

# **Własności widma kropel chmurowych na podstawie pomiarów in-situ w płytowych chmurach konwekcyjnych podczas kampanii RICO**

**Sylwester Arabas**

Instytut Geofizyki, Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski

wyniki prac prowadzonych pod kierunkiem

**dr hab. Hanny Pawłowskiej, prof. UW**

Instytut Geofizyki, Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski

we współpracy z

**dr. hab. Wojciechem W. Grabowskim**

National Center for Atmospheric Research, Boulder, Kolorado, USA



7. listopada 2008 r.

Seminarium Środowiskowe Fizyki Atmosfery

Instytut Geofizyki, Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski

# Motywacja



Potrzeba parametryzacji związków pomiędzy **mikrofizyką** i własnościami **radiacyjnymi** chmur

$$r_{\text{eff}} \sim \sqrt[3]{\frac{\text{LWC}}{N} \cdot f(d)}$$

$$\text{LWC} \sim N \cdot \langle r^3 \rangle$$

$$r_{\text{eff}} = \frac{\langle r^3 \rangle}{\langle r^2 \rangle} = f(d, a) \cdot \sqrt[3]{\langle r^3 \rangle}$$

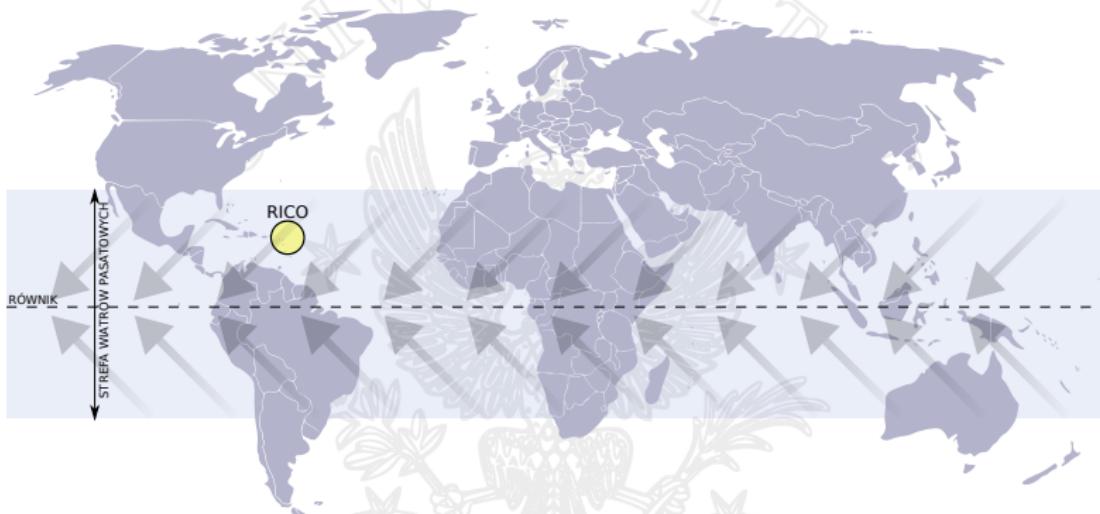
$r$  – promień kropli

$a$  – skośność rozkładu  $r$

→ wyznaczenie typowych własności widma rozmiarów kropel chmurowych na podstawie danych z pomiarów RICO:

- promień efektywny  $r_{\text{eff}}$
- koncentracja kropel  $N$
- średni promień  $\bar{r}$
- odchylenie standardowe  $\sigma_r$
- dyspersja względna  $d = \sigma_r / \bar{r}$

# Kampania pomiarowa Rain in Cumulus over the Ocean (RICO)



- 2 miesiące obserwacji (XII 2004 – I 2005)
- 3 samoloty i 1 statek badawczy
- 410 sondaży aerologicznych

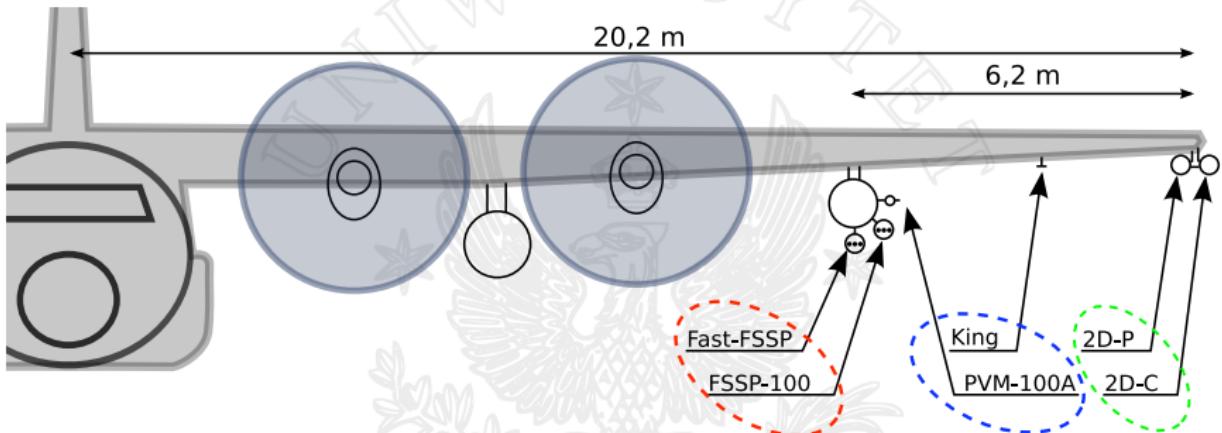
duży wpływ sposobu reprezentacji procesów z udziałem **Cu strefy pasatowej** na wyniki obliczeń globalnych modeli przepływu atm.

# Scenariusz lotów C-130 podczas RICO

- dwa odcinki sondażowe na początku i końcu każdego lotu
- reszta lotu podzielona na szereg odcinków wykonywanych na stałej wysokości
- dobór pułapów poszczególnych odcinków dyktowany głębokością pola chmurowego



# Pomiary mikrofizyki chmur z pokładu samolotu NSF/NCAR C-130Q podczas RICO



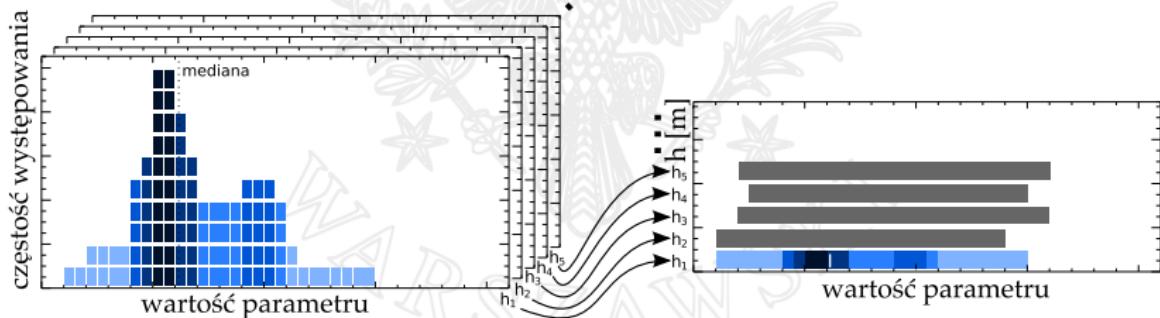
- 19 ok. 8-godzinnych lotów badawczych
- 5–10% czasu lotu wewnątrz chmur
- loty nad powierzchnią oceanu
- spektrometria rozmiarów kropel chmurowych
- pomiary całkowej zawartości wody
- spektrometria rozmiarów kropel opadowych

# Fast-FSSP: spektrometr rozmiarów kropel



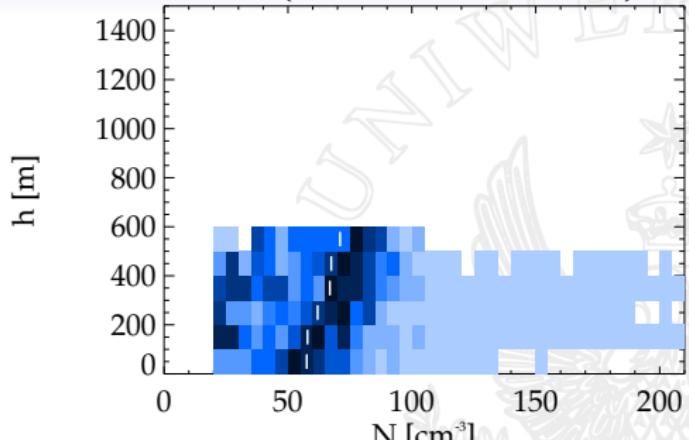
# Metoda analizy i wizualizacji wyników

- analizowano obszary:
  - chmurowe**  
 $(N > 20 \text{ cm}^{-3})$
  - bez mżawki**  
 $(N_{\text{mżawka}} < 10 \text{ l}^{-3})$
- statystyki wyznaczano:
  - w **funkcji wysokości** nad podstawą chmury
  - zbiorczo dla **całej** **długości lotu**
- rozkład częstotliwości dla każdego z poziomów ( $100 \text{ m}$ )
- podział zakresu wartości na klasy przedziałów (oznaczone **kolorami**), tak aby na każdą klasę przypadała równa ilość przypadków uszeregowanych **wg częstotliwości występowania**
- rozkłady częstotliwości z różnych poziomów połączono w diagram wartości parametru w funkcji wysokości
- na diagram naniesiono wartości **median**

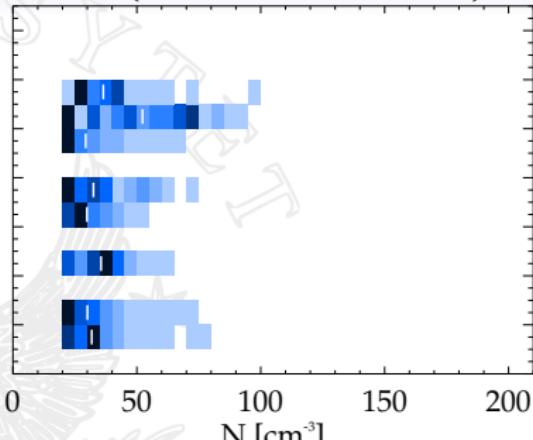


# Koncentracja kropel $N$

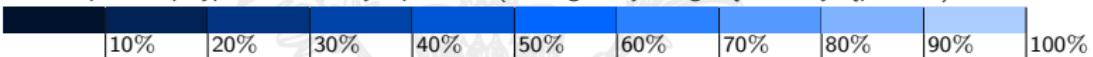
rf06 (16. grudnia 2004 r.)



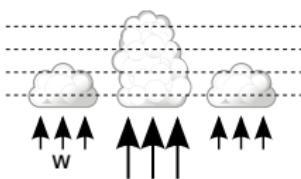
rf07 (17. grudnia 2004 r.)



procent przypadków na danym poziomie (uszeregowanych wg częstości występowania)



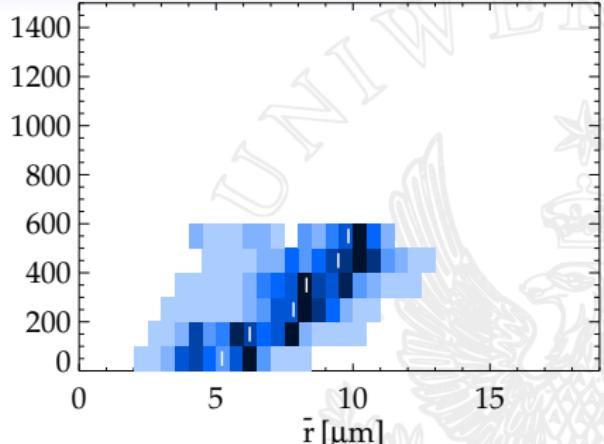
- koncentracje **niższe niż  $100 \text{ cm}^{-3}$**  (powietrze morskie, wyjątek w rf06)
- mała zmienność z  $h$**  (ale  $N|_{h=0} \nearrow w|_{h=0}$ )
- duże wahania głębokości pola chmurowego (600–1200 m)  
rf06 – brak opadów, rf07 – wiele chmur dawało opad



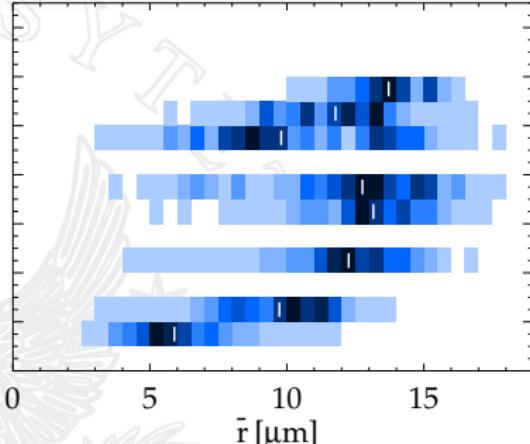
# Średni promień kropel $\bar{r}$

rf06 (16. grudnia 2004 r.)

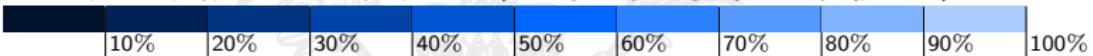
$h [m]$



rf07 (17. grudnia 2004 r.)



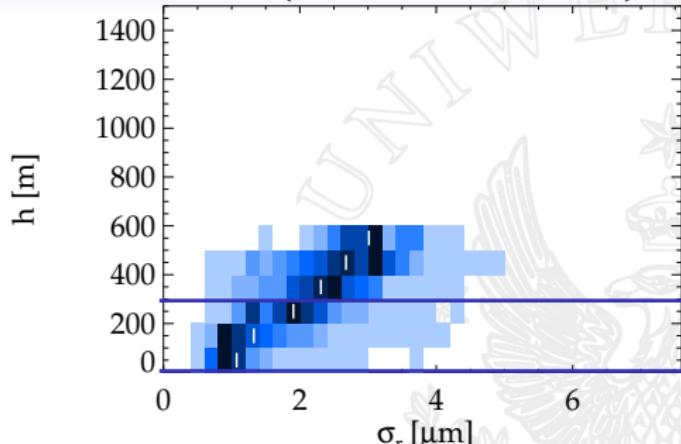
procent przypadków na danym poziomie (uszeregowanych wg częstości występowania)



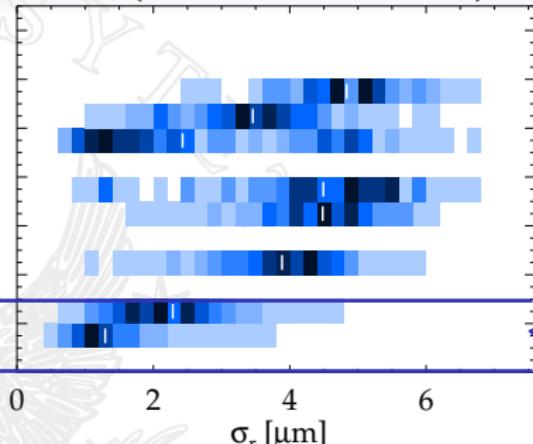
- stopniowy **wzrost z wysokością** (kondensacja), mniej wyraźny w górnym partiach pola chmurowego z rf07 (koalescencja,  $r_v \sim \sqrt[3]{h}$ )
- szerokie rozkłady** (wciąganie, mieszanie, zmienność  $N$ )
- widoczna druga warstwa chmur na wysokości 900 m dla rf07

# Odchylenie standardowe promienia kropel $\sigma_r$

rf06 (16. grudnia 2004 r.)



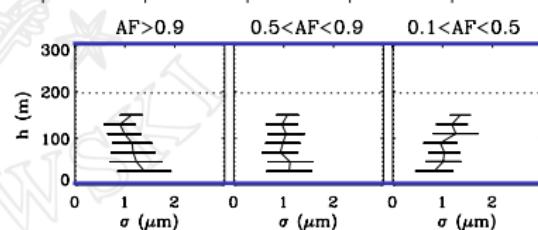
rf07 (17. grudnia 2004 r.)



procent przypadków na danym poziomie (uszeregowanych wg częstości występowania)



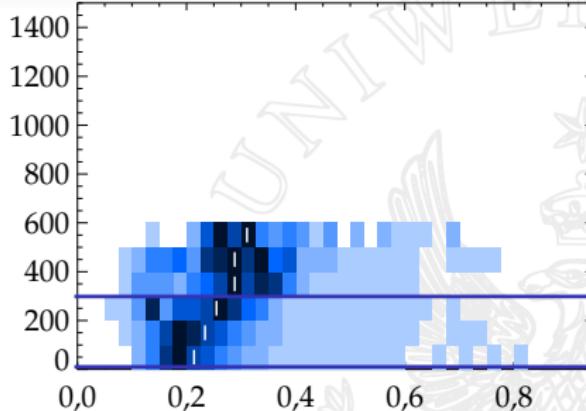
- wzrost z  $h$  podobnie jak dla  $\bar{r}$
- $h < 200 \text{ m}$  jak dla pola Sc z ACE-2 (Pawlowska i in., 2006), wyżej dużo większe (wciąganie i mieszanie)



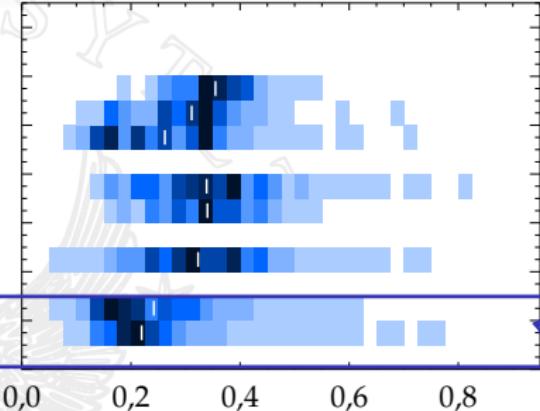
# Dyspersja względna promienia kropel $d = \sigma_r/\bar{r}$

rf06 (16. grudnia 2004 r.)

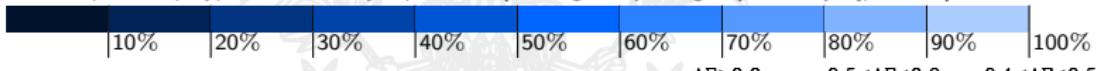
$h [m]$



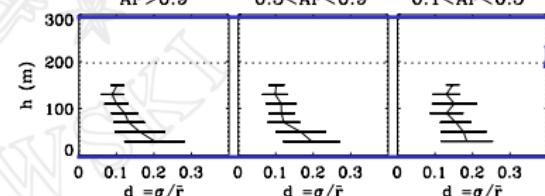
rf07 (17. grudnia 2004 r.)



procent przypadków na danym poziomie (uszeregowanych wg częstości występowania)

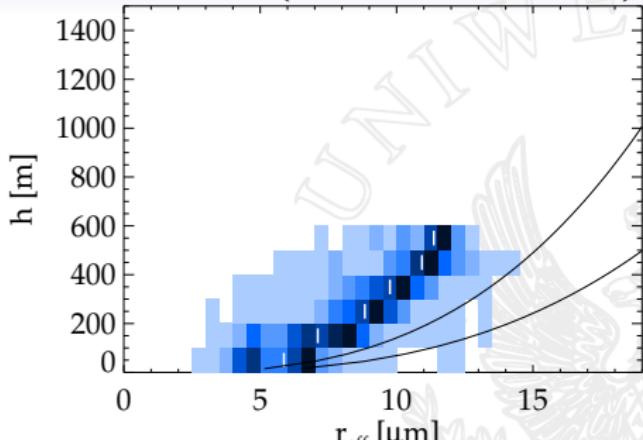


- mała zmienność z  $h$ , wygodne przy parametryzacji  $r_{eff} \sim \sqrt[3]{LWC/N} \cdot f(d)$
- $h < 200 m$  podobnie jak w ACE-2

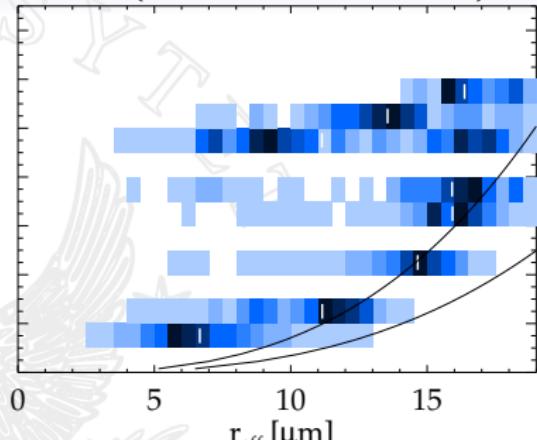


# Promień efektywny $r_{eff}$

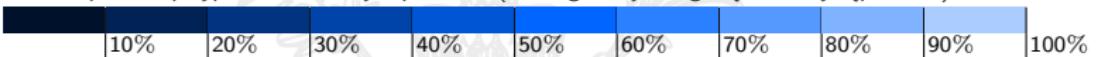
rf06 (16. grudnia 2004 r.)



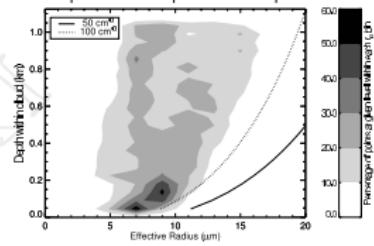
rf07 (17. grudnia 2004 r.)



procent przypadków na danym poziomie (uszeregowanych wg częstości występowania)



- linie reprezentują wartości adiabatyczne przy stałej  $f(d)$  i stałej  $N$  równej 50 i  $100 \text{ cm}^{-3}$   
 $r_{eff,ad} \sim \sqrt[3]{LWC_{ad}/N} \cdot f(d)$
- porównanie z wynikami pomiarów teledetekcyjnych z McFarlane i Grabowski (2007)



# Podsumowanie

- określono typowe właściwości wybranych parametrów mikrofizycznych płytkich chmur konwekcyjnych strefy pasatowej powstających w masach powietrza morskiego
- statystyki wykonano na podstawie **dużego zbioru** (ok. godzina lotu wewnętrz chmur Cu) danych z pomiarów in-situ o **wysokiej rozdzielczości** (Fast-FSSP)
- dobór analizowanych parametrów nakierowany na wykorzystanie przedstawionych wyników przy weryfikacji i rozwoju **parametryzacji** związków pomiędzy mikrofizyką i **radiacyjnymi właściwościami** chmur
- wyniki analizy odniesiono do analogicznych pomiarów w chmurach Sc oraz do pomiarów teledetekcyjnych chmur Cu strefy pasatowej

Dziękuję za uwagę

Zapraszam do lektury artykułu zgłoszonego do Geophysical Research Letters

- McFarlane, S. A., i W. W. Grabowski, 2007: Optical properties of shallow tropical cumuli derived from ARM ground-based remote sensing. *Geophys. Res. Lett.*, **34**. L06808.
- Pawlowska, H., W. W. Grabowski, i J.-L. Brenguier, 2006: Observations of the width of cloud droplet spectra in stratocumulus. *Geophys. Res. Lett.*, **33**. L19810.