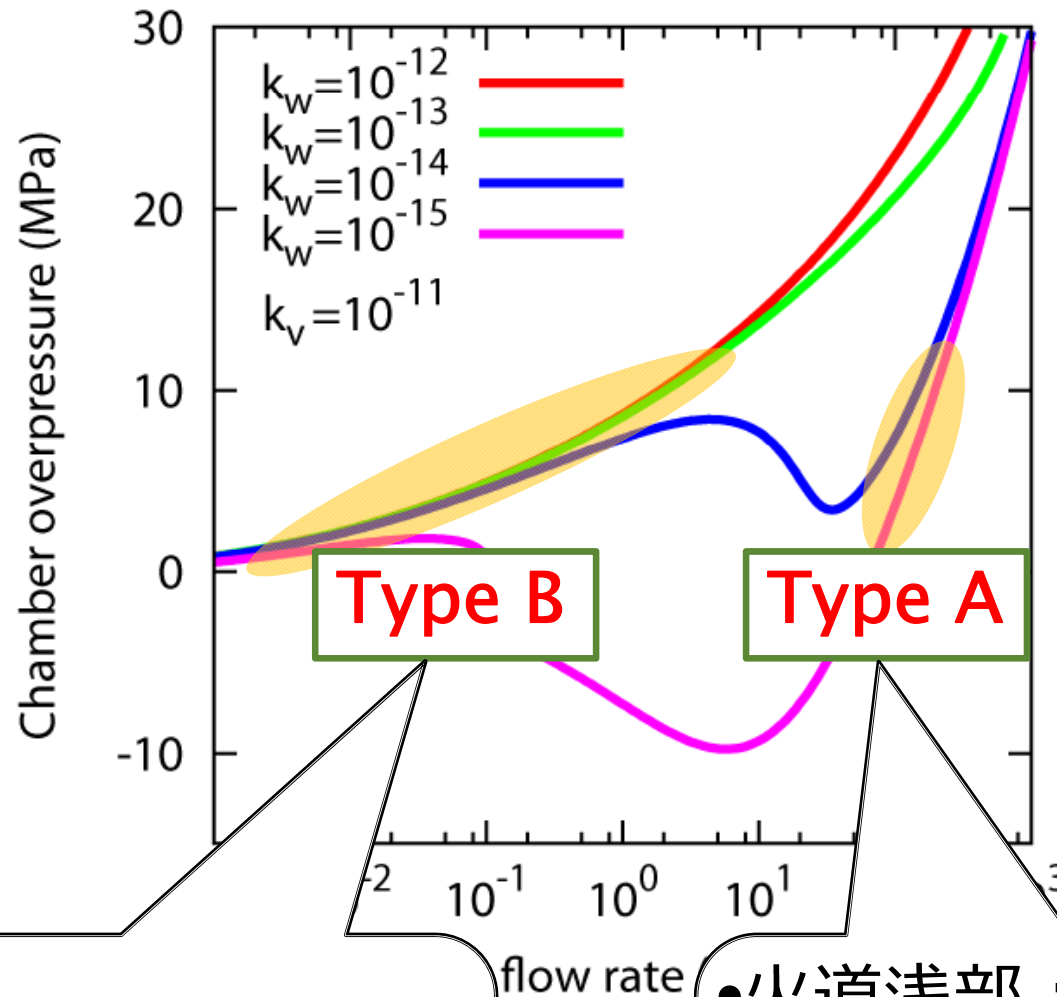
: **batch** 分別

✓  $E_w = 1$

: **Rayleigh** 分別



# 2タイプの火道流



•火道浅部：  
**低空隙率・低過剰圧**  
 •地球化学的特徴：  
**Rayleigh**分別

•火道浅部：  
**高空隙率・高過剰圧**  
 •地球化学的特徴：  
**batch**分別

# 結論

- ▶ 縦方向脱ガス・横方向脱ガスのカップリング効果によって、溶岩ドーム噴火において特徴が大きく異なる2タイプの火道流が出現する.
- ▶ その火道流のタイプは、地球化学的観測データ（火山ガスやメルトインクルージョンなど）を基に区別できる可能性がある.