

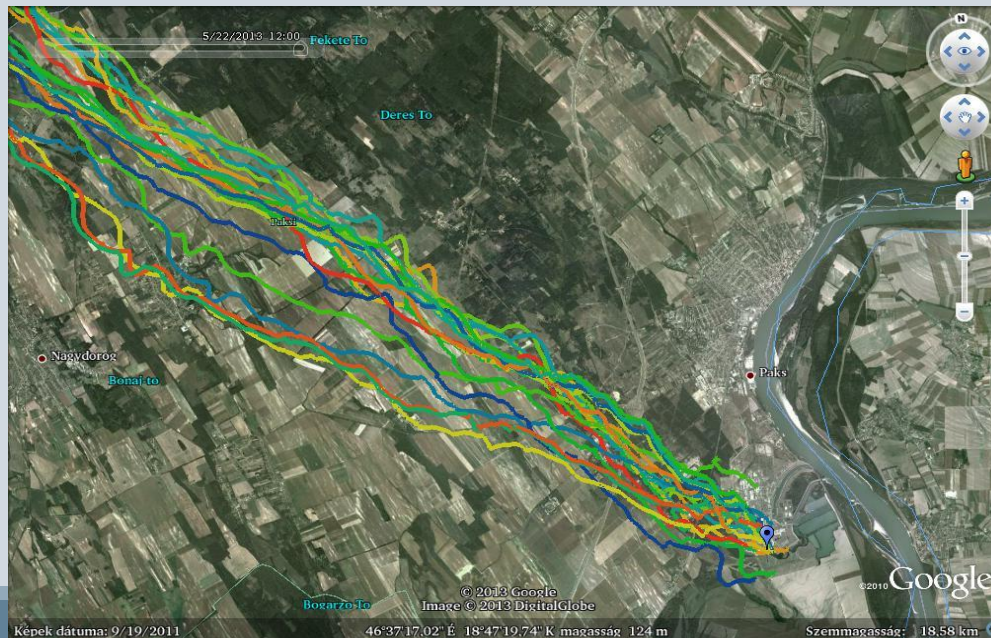
Szennyezőanyag-terjedési szimulációk globális skálán

Leelőssy Ádám
tudományos segédmunkatárs
ELTE Meteorológiai Tanszék



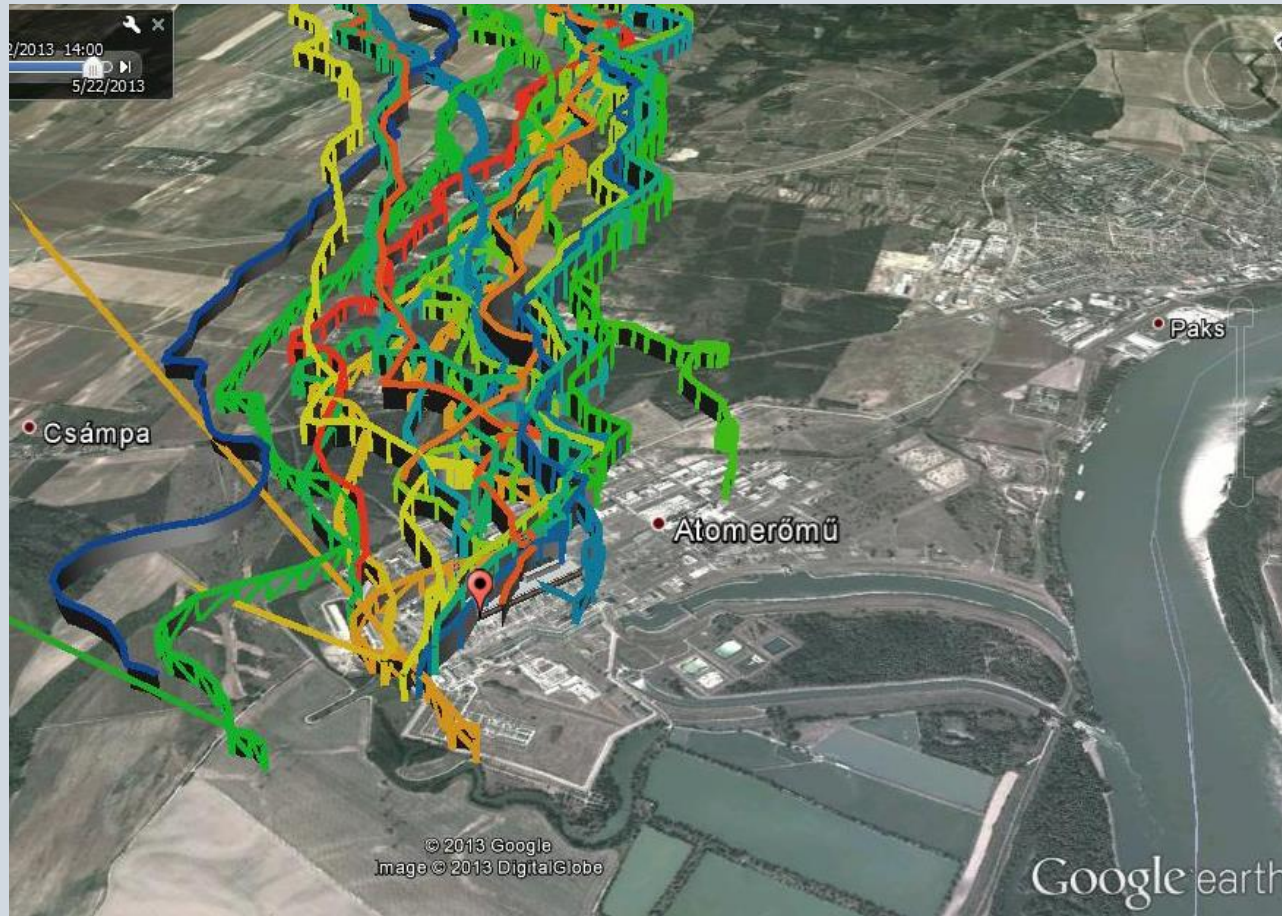
Lagrange-féle terjedési modellek

- ▶ Terjedési egyenlet sztochasztikusan is megoldható
- ▶ Egyedi „sodródó részecskék” kibocsátása
- ▶ **Advekciónak:** szélmenti trajektóriák
- ▶ **Turbulens diffúzió:** véletlen bolyongás
- ▶ Sok részecske összegzéséből koncentrációmező származtatása
- ▶ **Ülepedés, kémia (S_c):** részecskén belül



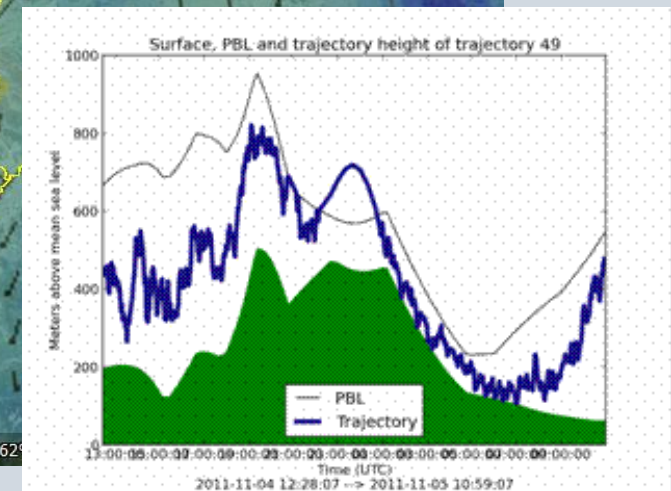
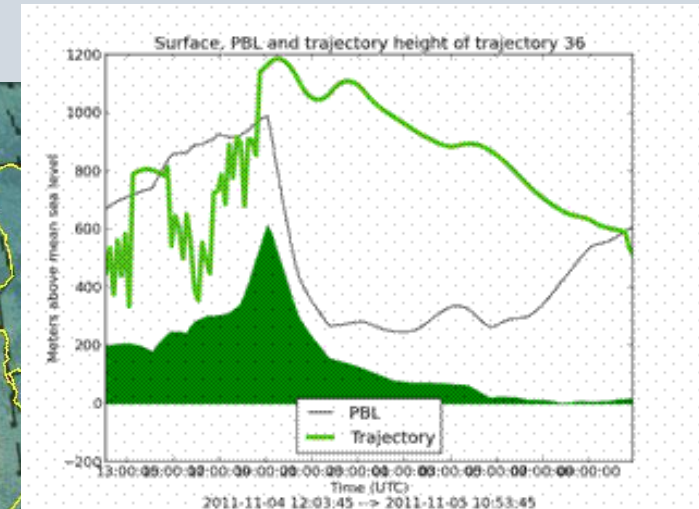
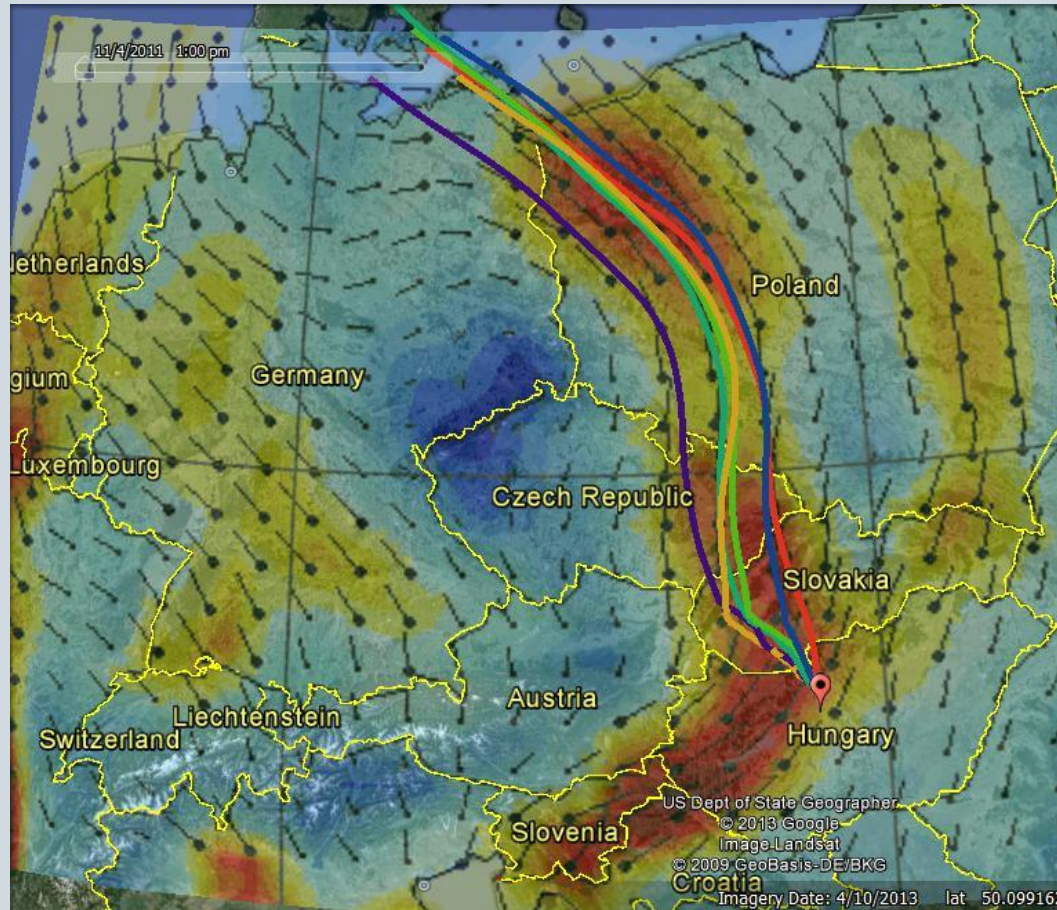
*Trajektóriák egy Paksi
Atomerőműből történő
baleseti kibocsátást
feltételezve*

Lagrange-féle terjedési modellek



Trajektóriák egy Paksi Atomerőműből történő baleseti kibocsátást feltételezve

Lagrange-féle terjedési modellek



Trajektóriák a budapesti jódizotóp-kibocsátás után, 2011. november 4.

Lagrange-féle terjedési modellek

Problémák

- ▶ Hogyan írjuk át a terjedési egyenletet véletlen bolyongássá?
- ▶ Hogyan származtassunk koncentrációmezőt a részecskepozíciókból?

Lagrange-féle terjedési modellek

Problémák

- ▶ **Hogyan írjuk át a terjedési egyenletet véletlen bolyongássá?**
- ▶ **Hogyan származtassunk koncentrációmezőt a részecskepozíciókból?**

Terjedési egyenlet \rightarrow Langevin-egyenlet

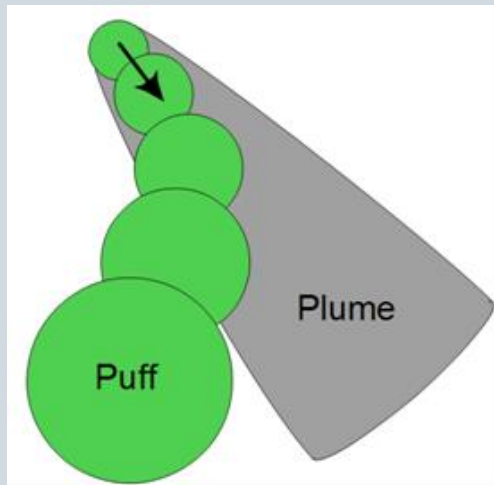
$$\frac{\partial c}{\partial t} = -\underline{v}\nabla c + D\nabla^2 c + S_c \quad \longrightarrow \quad d\underline{r} = \underline{v}(\underline{r})dt + \underline{v}_t(\underline{r})dt$$

$$\underline{v}_{Ti}(t_i + \Delta t_i) = \underline{v}_{Ti}(t_i) e^{-\frac{\Delta t_i}{T_{Lji}(t_i)}} + \xi \sigma_{ji}(t_i) \sqrt{1 - e^{-\frac{2\Delta t_i}{T_{Lji}(t_i)}}}$$

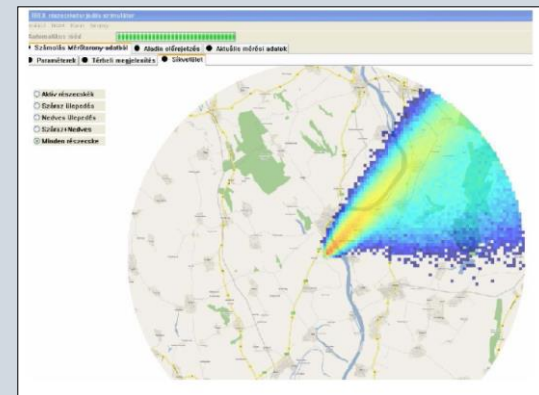
Lagrange-féle terjedési modellek

Problémák

- ▶ Hogyan írjuk át a terjedési egyenletet véletlen bolyongássá?
- ▶ **Hogyan származtassunk koncentrációmezőt a részecskepozíciókból?**



Puff modellek: a részecskéken belüli Gauss-eloszlások szuperpozíciója



Részecskemodellek: pontszerű részecskék sűrűsége

Lagrange-modell

$$P = \begin{pmatrix} \lambda_1 & \varphi_1 & z_1 & t_1 & m_{11} & \cdots & m_{1K} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \lambda_N & \varphi_N & z_N & t_N & m_{N1} & \cdots & m_{NK} \end{pmatrix}$$

Forward mód:

$$P' = P + M_a + M_t,$$

$$M_a = \begin{pmatrix} \frac{u_1 \Delta t_1}{R_F \cos \varphi_1} & \frac{v_1 \Delta t_1}{R_F} & w_1 \Delta t_1 & \Delta t_1 & \Delta m_{11}^{rev} & \cdots & \Delta m_{1K}^{rev} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \frac{u_N \Delta t_N}{R_F \cos \varphi_N} & \frac{v_N \Delta t_N}{R_F} & w_N \Delta t_N & \Delta t_1 & \Delta m_{N1}^{rev} & \cdots & \Delta m_{NK}^{rev} \end{pmatrix}$$

$$M_t = \begin{pmatrix} \frac{u_{T1} \Delta t_1}{R_F \cos \varphi_1} & \frac{v_{T1} \Delta t_1}{R_F} & w_{T1} \Delta t_1 & 0 & \Delta m_{11}^{irrev} & \cdots & \Delta m_{1K}^{irrev} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \frac{u_{TN} \Delta t_N}{R_F \cos \varphi_N} & \frac{v_{TN} \Delta t_N}{R_F} & w_{TN} \Delta t_N & 0 & \Delta m_{N1}^{irrev} & \cdots & \Delta m_{NK}^{irrev} \end{pmatrix}$$

Backward mód:

$$P' = P - M_a + M_t$$

Előrejelzés és visszakövetés

	Előrejelzés	Visszakövetés
Cél:	Terjedésszámítás	Forrásazonosítás
Modellváltozó:	Koncentráció	Valószínűség (érzékenység)
Advekción:	Sodródás	Sodródás
Turbulencia:	Koncentráció- csökkenés	Bizonytalanság növekedése
Ülepedés:	Koncentráció- csökkenés	Bizonytalanság növekedése
Kimenet:	Trajektóriatérkép	Trajektóriatérkép
	Koncentrációtérkép	Forrás-receptor érzékenységi térkép

$$d\underline{r} = (\underline{v}_{adv} + \underline{v}_{turb}) dt$$
$$dm = -k \cdot m \cdot dt$$

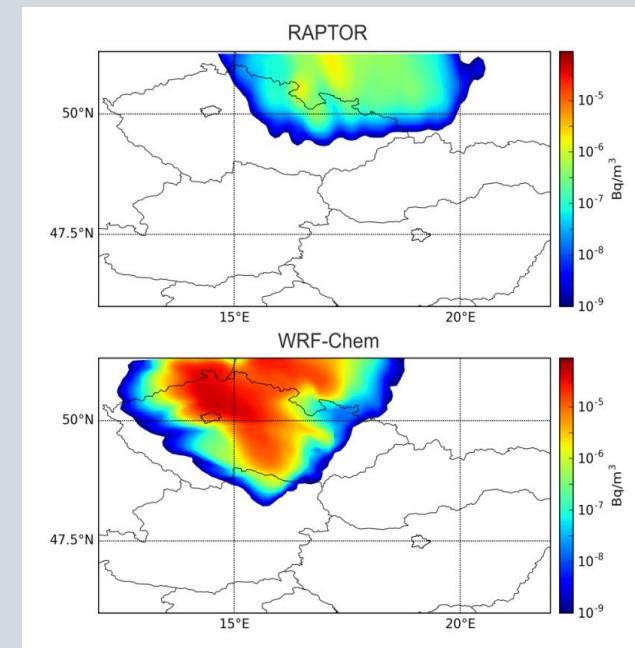
$$d\underline{r} = (-\underline{v}_{adv} + \underline{v}_{turb}) dt$$
$$ds = -k \cdot s \cdot dt$$

Izotóp Intézet

- 2011. november 4.
- ^{131}I kibocsátás a budapesti Izotóp Intézetből
- Prágai detektálást a Lagrange-i modellek nem tudták kimutatni
- Integrált modellel (WRF-Chem) sikeres szimuláció
- Hiba oka: alacsonyszintű inverzió, erős szélnyírás, PBL túlbecslése

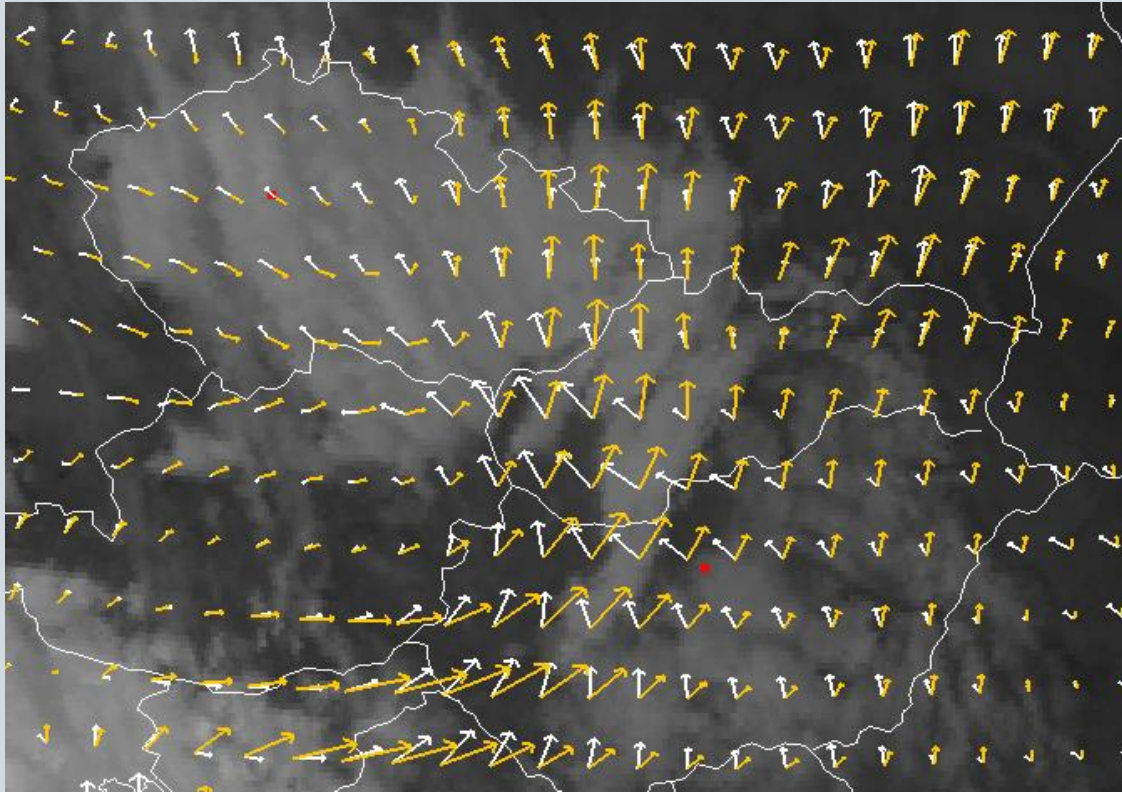
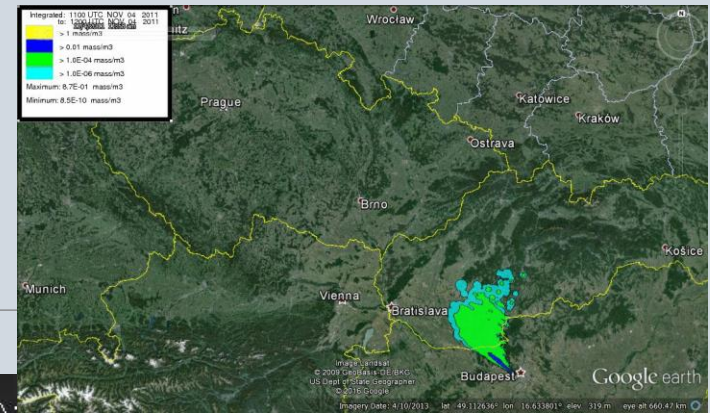


Koncentrációmező november 4-5-én a HYSPLIT modell alapján

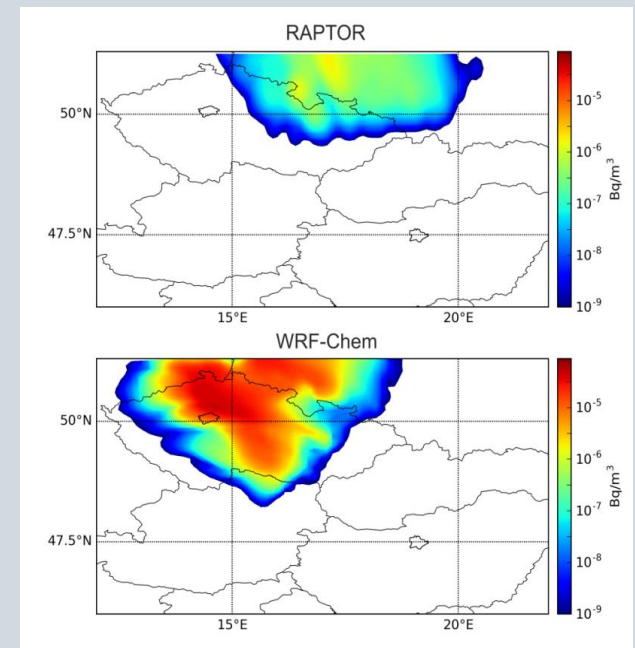


Koncentrációmező november 5-én 0 UTC-kor a RAPTOR és WRF-Chem modellek alapján

Izotóp Intézet



31I koncentráció november 4-5-én (HYSPLIT)



Fukushima

2011.
március

11.

- 15:46 - szökőár
- 21:00 - kitelepítés elrendelése (3 km)

12.

- **5:30** - **irányított nyomáscsökkentés 1-es blokk (első légköri kibocsátás)**
- 6:50 - zónaolvadás 1-es blokk
- **11:00** - **irányított nyomáscsökkentés 2-es blokk**
- **15:36** - **hidrogénrobbanás 1-es blokk**

• március 12-14. - további irányított nyomáscsökkentések

14.

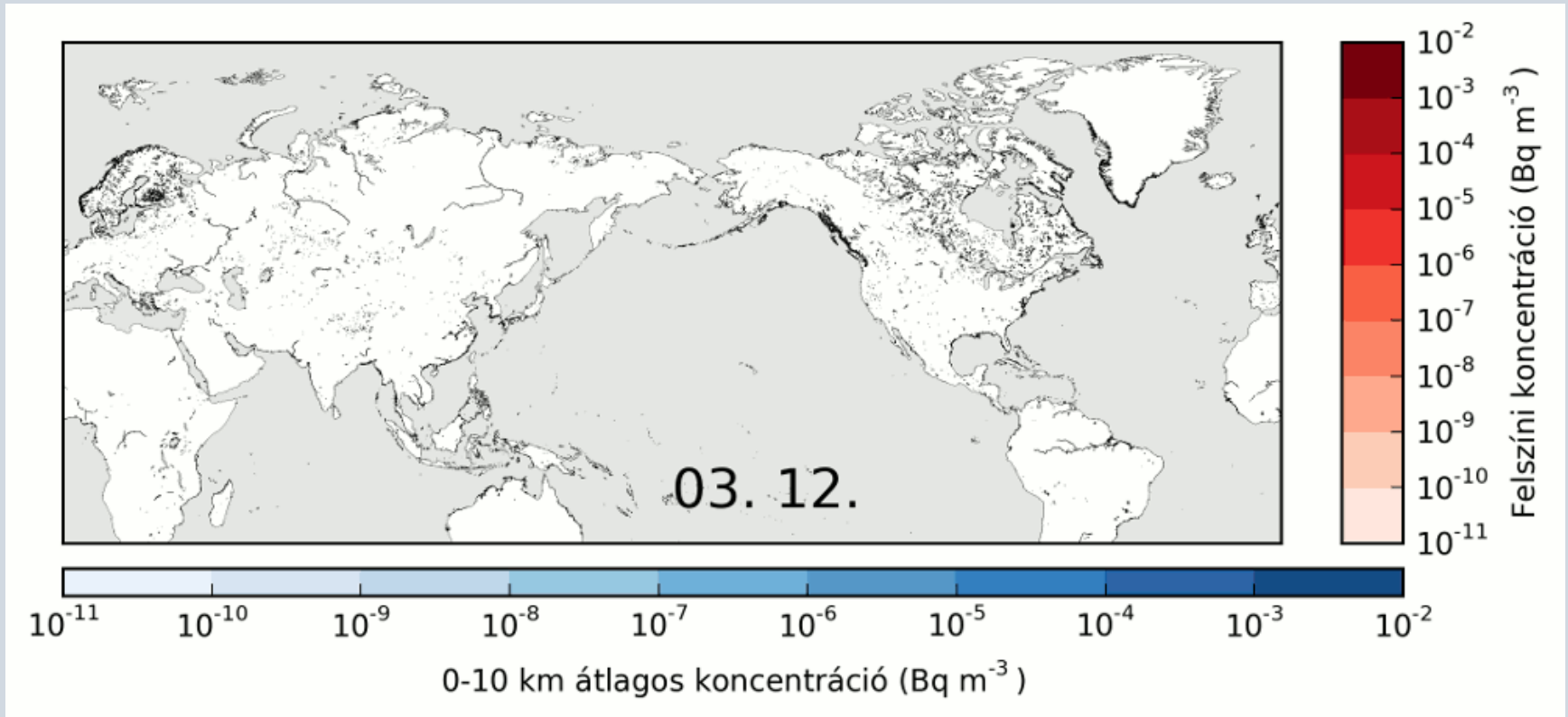
- **11:00** - **hidrogénrobbanás 3-as blokk**
- 20:00 - zónaolvadás 2-es blokk

15.

- **6:00** - **hidrogénrobbanás 4-es blokk**
- **11:00** - **hidrogénrobbanás 3-as blokk**

• március 12 – április vége - irányított és irányítatlan kibocsátások

Globális terjedés



március 11. földrengés

március 16. Kalifornia

március 17. Alaszka

március 20. Skandinávia

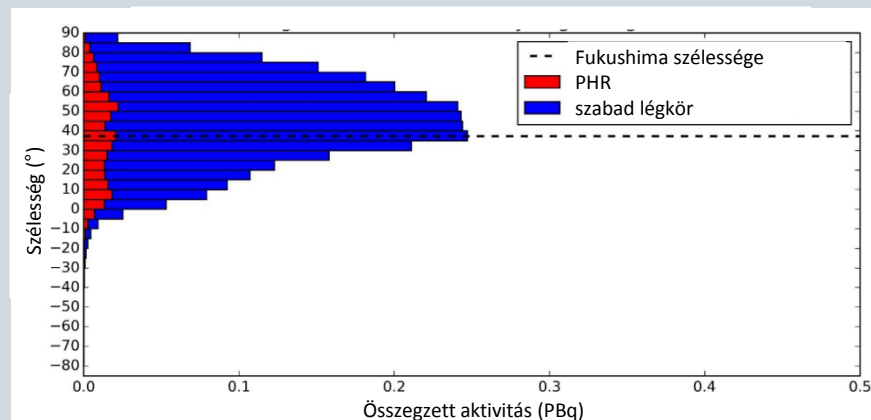
március 23. Közép-Európa

március 28. Dél-Korea

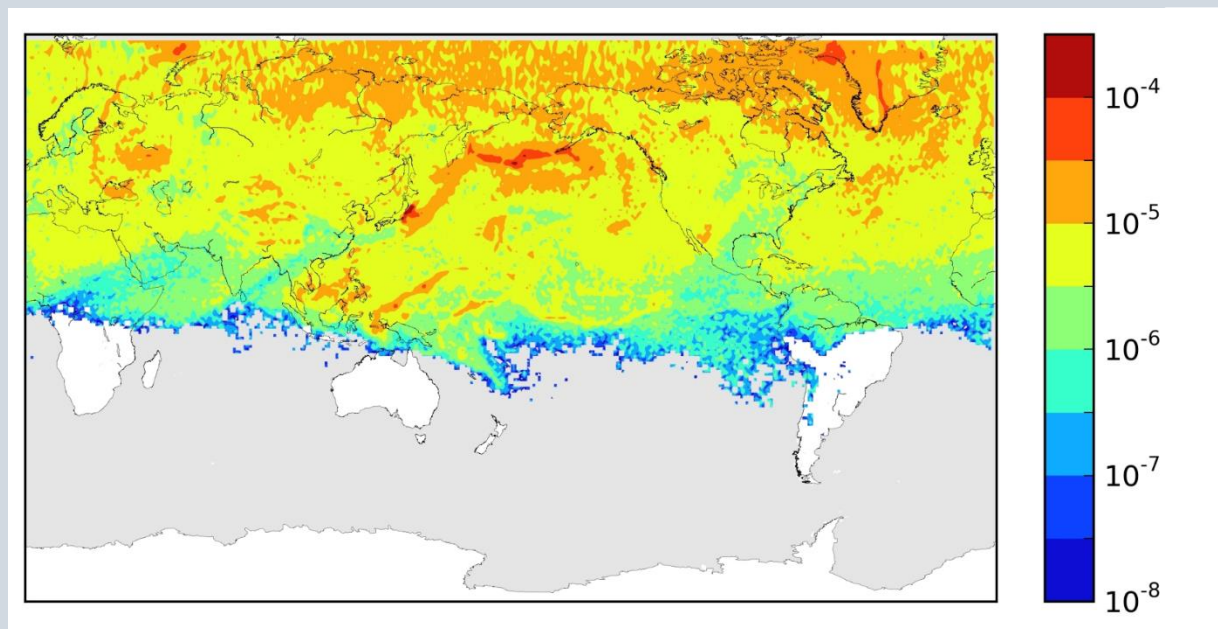
Zonális eloszlás

1 hónap után:

- 34% a 40–60° között
- 16% trópusi szélességeken
- 1% a déli félgömbön



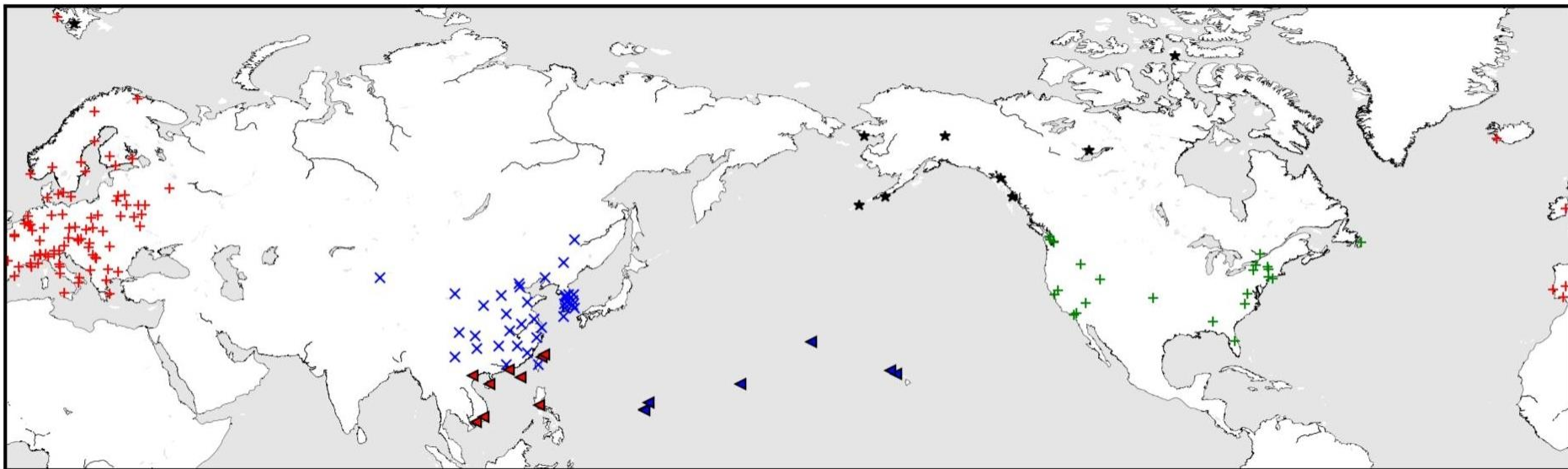
Teljes légköri ^{131}I aktivitás zonális eloszlása 1 hónappal a földrengés után



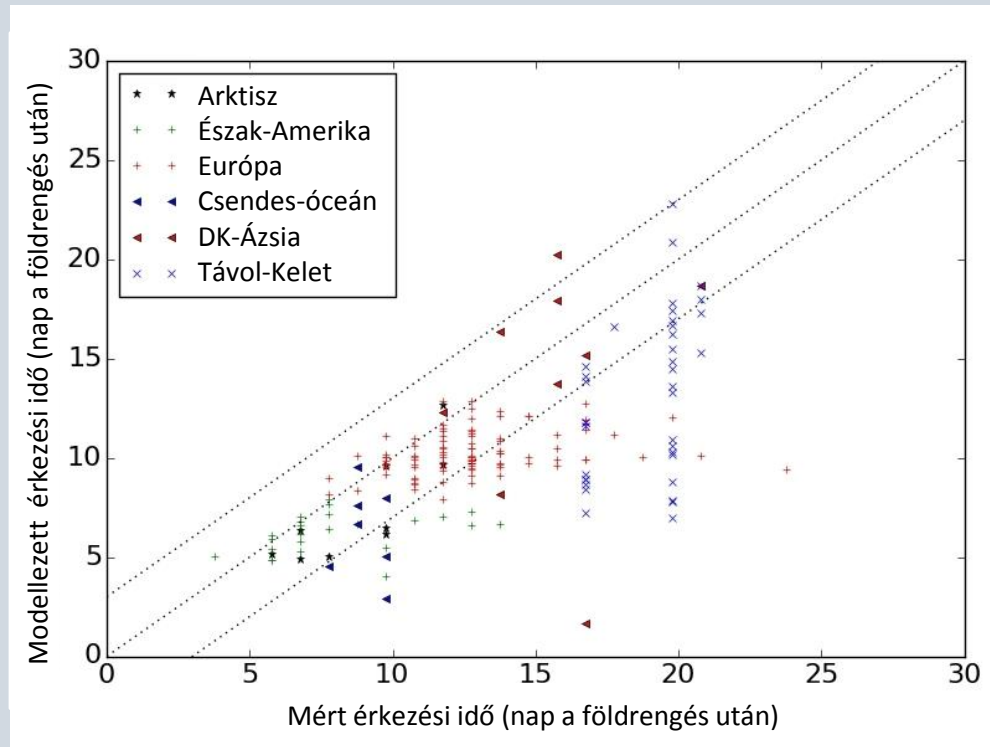
0-10 km átlagos ^{131}I aktivitás egy hónappal a földrengés után

Mérési adatok

- CTBTO hálózat: ^{137}Cs , ^{131}I aeroszol
- Nemzeti meteorológiai és környezetvédelmi szolgálatok
- Egyetemek, kutatóintézetek, mérési kampányok
- 180 mérőpont (Thakur et al., 2013)



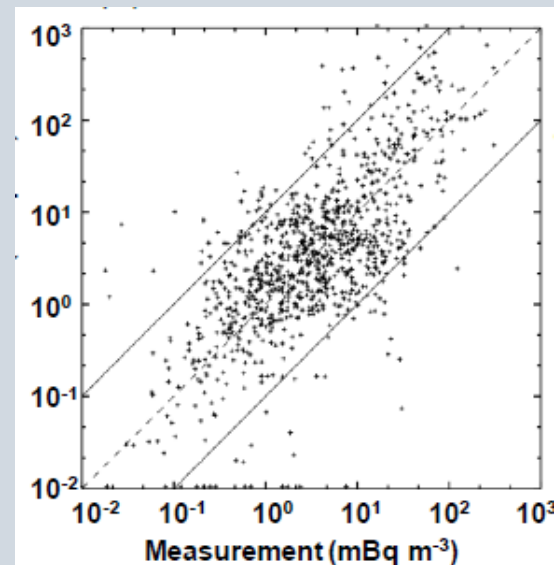
Érkezési idők előrejelzése



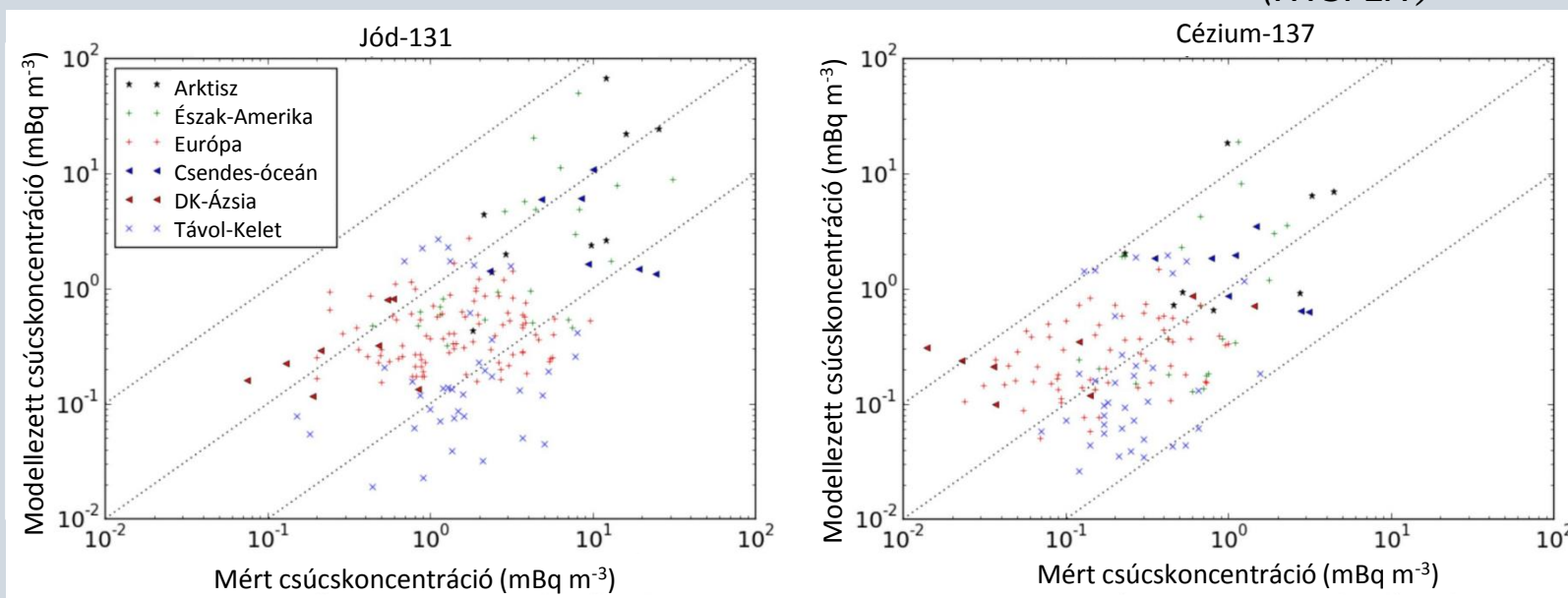
- Átlagos abszolút hiba: 2,8 nap
- Európán belüli érkezési idők: március 20 – április 4.
- Régiónként az első detektálás pontosan előrejelezhető, késői érkezések hibásak

Koncentrációk előrejelzése

- 1 nagyságrenden belül (globálisan)
- Szisztematikus alulbecslés ^{131}I esetén
 ^{137}Cs esetén nem
- Bizonytalanság összemérhető a regionális skálájú változékonysággal
- RSD (σ / μ) = 2,1 (^{131}I), 4,6 (^{137}Cs)



*¹³¹I Katata et al. 2015
(HYSPLIT)*

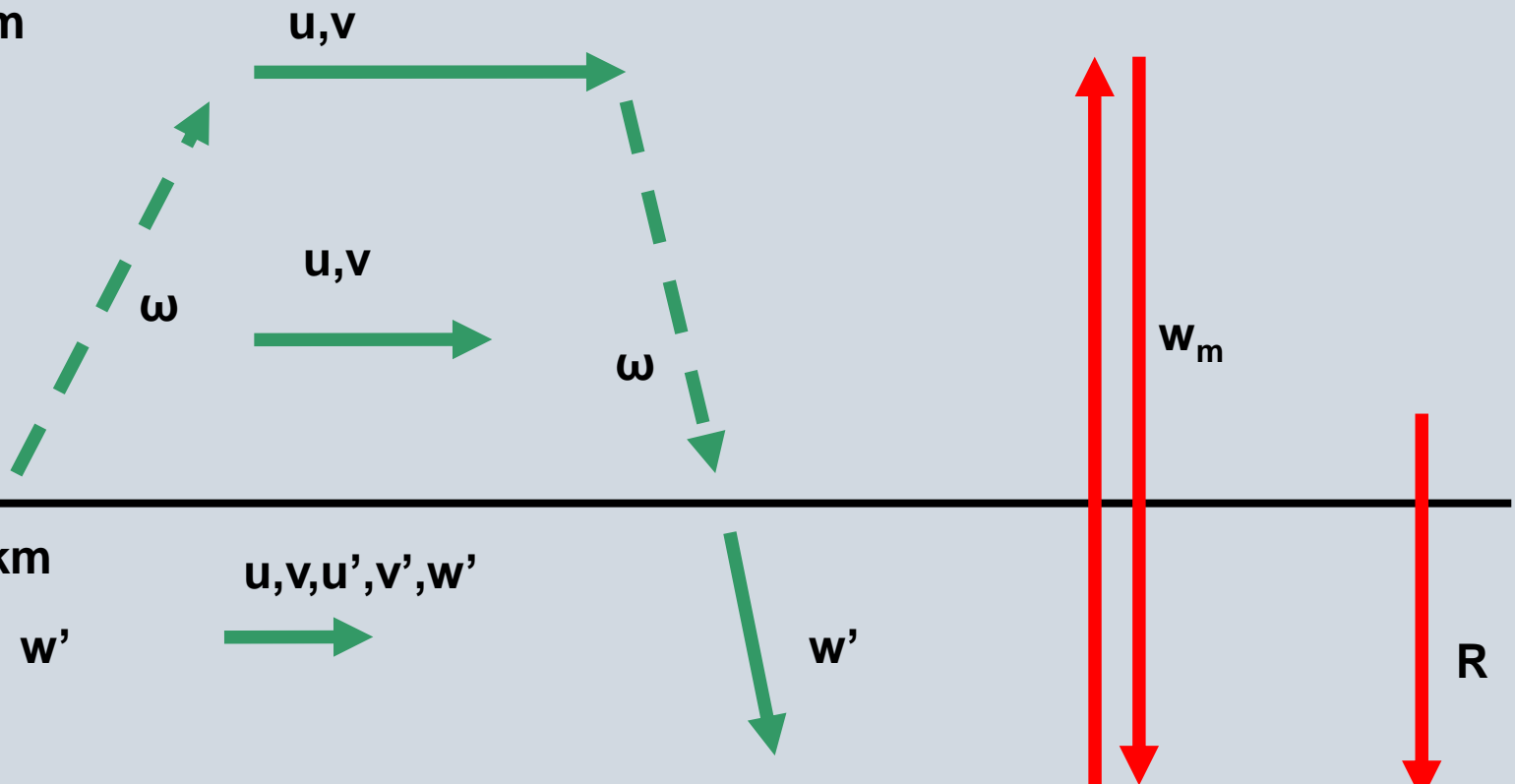


Légekőri transzportútvonala

Jet stream
8–10 km

Szabad
légekő
0–10 km

PHR 0–2 km



A fontosabb légköri radioizotópok

Gáz

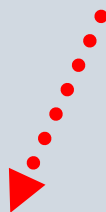
Szilárd (aeroszol)



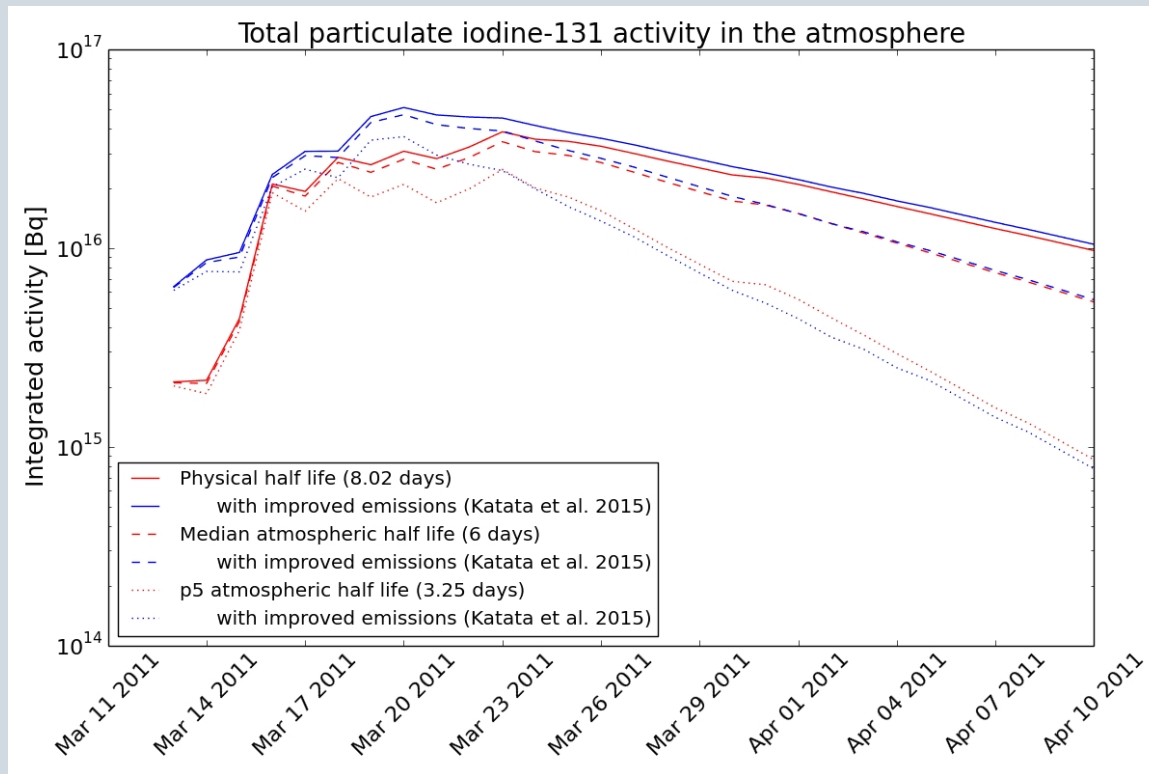
^{133}Xe
5 nap

^{131}I
8 nap

^{131}I $^{134/137}\text{Cs}$
8 nap 2/30 év



Ülepedés és forrástag



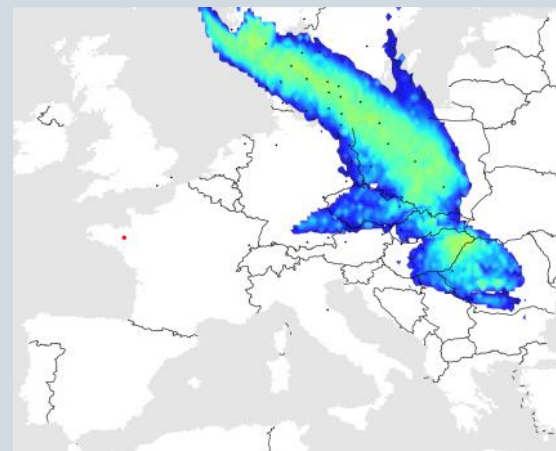
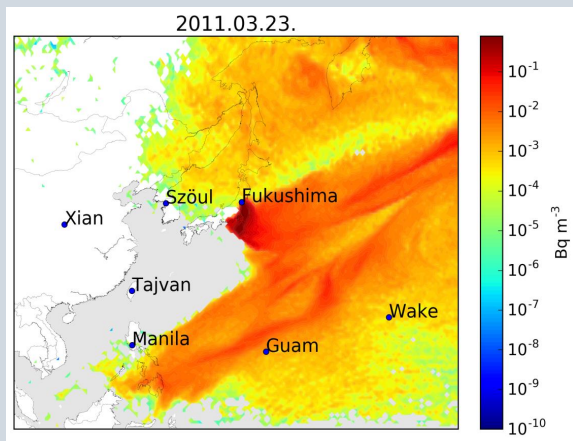
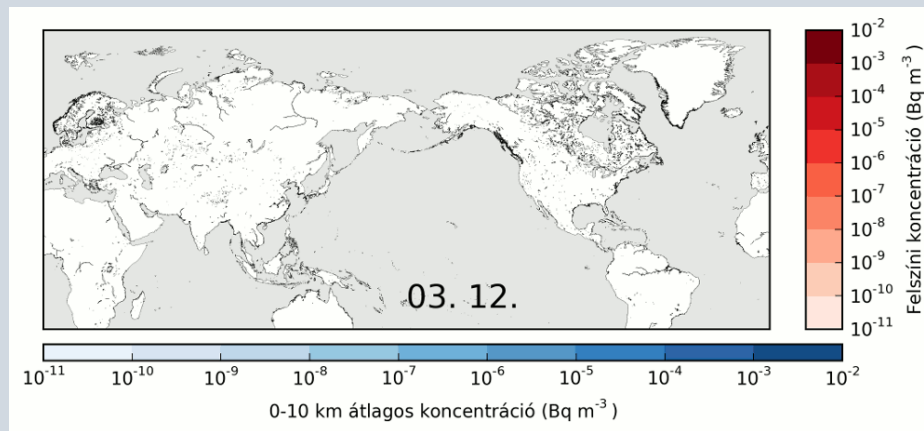
^{131}I légköri effektív felezési ideje:
3–8 nap

Aeroszol/teljes ^{131}I arány

- Emissziós becslések:
25 – 50%
- Mérések (Japán):
33 – 70%
- Mérések (világ):
0 – 60 %

Bossew et al. (2012), Momoshima et al. (2012), Thakur et al. (2013)

Köszönöm a figyelmet!



Nedves ülepedés számítása

^{131}I és ^{137}Cs izotópok legjelentősebb
nyelője: kimosódás

Parametrizáció GFS csapadékmezők
alapján (nem csak a határrétegben!)

R: csapadékintenzitás (mm/h)

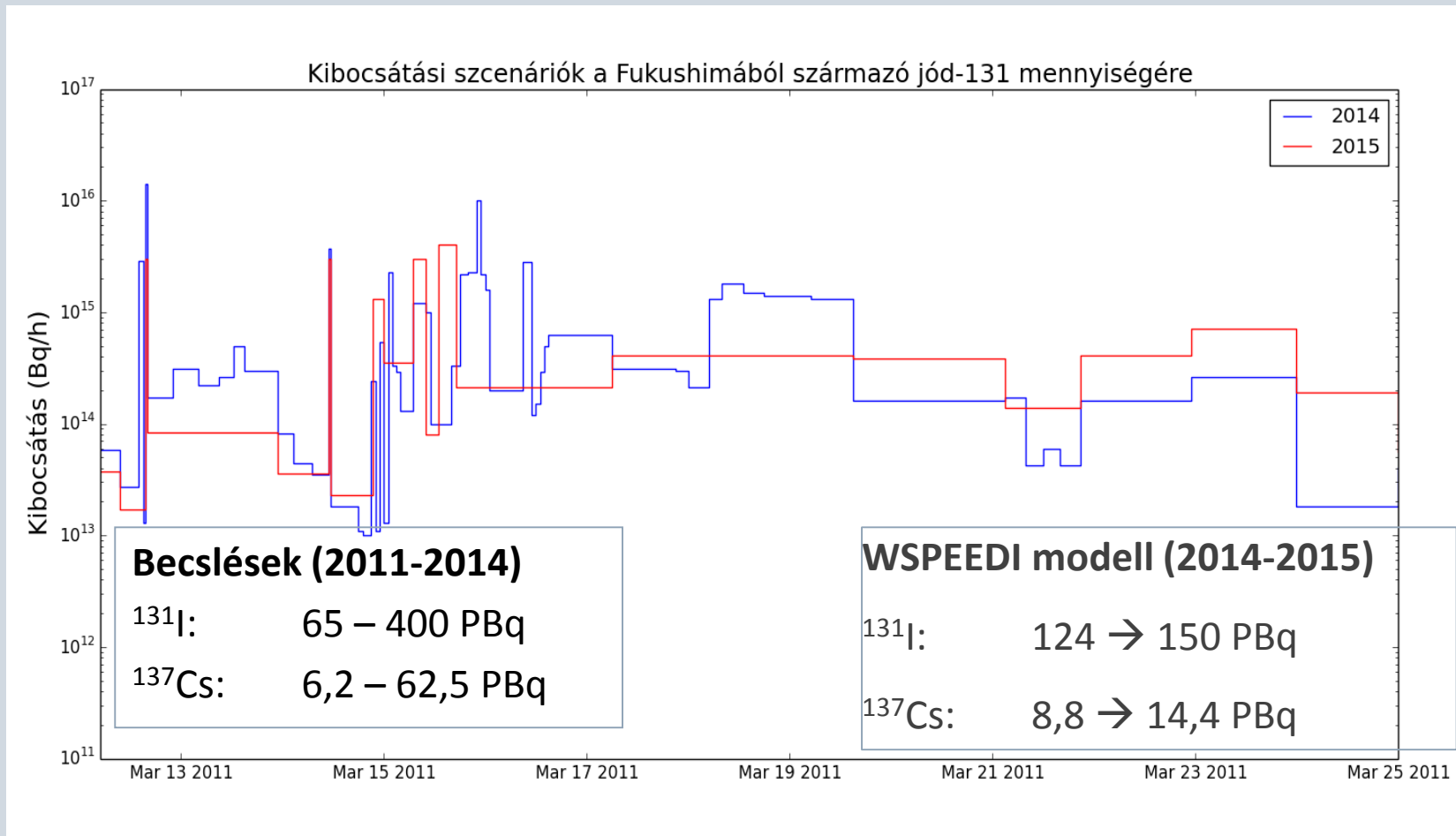
A paraméter becslése: $10^{-4} - 10^{-5}$

Szerves jódra $10^{-6} - 10^{-7}$

$$\frac{dm}{dt} = -\Lambda m$$

$$\Lambda = AR^B$$

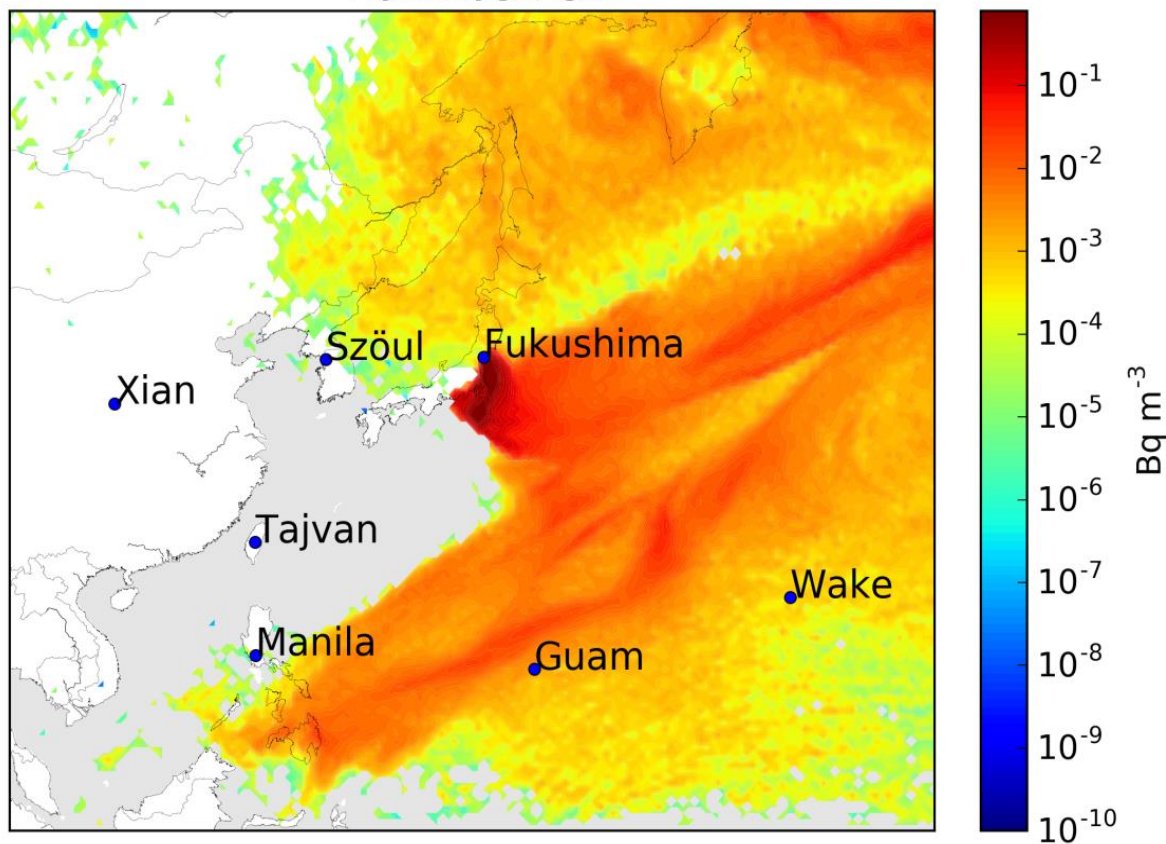
Emissziós becslések



Nagai et al. (2014), Steinhauser et al. (2014), Katata et al. (2015)

Távol-Kelet

2011.03.23.



Alacsony szintű (PHR) transzport Japán felől

Magas szintű (jet stream) transzport zonális irányból

Detektálások:

- 24 kínai állomás: március 31.
- Peking: március 27.
- Xi'an: március 23.
- HYSPLIT: március 16.
- RAPTOR: március 27.

Kárpát-medence

Érkezési idő március 24.

- RAPTOR: március 21.

Fukushima – Budapest: zonális jet stream transzport

Poláris útvonal jelentősége csekély

