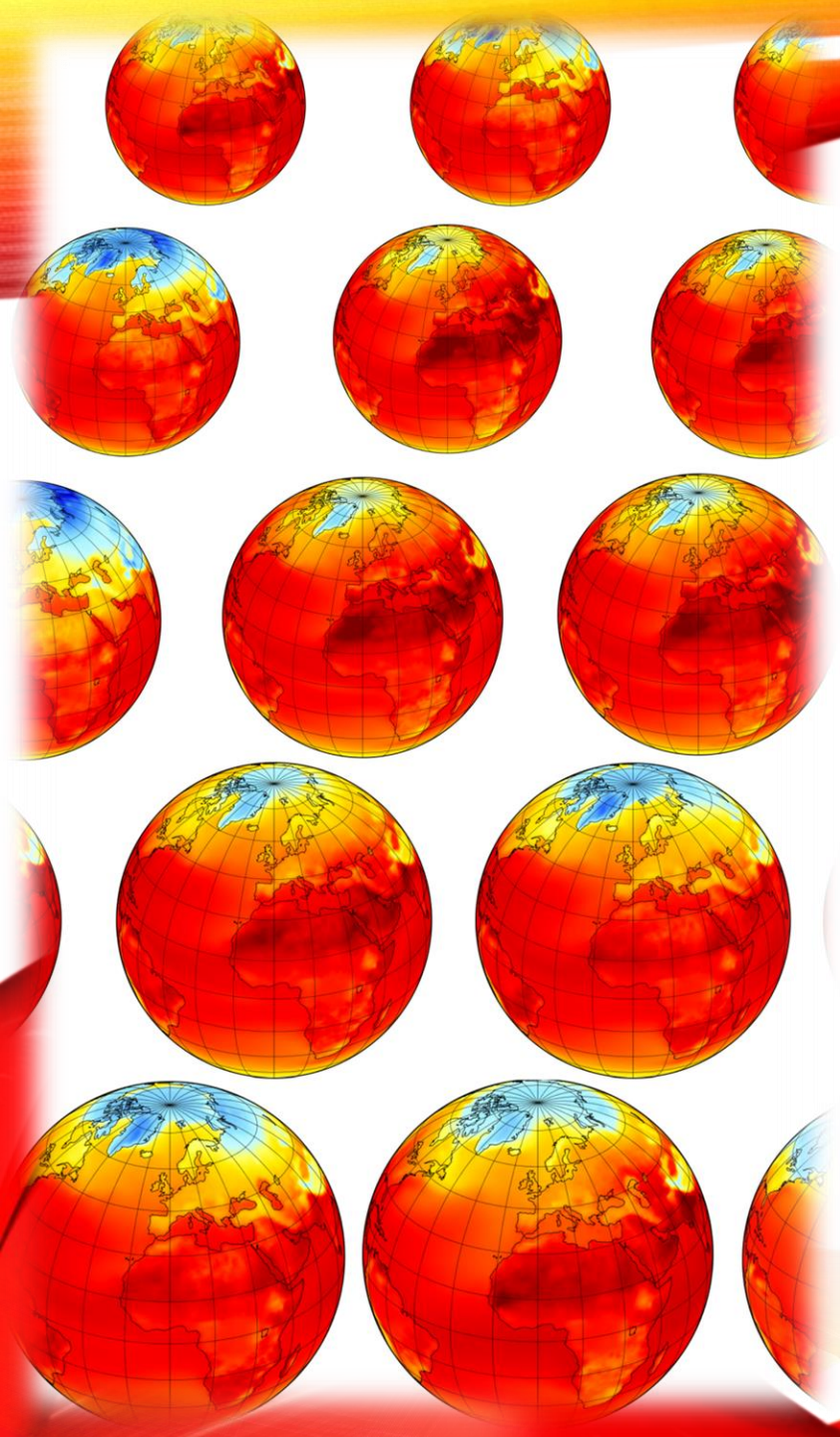


AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁS NYOMÁBAN SOKASÁGI ÉGHAJLATI SZIMULÁCIÓKKAL SNAPSHOT-MEGKÖZELÍTÉSBEN

A PÁRHUZAMOS ÉGHAJLATI REALIZÁCIÓK ELMÉLETE ALAPJÁN

Haszpra Tímea

ELKH–ELTE Elméleti Fizikai Kutatócsoport

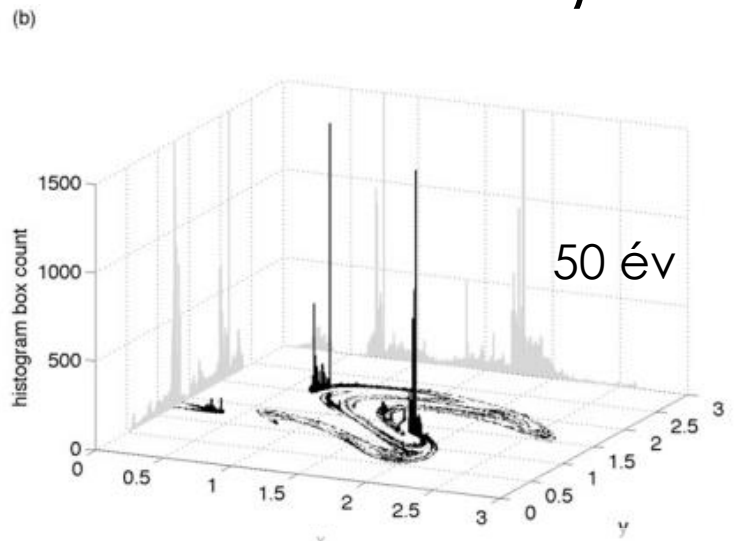
2023. november 6. Götz Gusztáv Emlékülés, OMSZ

A SNAPSHOT-MEGKÖZELÍTÉS

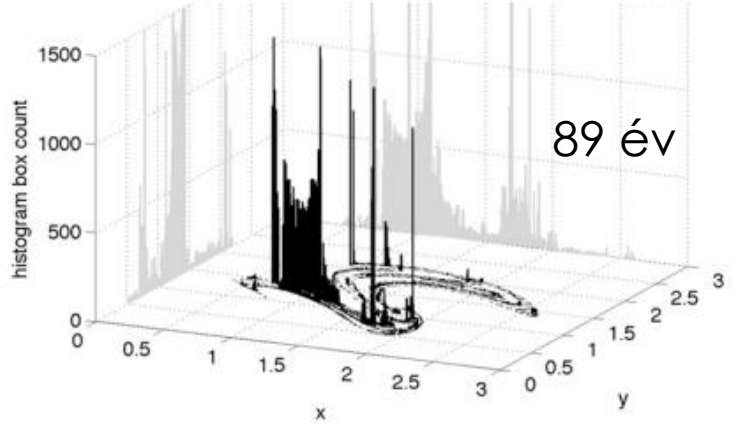
/pillanatkép-megközelítés/

SNAPSHOT-ATTRAKTOR
(PILLANATKÉP-ATTRAKTOR)

- ***lehetséges állapotok összessége egy adott pillanatban***
- ún. ***snapshot-megközelítés*** a dinamikai rendszerek elméletében: hogyan viselkedik egy rendszer ***tetszőleges, időfüggő kényszer*** esetén
- Romeiras et al. (1990): különböző kezdeti feltételből induló mozgások sokasága egy ***fraktál szerkezetű mintázatot*** hoz létre minden pillanatban = ***snapshot-attraktor***
- folyamatosan ***változtatja az alakját*** (←→ hagyományos kaotikus attraktor: időfüggetlen [Lorenz 1963; Ott 1993])
- Ghil et al. (2008) és Chekroun et al. (2011): snapshot-attraktor (pullback-/visszahúzási attraktor) jelentősége az égh. dinamika és az égh. vált. vizsgálatában



Lorenz-modell égh. vált.-sal **snapshot-attraktor eloszlása** (z = 0 vetület) [Drótos et al. 2015]



SOKASÁGI ÉGHAJLATI SZIMULÁCIÓK

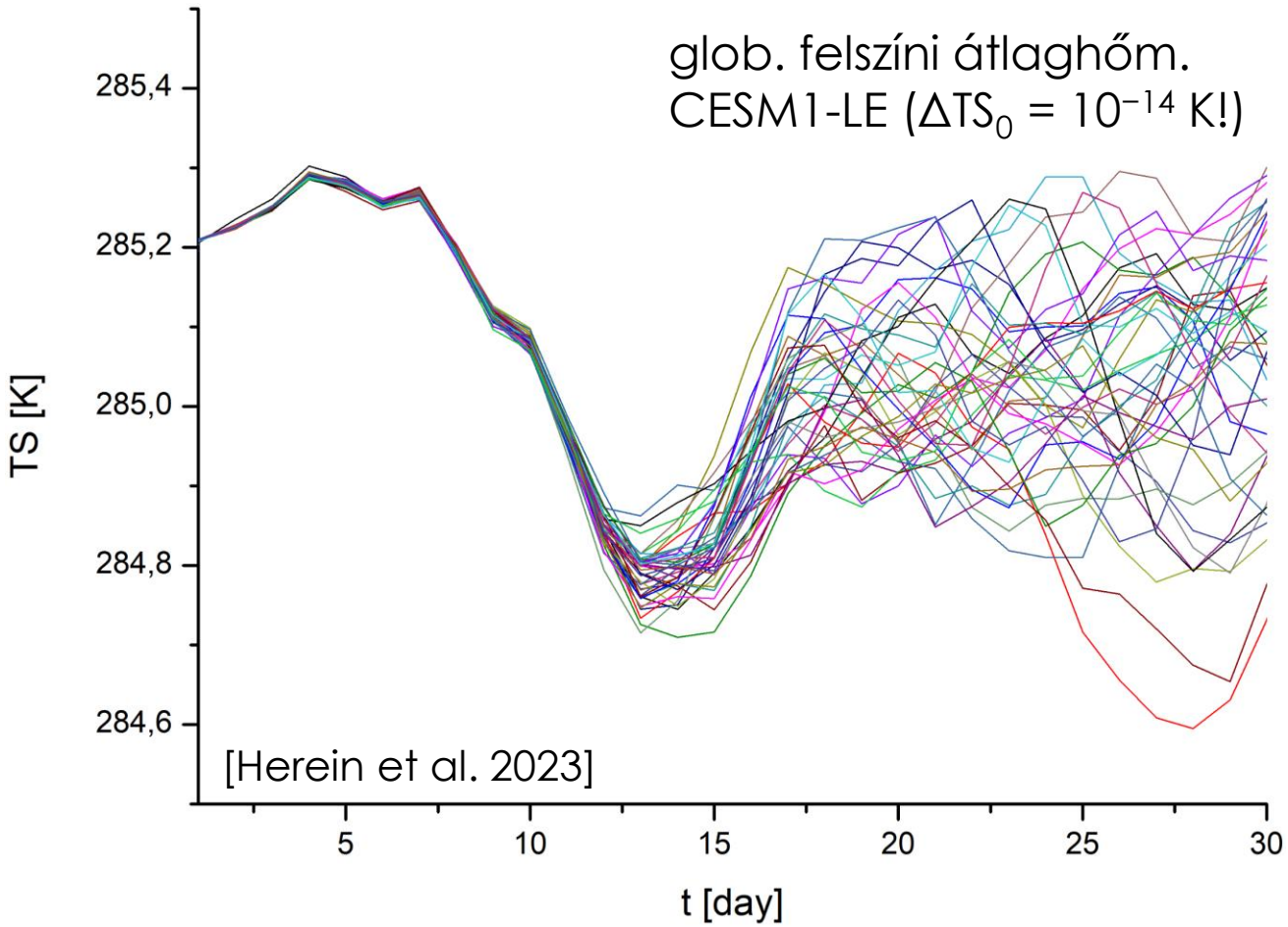
„single-model initial-condition large ensemble”

/SMILE/

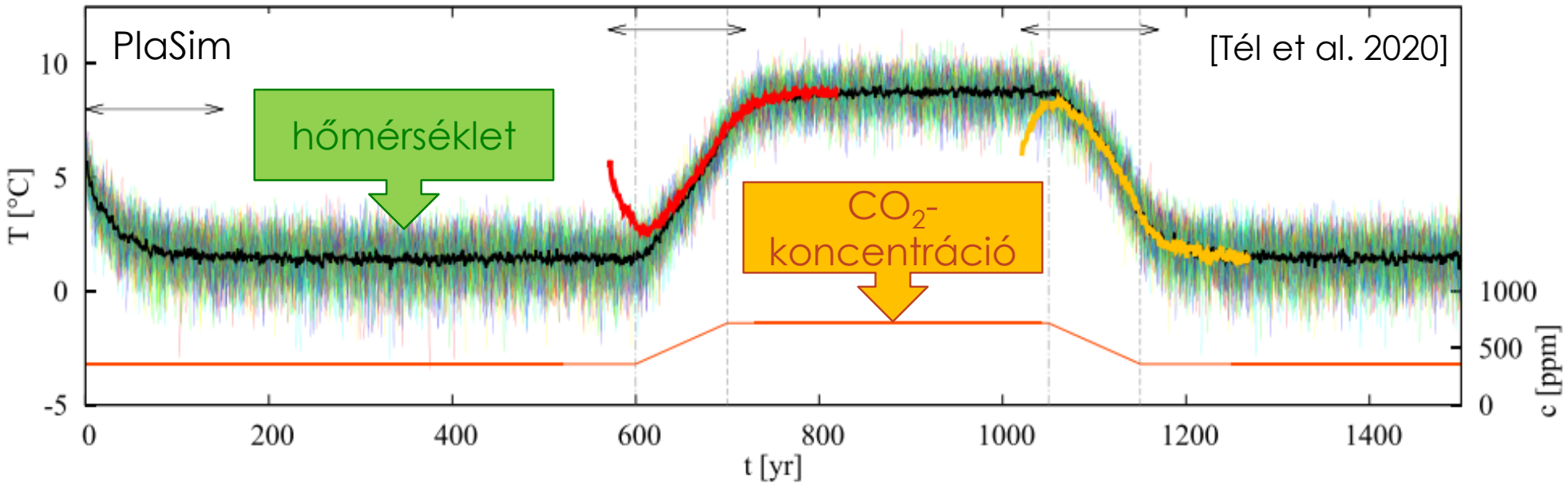
a snapshot-attraktor előállítása ? ***sokasági éghajlati szimulációk*** = snapshot-megközelítésben: ***párhuzamos éghajlati realizációk/kílmatörténetek***

- ***kissé különböző kezdeti feltételből*** induló trajektóriák/szimulációk követése, amikre ugyanazon fizikai törvények és kényszerek hatnak

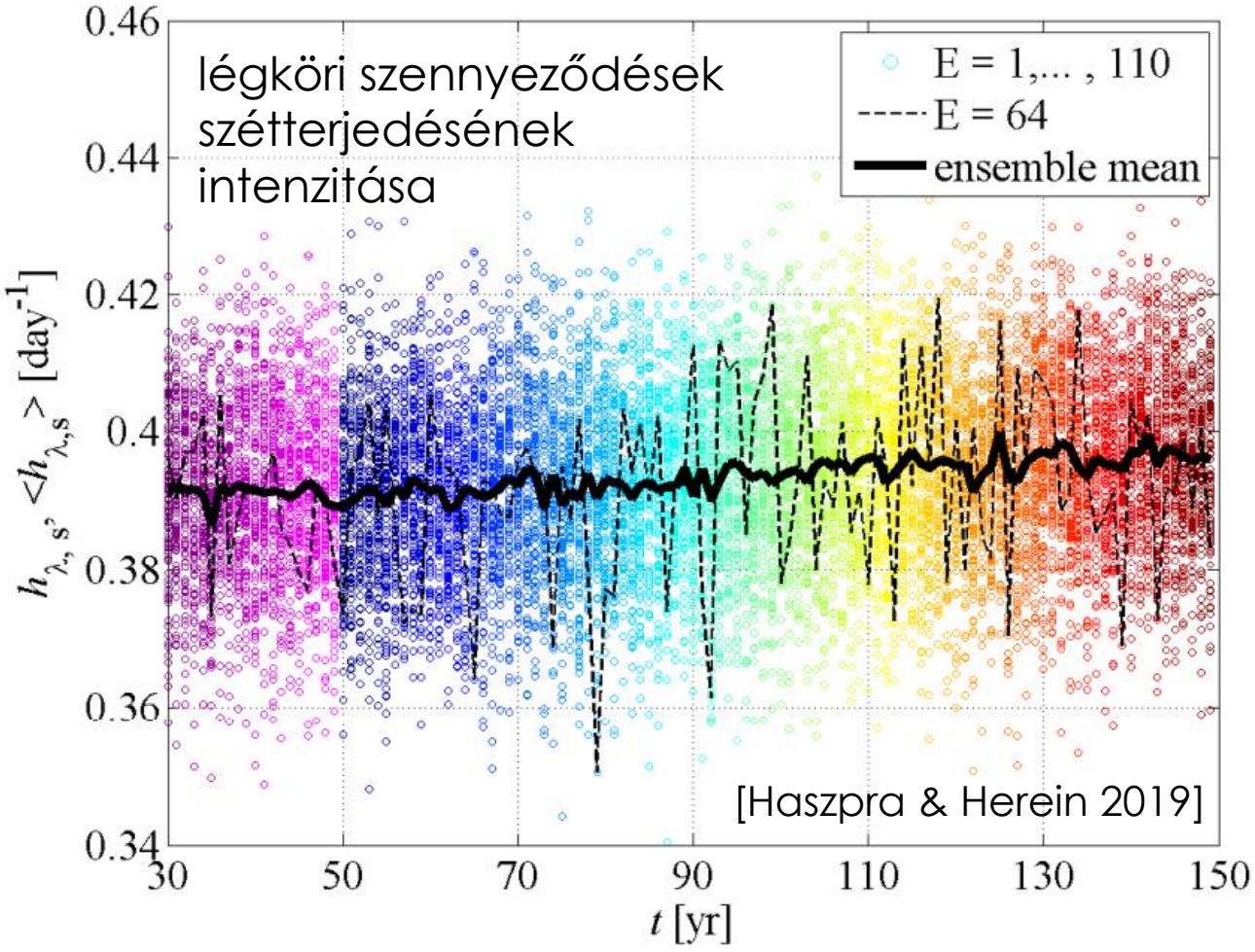
1. ***párhuzamos éghajlati realizációk*** kialakulása
   - ***exponenciális szétterjedés*** (kezdeti feltételekre való érzékenység)
   - belső változékonyság „eredete”
   - a szétterjedés ***véges*** lesz!



2. ***kezdeti feltételek elfelejtése***, a snapshot attraktor elérése
   - tetszőleges kezdeti feltételből induló szimuláció konvergál az adott kényszerek között lehetséges állapotokba, „elfelejti” a kezdőfeltételeit (***konvergenciaidő***)
   - a konvergenciaidő elteltével a sokaság tagjai jól jellemzik ***a lehetséges állapotok összességét***, megadják azok ***helyes statisztikai reprezentációja*** → ez a snapshot-attraktor

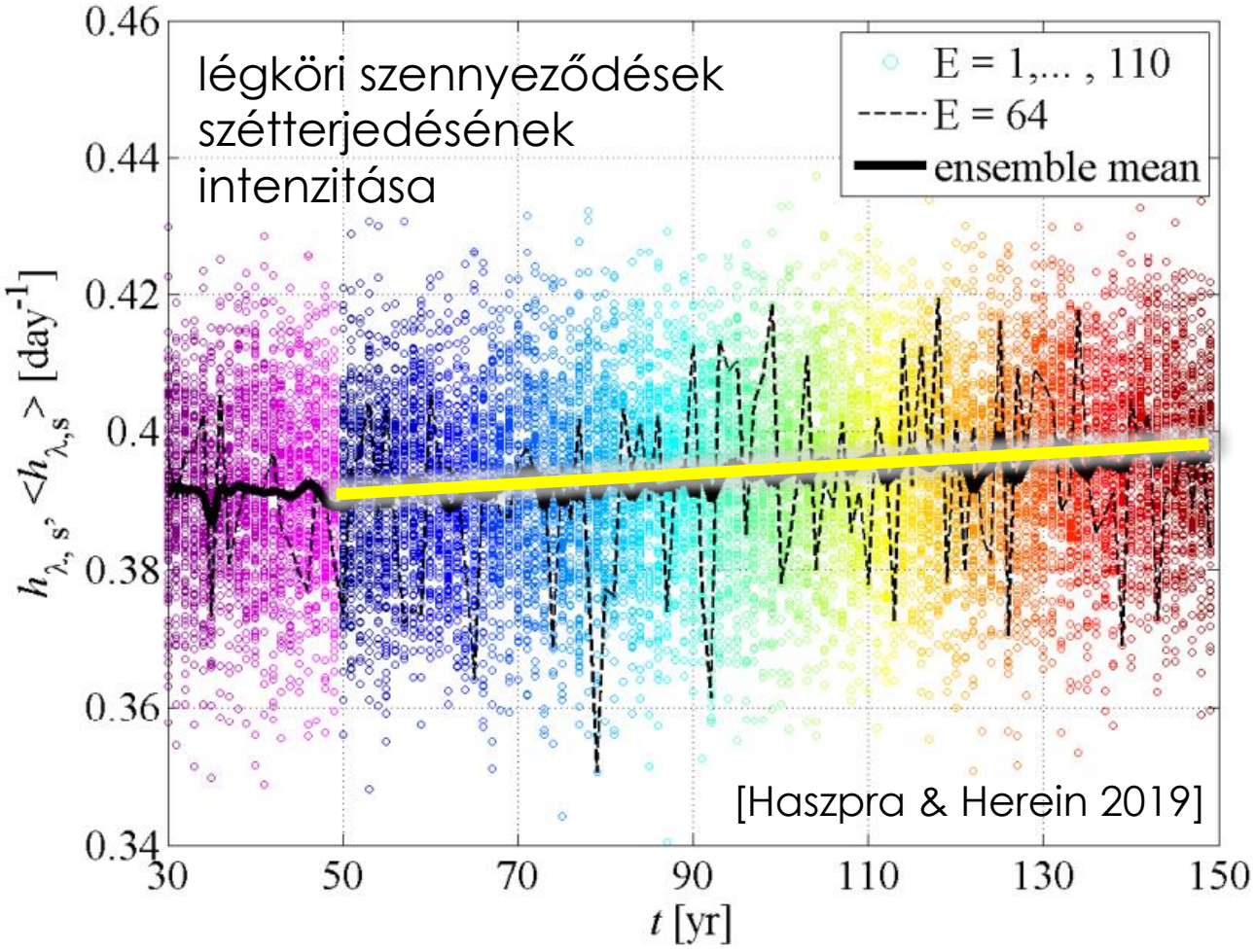


A SNAPSHOT-MEGKÖZELÍTÉS JELLEMZŐI



- Az ***egyedi trajektóriákból*** levont következtetések ***félrevezetőek*** lehetnek ← nem reprezentatívak és nem előrejelezhetők.

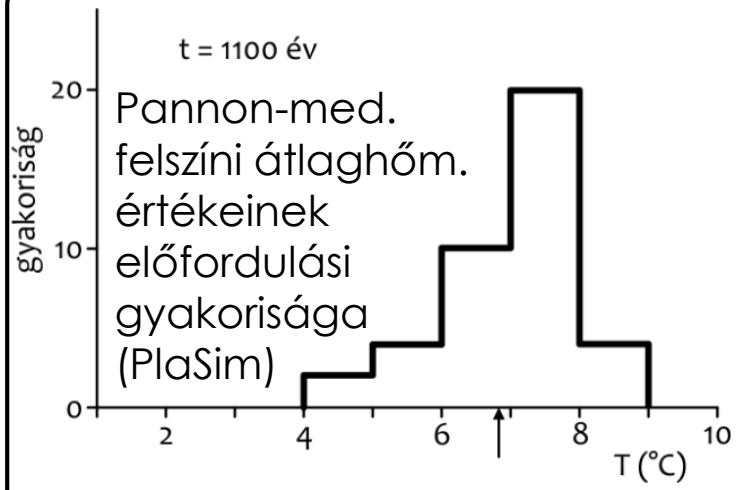
A SNAPSHOT-MEGKÖZELÍTÉS JELLEMZŐI



- Az ***egyedi trajektóriákból*** levont következtetések ***félrevezetőek*** lehetnek ← nem reprezentatívak és nem előrejelezhetők.

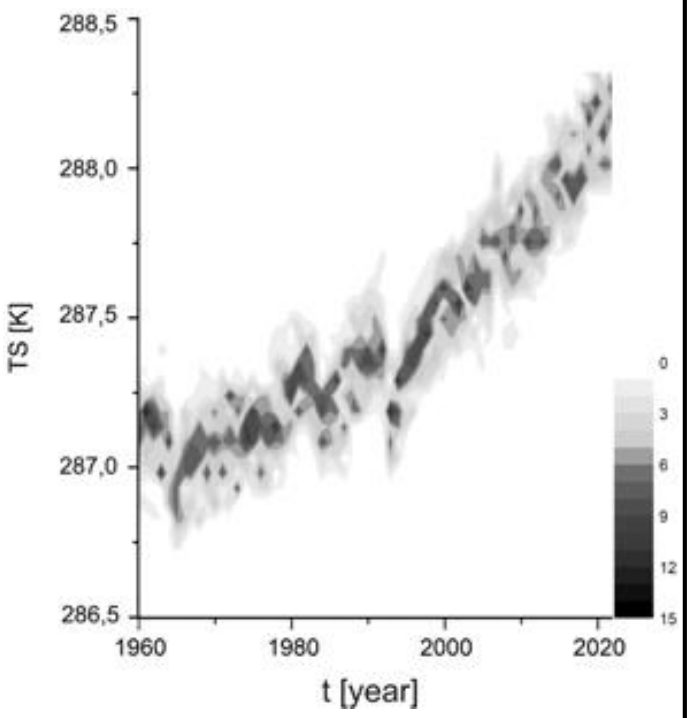
A SNAPSHOT-MEGKÖZELÍTÉS JELLEMZŐI

- A ***sokasági tulajdonságok*** (a változók valószínűségi eloszlása is) viszont ***előrejelezhetők*** statisztikai értelemben.
- A rendszer ***minden egyes pillanatban jellemezhető*** → a szubjektív ***időbeli statisztikák*** (pl. időátlag, mozgóátlag esetén időablak) használata ***elkerülhető***.



Pannon-med. felszíni átlaghőm. értékeinek előfordulási gyakorisága (PlaSim)

[Bódai et al. 2017]



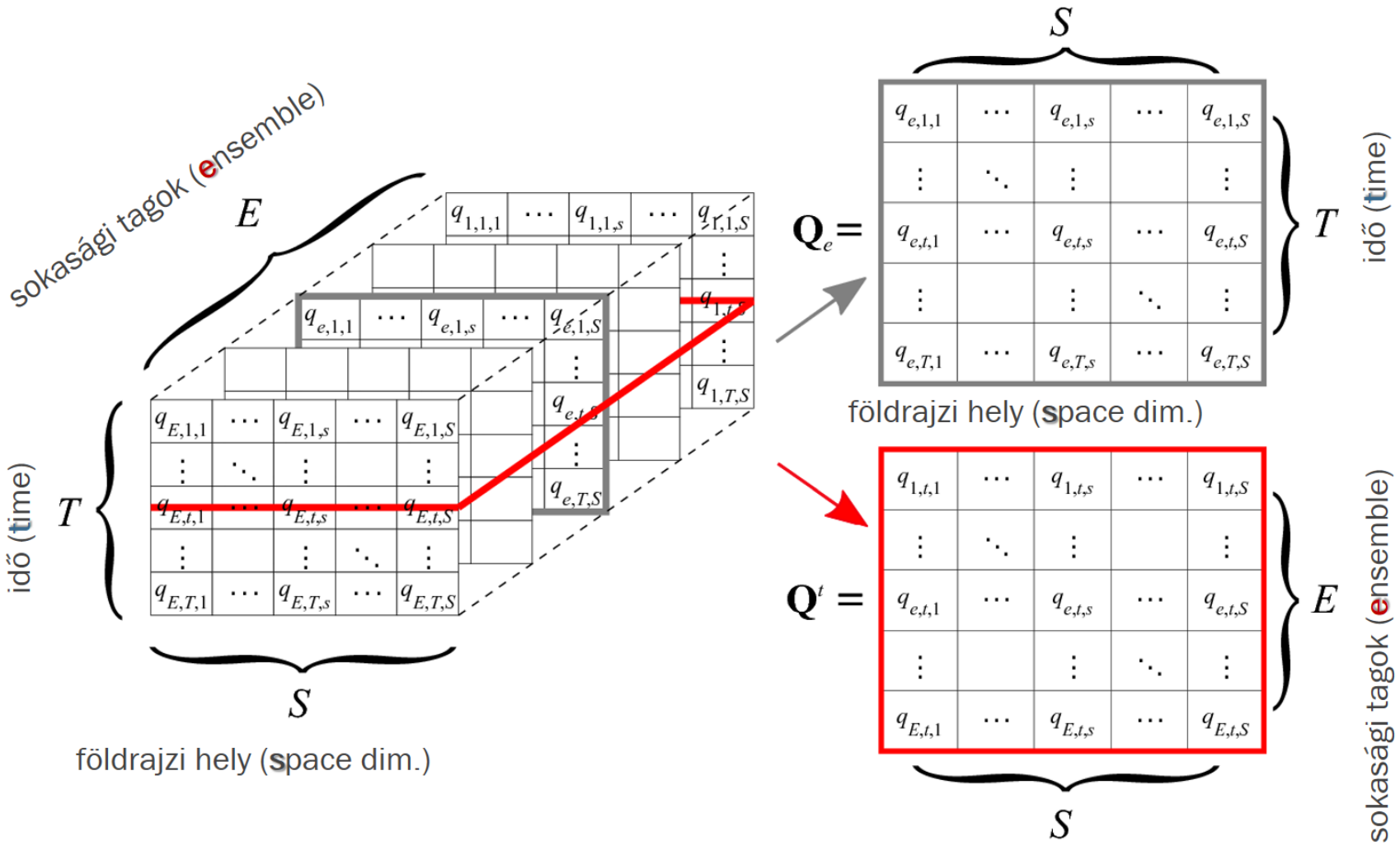
glob. felszíni átlaghőm. értékeinek előfordulási gyakorisága (CESM1-LE)

[Herein et al. 2023]

- Pillanatnyi ***(snapshot) valószínűségi eloszlás*** és annak snapshot statisztikai jellemzői →
- ***Bármelyik mennyiség*** kényszerekre adott ***változása*** is elemezhető a ***snapshot értékek*** (pl. ensemble átlag, ensemble szórás) ***idősor-analízisé***vel.

SZÁMÍTÁSOK SNAPSHOT-MEGKÖZELÍTÉSBEN

- változók, statisztikák (pl. átlag, szórás, korrelációk, EOF, CCA, MCA stb.) ***pillanatnyi érték***ének számítása az ***ensemble dimenzióban*** minden egyes időpillanatban
- megjegyzés: az eredményeket a felhasznált ***ensemble tagok száma*** befolyásolhatja, az elemszám növelésével pontosítható (Milinski et al. (2020): ~5-~100 tag elegendő)



AZ ÉGHAJLAT-VÁLTOZÁS NYOMÁBAN

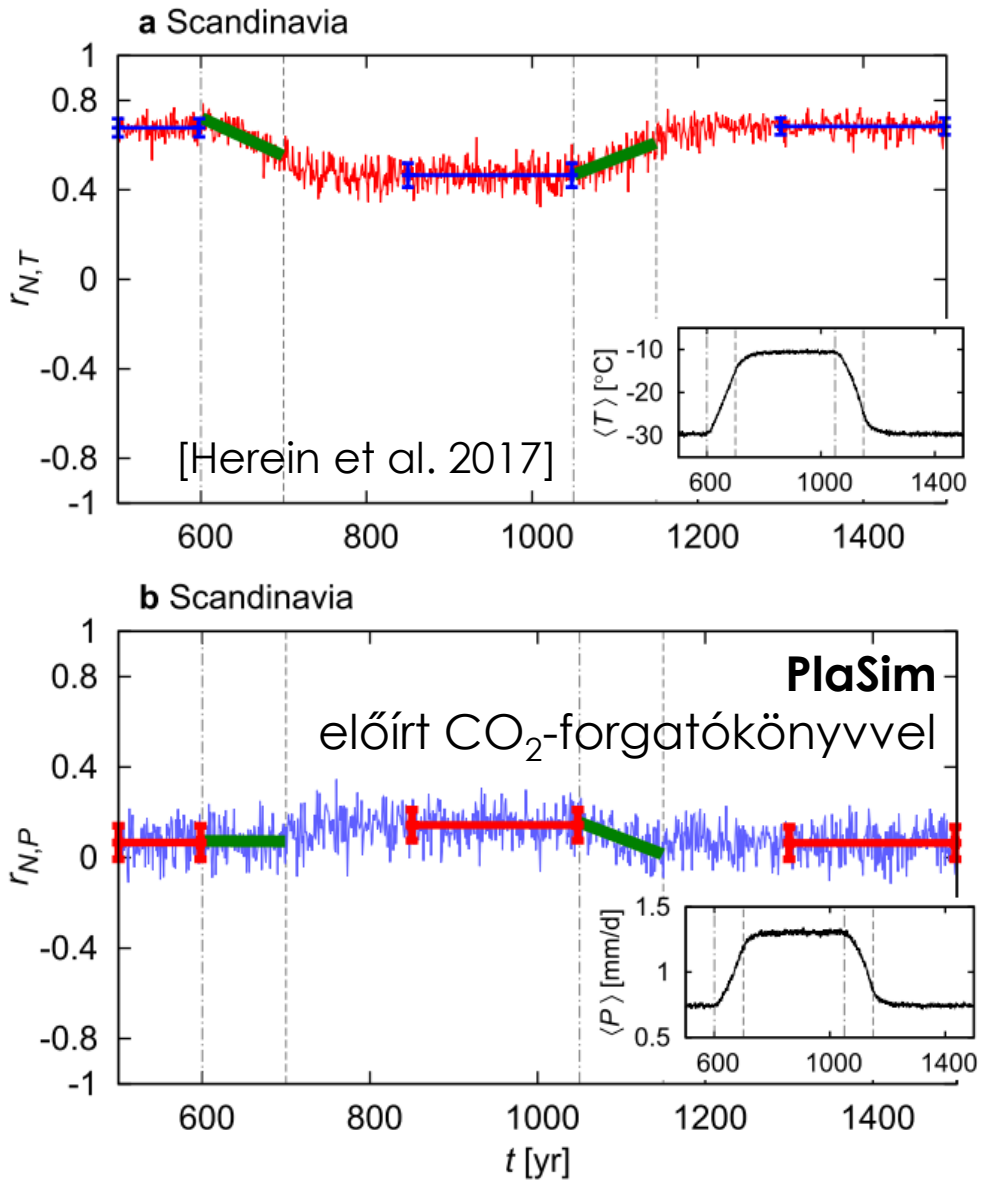
Kutatások a snapshot-megközelítésben az utóbbi évekből

LÉGKÖRI TÁVKAPCSOLATOK

Észak-atlanti oszcilláció /North Atlantic Oscillation (NAO)/

az izlandi alacsony nyomású és az azori magas nyomású rendszer közötti nyomáskülönbség ingadozása

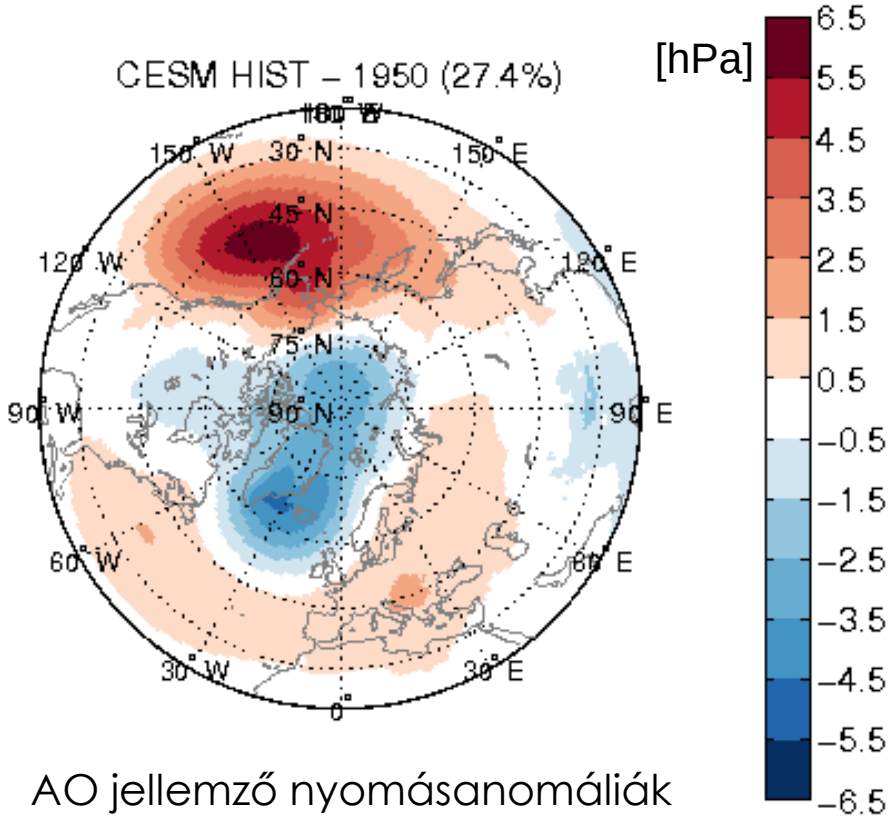
- az egyedi idősorokból végzett elemzések problémái
- a NAO index és a **hőmérséklet**/**csapadék** korrelációk ***(távkapcsolatok erőssége) változnak***



M. Herein, J. Márfy, G. Drótos, and T. Tél: Probabilistic concepts in intermediate-complexity climate models: A snapshot attractor picture, J. Climate **29**, 259-272 (2016)

M. Herein, G. Drótos, T. Haszpra, J. Márfy, and T. Tél: The theory of parallel climate realizations as a new framework for teleconnection analysis, Sci. Rep. **7**, 44529(11) (2017)

LÉGKÖRI TÁVKAPCSOLATOK



AO jellemző nyomásanomáliák
[Haszpra et al. 2020b]

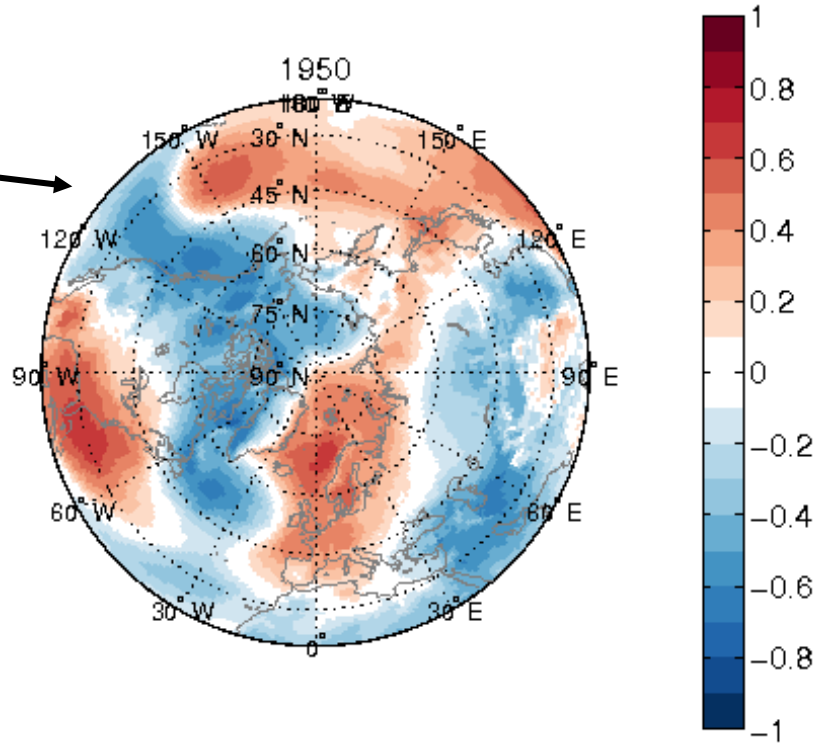
Arktikus oszcilláció /Arctic Oscillation (AO)/

„gyűrűszerű" anomália a tengerszinti légnyomásmezőkben, ellenkező előjellel az Arktiszon és az é. sz. 37–45° sávban

- snapshot empirikus ortogonális függvények (***SEOF***) analízise

a módszert az NCAR-nál is átvették [O'Brien & Deser 2022]

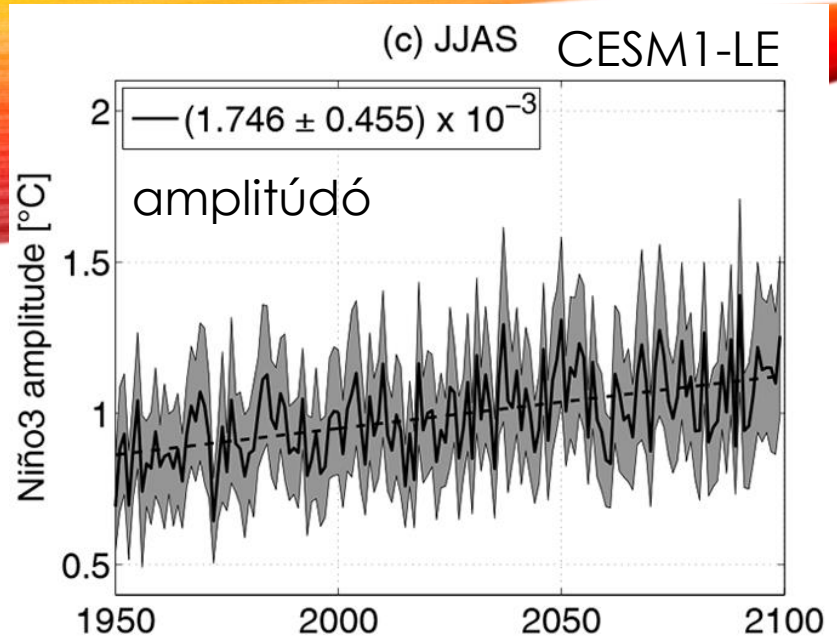
- AO ***mintázat***ának, ***amplitúdó***jának és az AO hőmérsékleti ***kapcsolatok erősségé***nek (korreláció) időbeli változása (CESM1-LE, MPI-GE)

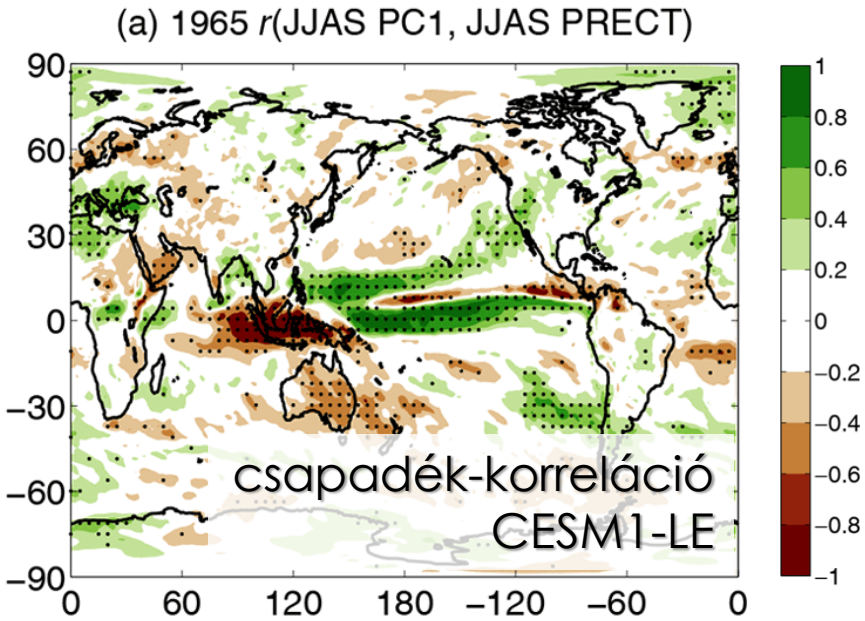


T. Haszpra, D. Topál, M. Herein: On the Time Evolution of the Arctic Oscillation and Related Wintertime Phenomena under Different Forcing Scenarios in an Ensemble Approach, J. Climate **33**, 3107–3124, 2020b

T. Haszpra, D. Topál, M. Herein: Detecting forced changes in internal variability using Large Ensembles: On the use of methods based on the "snapshot view", US CLIVAR Variations, Summer 2020, Vol. 18, No. **2**, 36-43, 2020c

LÉGKÖRI TÁVKAPCSOLATOK





[Haszpra et al. 2020a]

El Niño–déli oszcilláció /El Niño–Southern Oscillation (ENSO)/

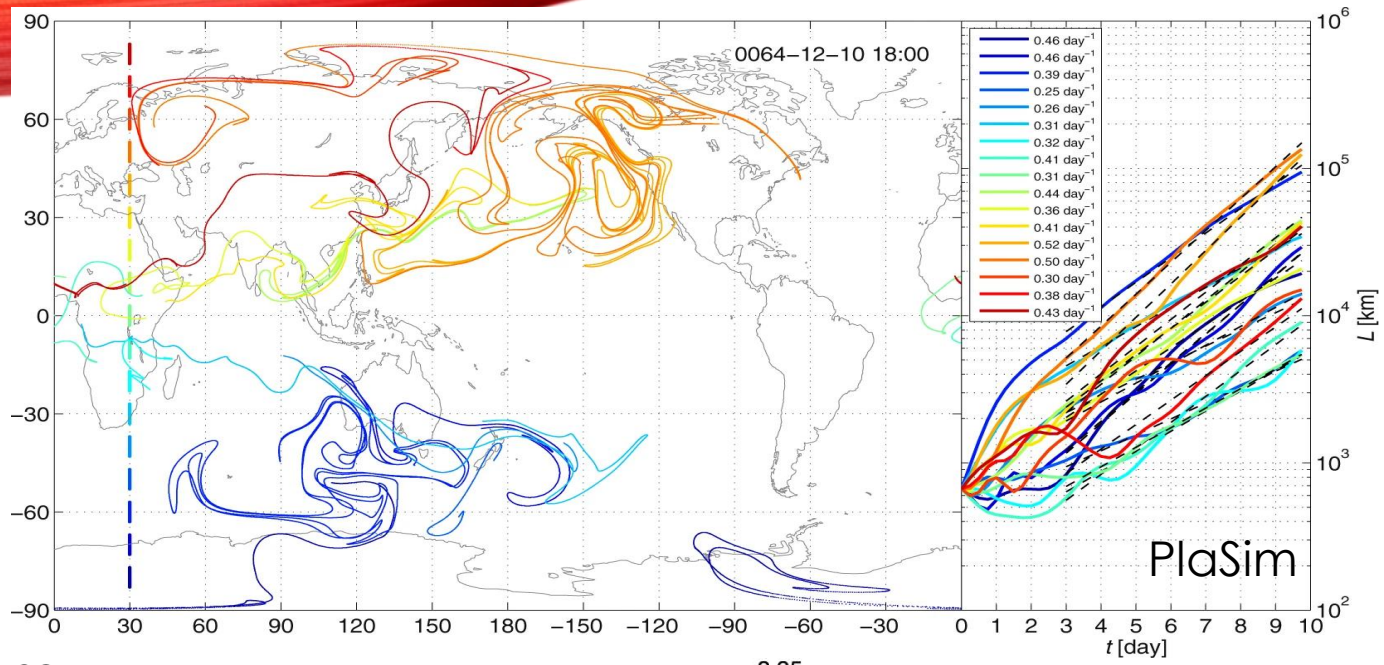
- ***SEOF analízis***: ENSO mintázat, erősség, amplitúdó, csapadék-távkapcsolatok erősségének (korreláció) változása (CESM1-LE)
- az ENSO (***Niño3 amplitúdó***) és az indiai nyári monszun távkapcsolatának változása, ***nemlinearitása*** (***SEOF***, ***SMCA***, ***SCCA***) (CESM1-LE, MPI-GE)

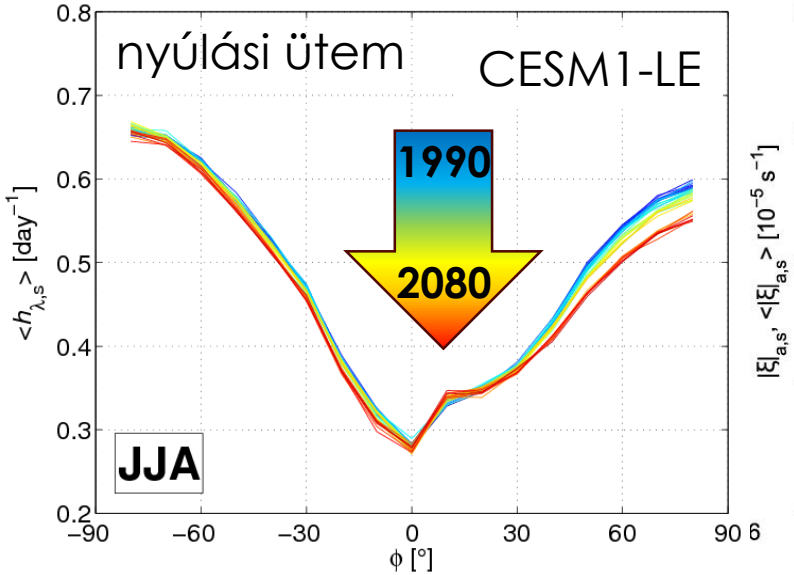
T. Haszpra, M. Herein, and T. Bódai: Investigating ENSO and its teleconnections under climate change in an ensemble view – a new perspective, Earth Syst. Dynam. **11**, 267–280, 2020a

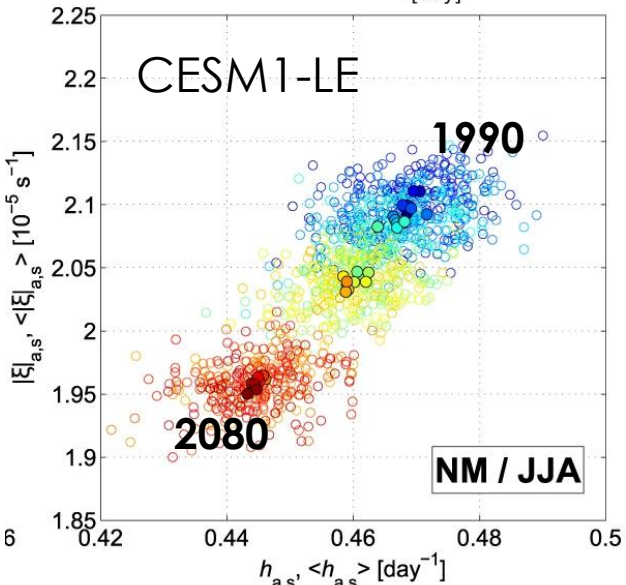
T. Bódai, G. Drótos, M. Herein, F. Lunkeit, V. Lucarini: The Forced Response of the El Niño–Southern Oscillation–Indian Monsoon Teleconnection in Ensembles of Earth System Models, J. Climate **33**, 2163–2182, 2020

T. Bódai, G. Drótos, K.-J. Ha, J.-Y. Lee, E.-S. Chung: Nonlinear forced change and nonergodicity: the case of ENSO-Indian Monsoon and global precipitation teleconnections, Front. Earth Sci. **8**, 599785, 2021

LÉGKÖRI SZENNYEZŐDÉSEK TERJEDÉSE



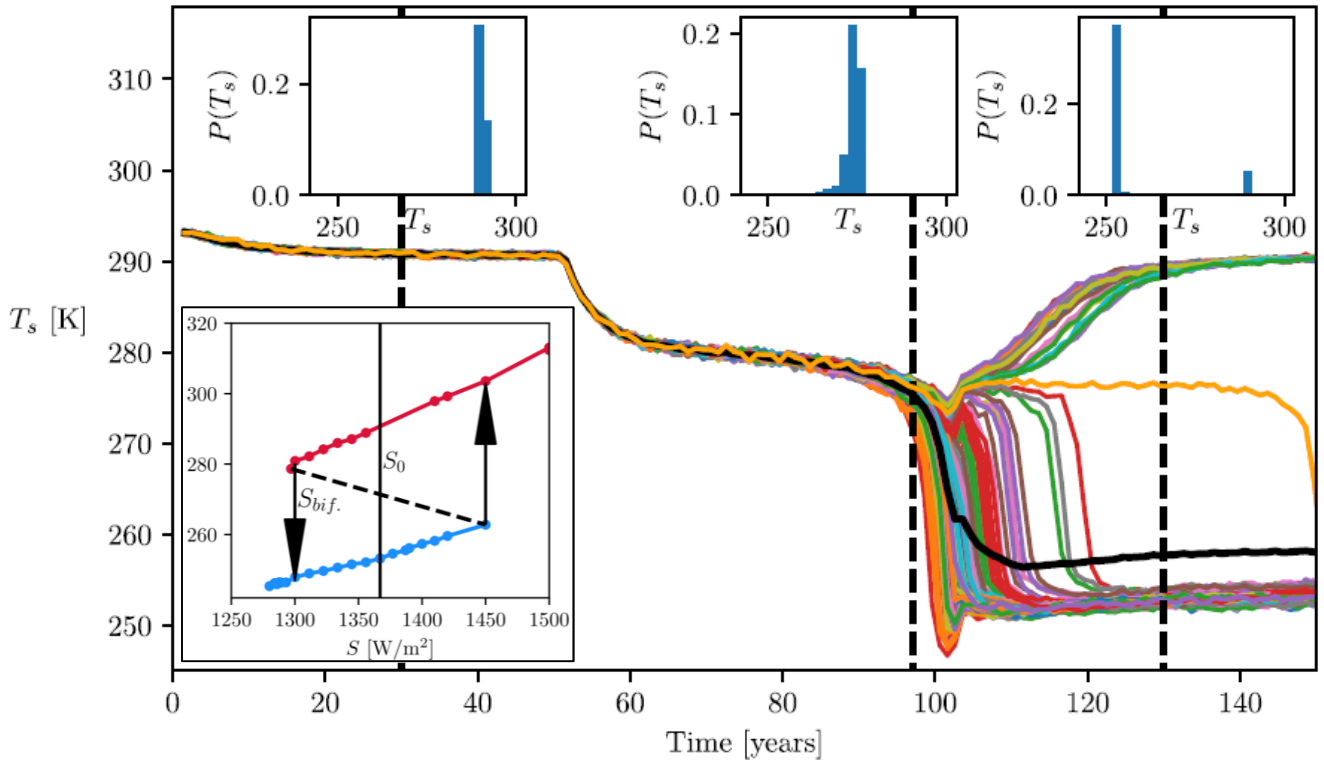


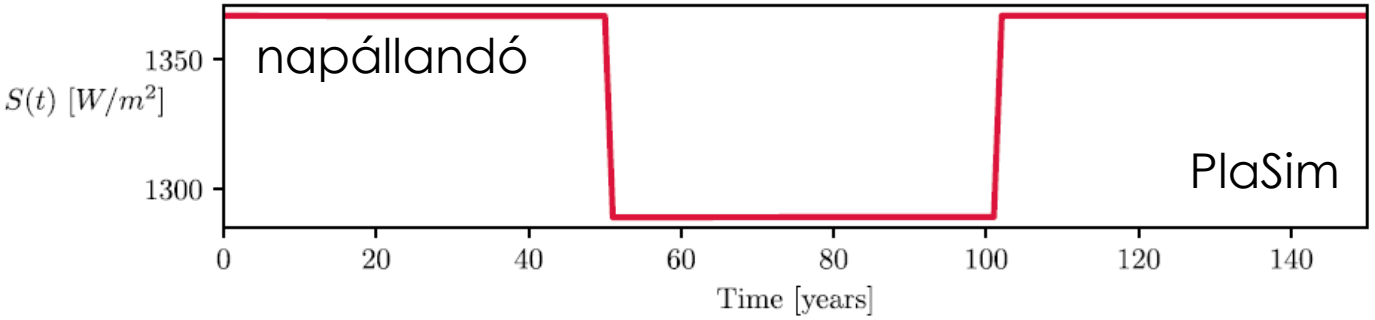


- szennyeződésfelhők nyúlása ***exponenciális*** (***nyúlási ütem***)
- nyúlási ütem ***csökken*** → a terjedés kevésbé „hordja szét" a szennyeződéseket → nagyobb koncentráció
- a nyúlási ütem és a rel. örvényesség között ***erős korreláció***
- a terjedés intenzitásában bekövetkező változások ***becsülhetők*** külön elvégzendő, számításigényes terjedési szimulációk nélkül is

T. Haszpra, M. Herein: Ensemble-based analysis of the pollutant spreading intensity induced by climate change, Sci. Rep. **9**, 3896 (2019)

HÓGOLYÓ-FÖLD-ÁTMENET

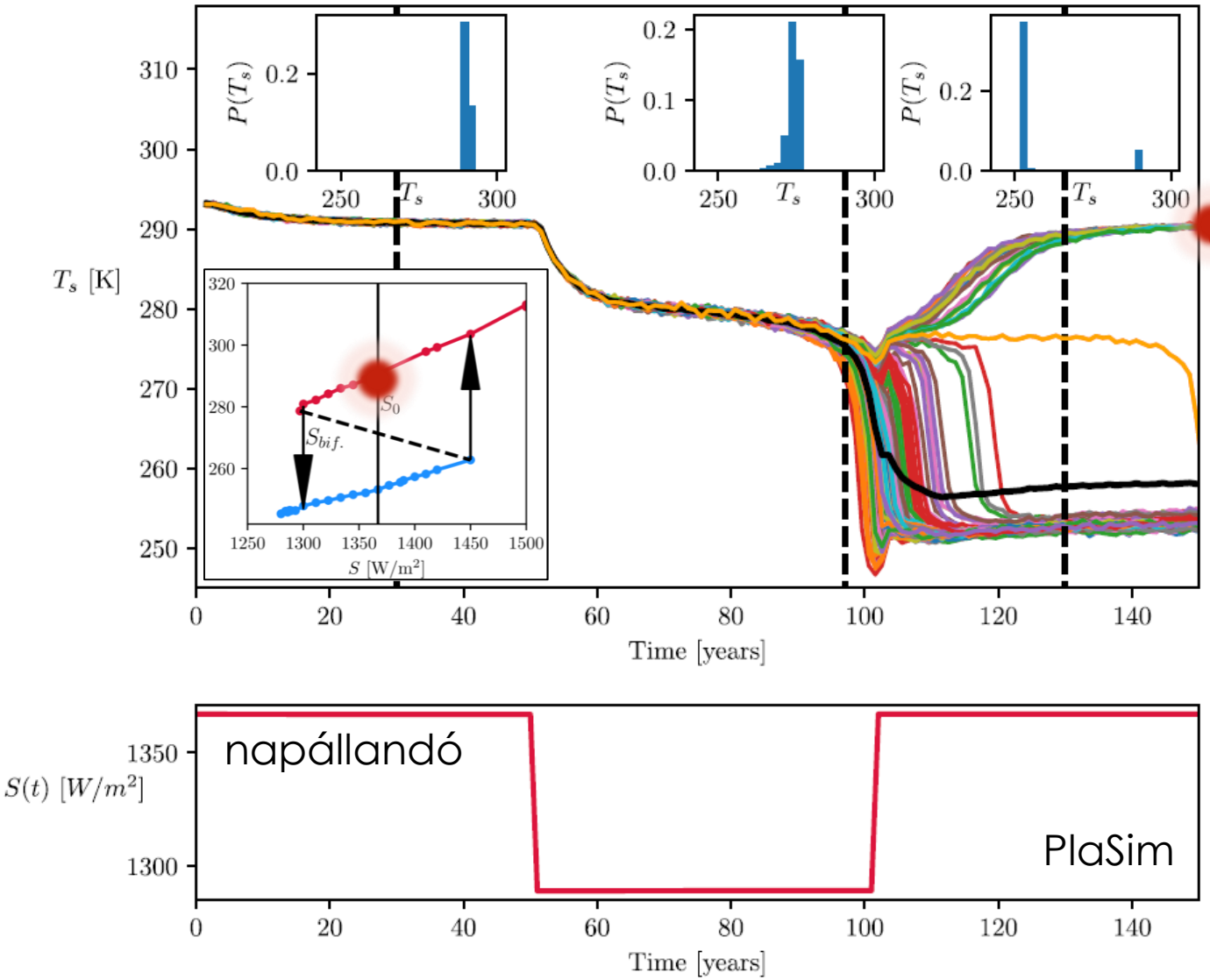




- a napállandó gyors csökkentésének, majd visszanövelésének hatására bizonyos paraméterérték-intervallumok esetén (csökkenés gyorsasága, plató hossza) a jelenlegi napállandó által megengedett ***mindkét stabil*** és ***az instabil állapotba*** is jutottak szimulációk:

B. Kaszás, T. Haszpra, M. Herein: The snowball Earth transition in a climate model with drifting parameters: Splitting of the snapshot attractor, Chaos **29**, 113102 (2019)

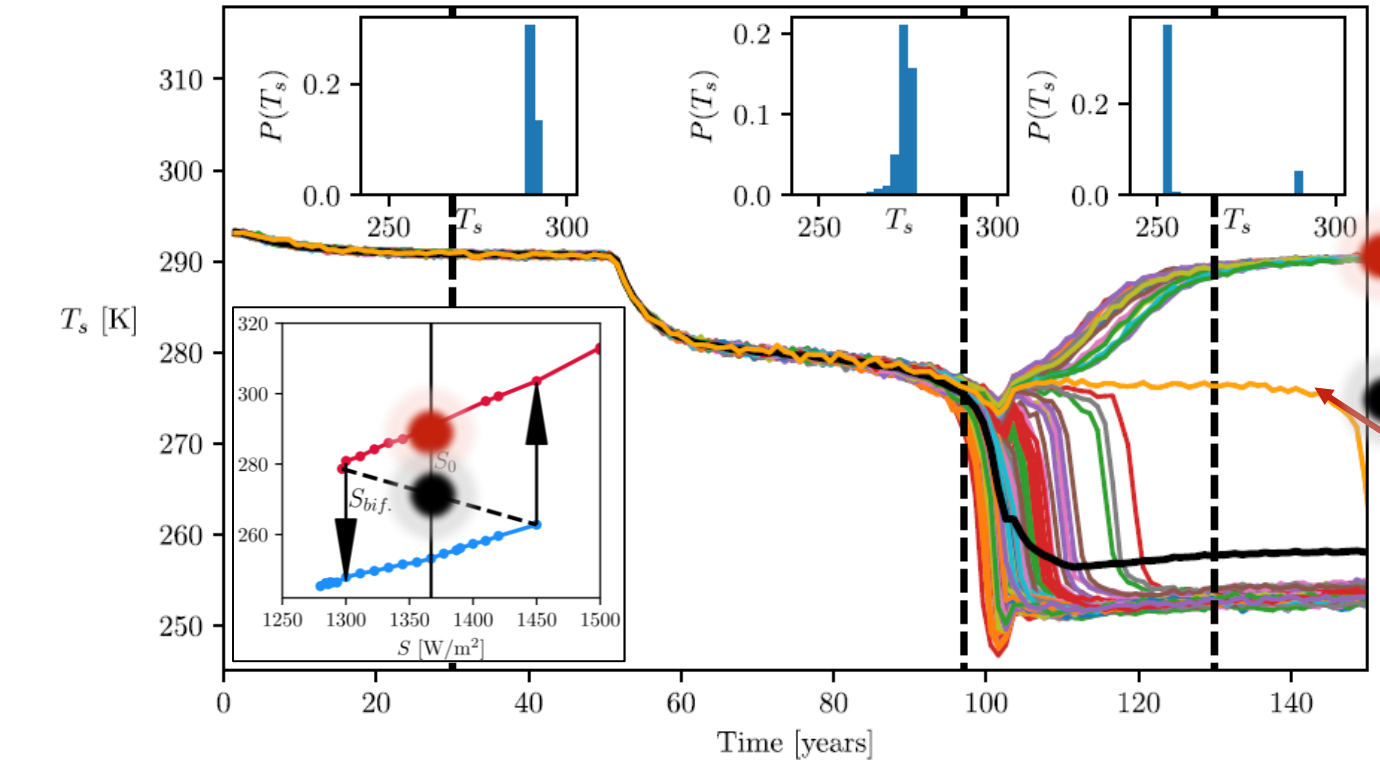
HÓGOLYÓ-FÖLD-ÁTMENET

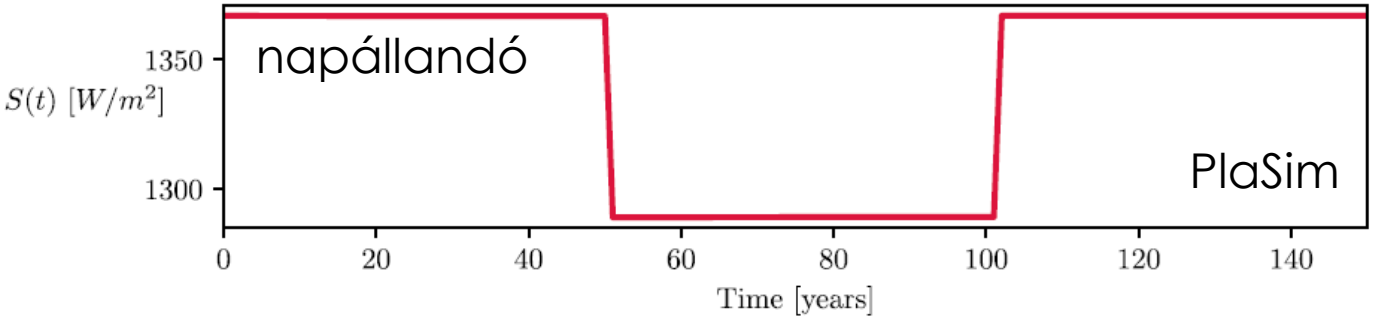


- a napállandó gyors csökkentésének, majd visszanövelésének hatására bizonyos paraméterérték-intervallumok esetén (csökkenés gyorsasága, plató hossza) a jelenlegi napállandó által megengedett ***mindkét stabil*** és ***az instabil állapotba*** is jutottak szimulációk:
  - jelenlegi éghajlat

B. Kaszás, T. Haszpra, M. Herein: The snowball Earth transition in a climate model with drifting parameters: Splitting of the snapshot attractor, Chaos **29**, 113102 (2019)

HÓGOLYÓ-FÖLD-ÁTMENET

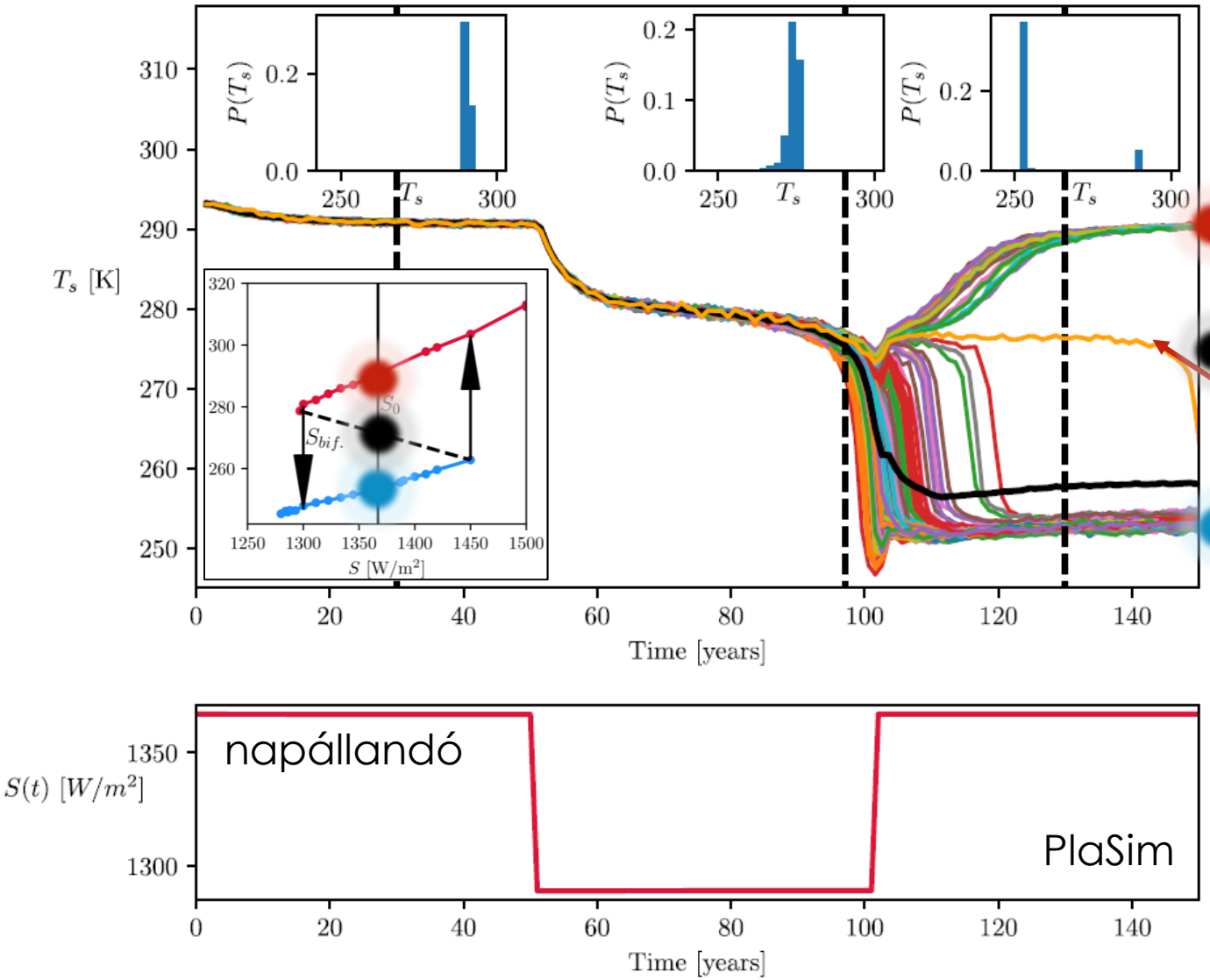




- a napállandó gyors csökkentésének, majd visszanövelésének hatására bizonyos paraméterérték-intervallumok esetén (csökkenés gyorsasága, plató hossza) a jelenlegi napállandó által megengedett ***mindkét stabil*** és ***az instabil állapotba*** is jutottak szimulációk:
  - jelenlegi éghajlat
  - peremállapot

B. Kaszás, T. Haszpra, M. Herein: The snowball Earth transition in a climate model with drifting parameters: Splitting of the snapshot attractor, Chaos **29**, 113102 (2019)

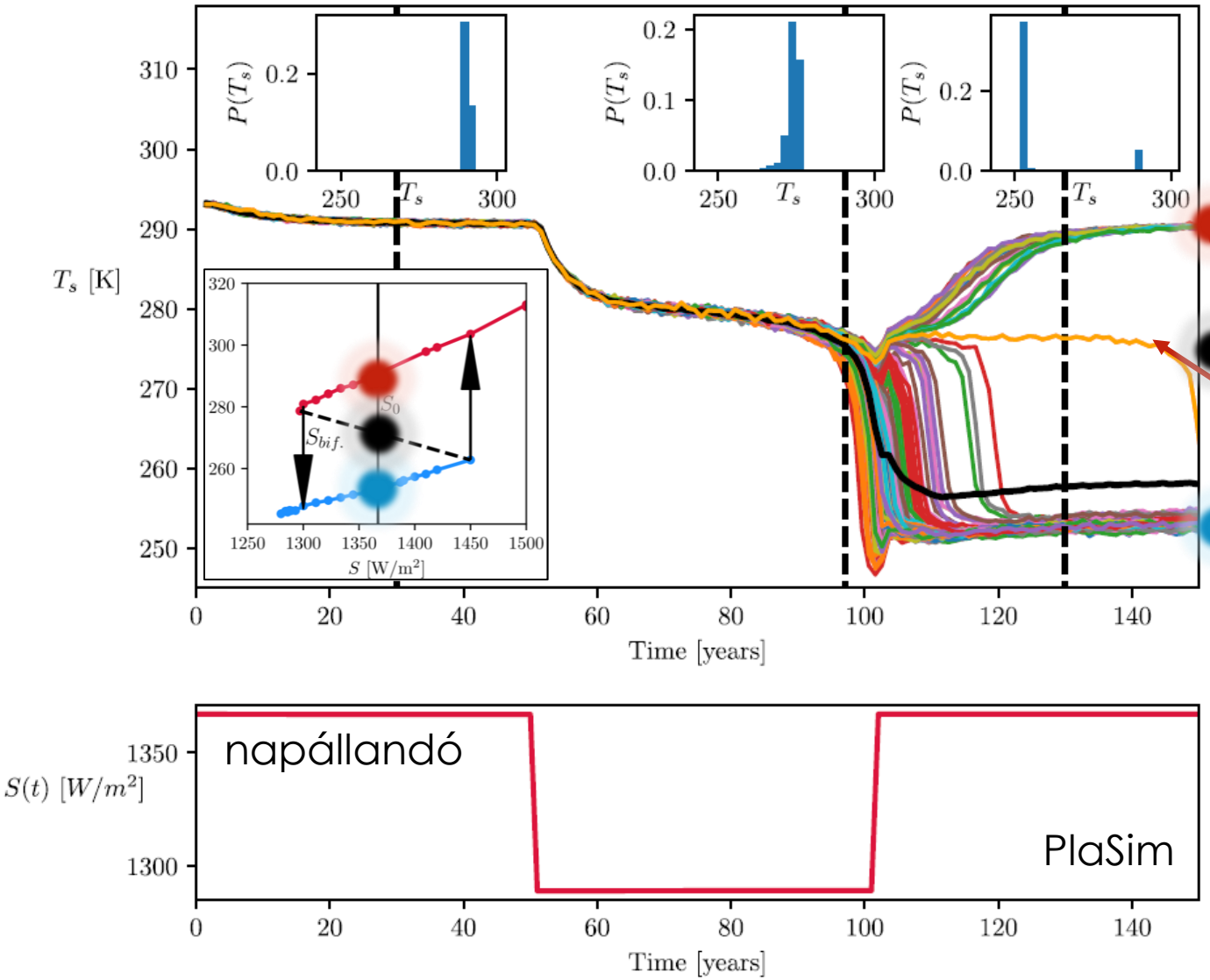
HÓGOLYÓ-FÖLD-ÁTMENET



- a napállandó gyors csökkentésének, majd visszanövelésének hatására bizonyos paraméterérték-intervallumok esetén (csökkenés gyorsasága, plató hossza) a jelenlegi napállandó által megengedett ***mindkét stabil*** és ***az instabil állapotba*** is jutottak szimulációk:
  - jelenlegi éghajlat
  - peremállapot
  - hógolyó-Föld (mindenütt hó és jég borítja a Földet)

B. Kaszás, T. Haszpra, M. Herein: The snowball Earth transition in a climate model with drifting parameters: Splitting of the snapshot attractor, Chaos **29**, 113102 (2019)

HÓGOLYÓ-FÖLD-ÁTMENET



- a napállandó gyors csökkentésének, majd visszanövelésének hatására bizonyos paraméterérték-intervallumok esetén (csökkenés gyorsasága, plató hossza) a jelenlegi napállandó által megengedett ***mindkét stabil*** és ***az instabil állapotba*** is jutottak szimulációk:
  - jelenlegi éghajlat
  - peremállapot
  - hógolyó-Föld (mindenütt hó és jég borítja a Földet)
- a ***snapshot-attraktor széthasad***

B. Kaszás, T. Haszpra, M. Herein: The snowball Earth transition in a climate model with drifting parameters: Splitting of the snapshot attractor, Chaos **29**, 113102 (2019)

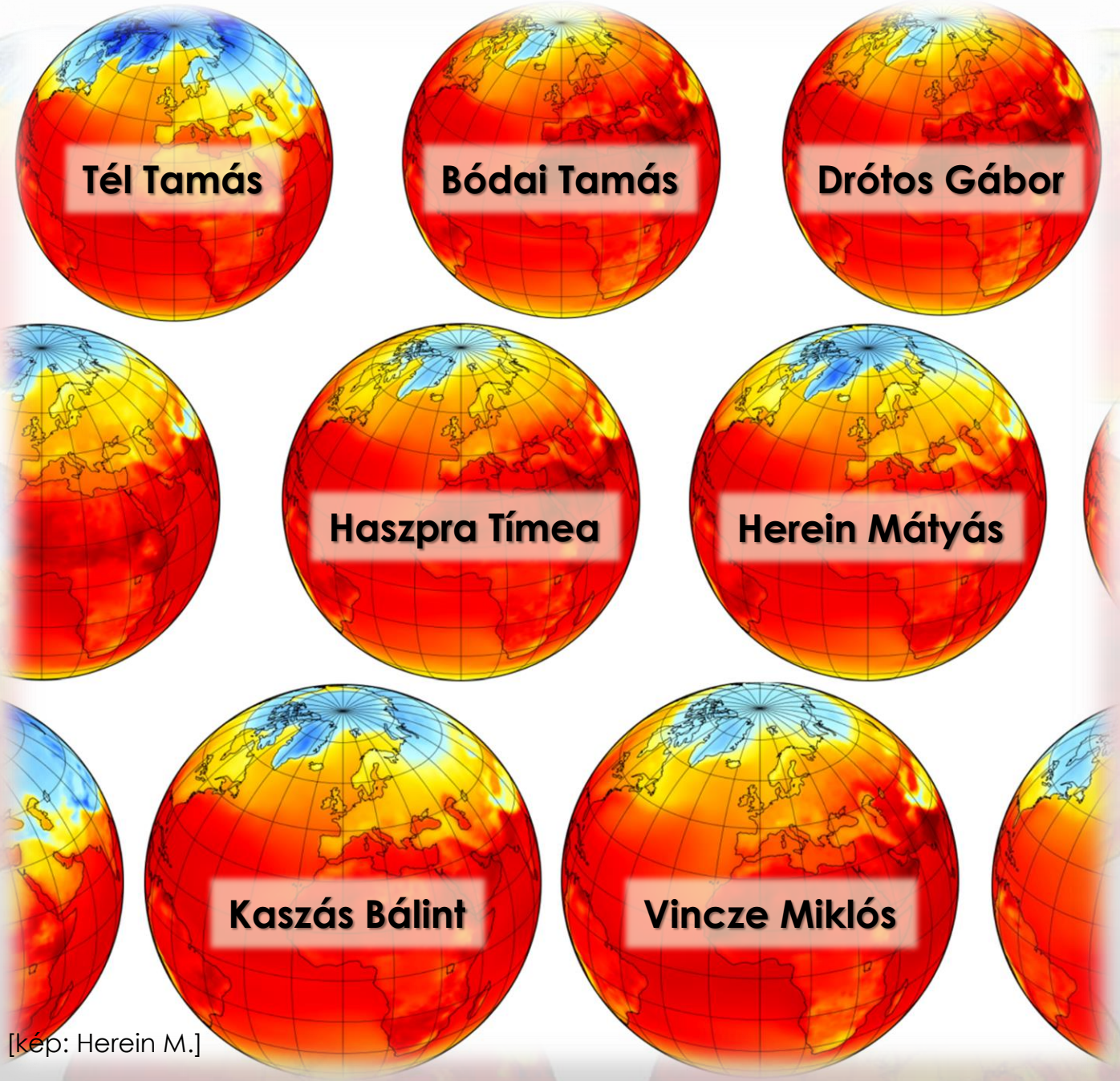
ÖSSZEFOGLALÓ, ÁTTEKINTŐ TANULMÁNYOK

T. Bódai, G. Drótos, T. Haszpra, M. Herein, J. Márfy, T. Tél: A párhuzamos földi klímák elmélete, Magyar Tudomány **2017/2**, 188-201 (2017)

G. Drótos, T. Bódai, and T. Tél: On the importance of the convergence to climate attractors, Eur. Phys. J. Special Topics **226**, 2031-2038 (2017)

T. Tél, T. Bódai, G. Drótos, T. Haszpra, M. Herein, B. Kaszás, M. Vincze: The theory of parallel climate realizations: A new framework of ensemble methods in a changing climate - an overview, J. Stat. Physics **179**, 1496–1530 (2020)

M. Herein, T. Tél, and T. Haszpra: Where are the coexisting parallel climates? Large ensemble climate projections from the point of view of chaos theory, Chaos **33**, 031104 (2023)



[kép: Herein M.]

Köszönöm szépen a figyelmet!