

MECHANIZMY KLIMATYCZNE

GLOBALNE OCIEPLENIE OKIEM FIZYKA

Szymon Malinowski

**Instytut Geofizyki
Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego**

Bilans energii



Do ZIEMI dociera krótkofalowe (gł. widzialne) promieniowanie termiczne SŁOŃCA. Ziemia odbija część tego promieniowania, resztę pochłania.

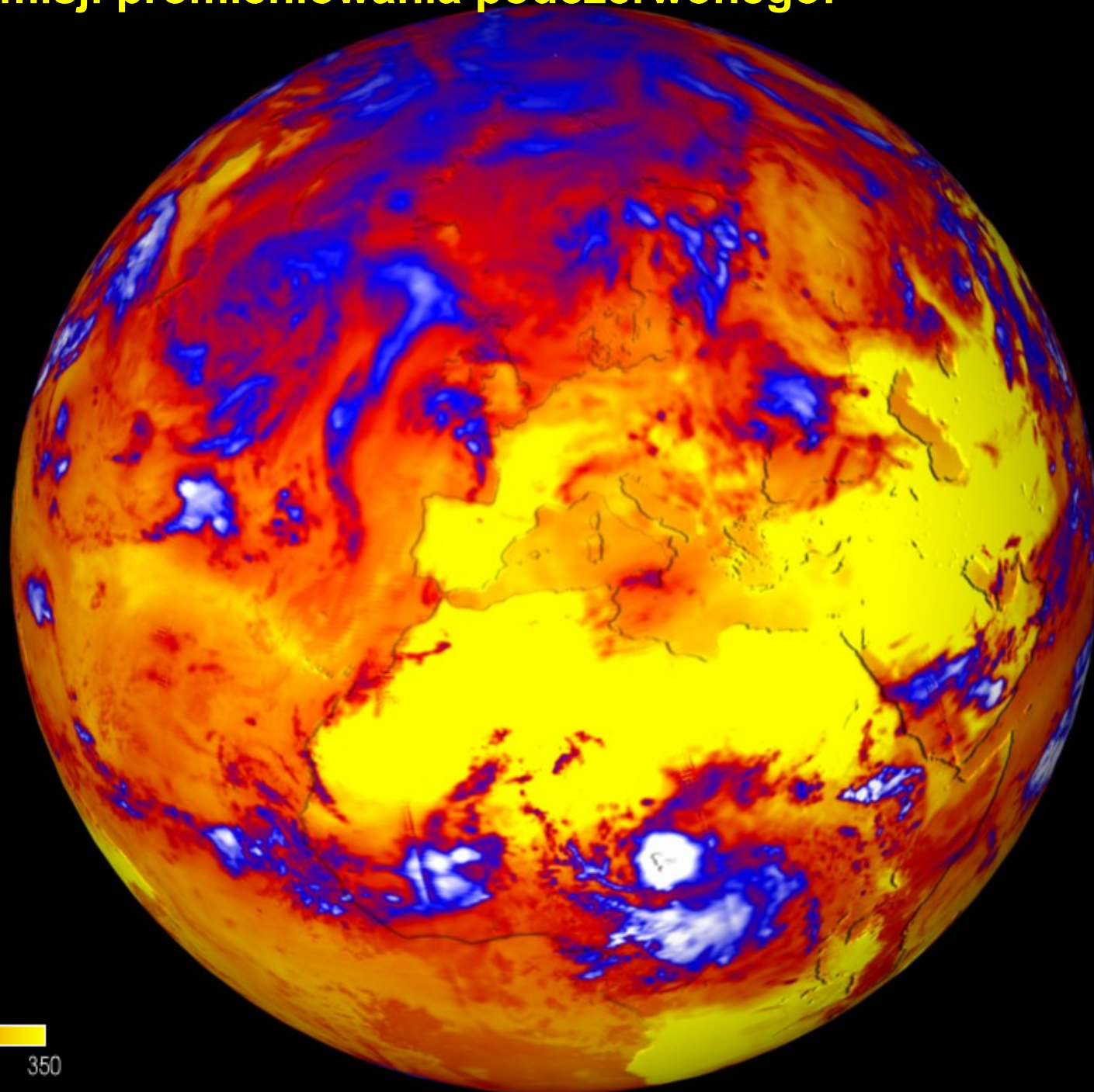
Energia pochłoniętego promieniowania powoduje wzrost temperatury (efektywnej) planety. Ogrzana ZIEMIA emituje promieniowanie termiczne w podczerwieni.

W stanie (quasi)równowagi bilans jest zachowany – ZIEMIA pochłania tyle samo co emituje, temperatura jest stała. Ale czy mamy ten stan?

Satelitarne dane o emisji promieniowania podczerwonego: 04-08-2003

Ogrzana ZIEMIA
emituje
promieniowanie
termiczne w
podczerwieni.

W stanie
(quasi)równowagi
bilans jest
zachowany –
ZIEMIA pochłania
tyle samo co
emituje,
temperatura jest
stała.



Emitted Heat Radiation (W/m^2)

85

350

Plamy na Słońcu

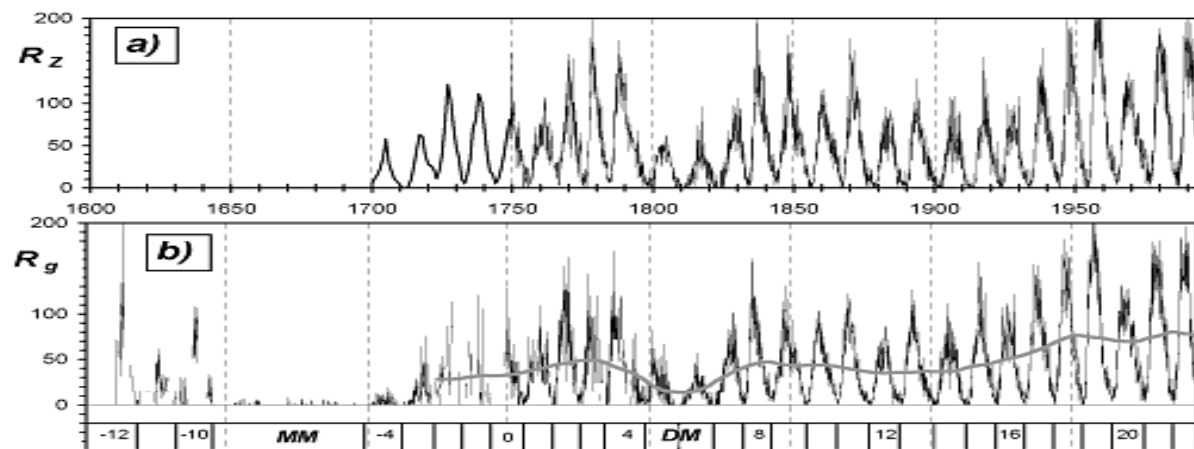


Figure 1: Sunspot numbers since 1610. a) Monthly (since 1749) and yearly (1700 – 1749) Wolf sunspot number series. b) Monthly group sunspot number series. The grey line presents the 11-year running mean after the Maunder minimum. Standard (Zürich) cycle numbering as well as the Maunder minimum (MM) and Dalton minimum (DM) are shown in the lower panel.

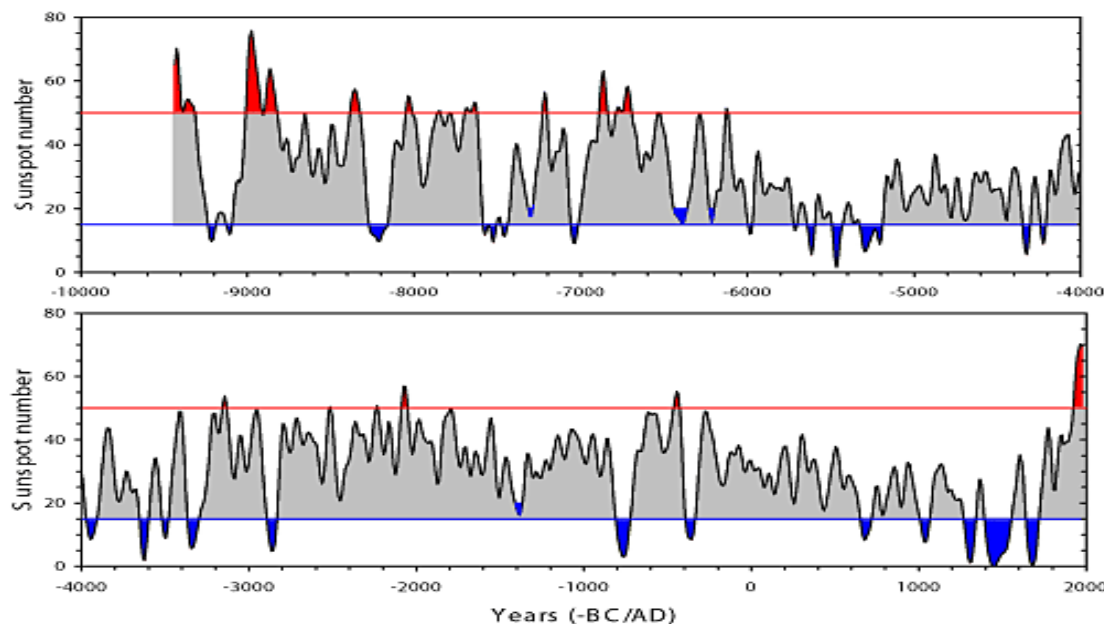


Figure 17: Sunspot activity (over decades, smoothed with a 12221 filter) throughout the Holocene, reconstructed from ^{14}C by Usoskin *et al.* (2007) using geomagnetic data by Yang *et al.* (2000). Blue and red areas denote grand minima and maxima, respectively.]



Ich liczba bardzo się zmienia!
 Ilustracje za pracą:
 I.G. Usoskin "A History
 of Solar Activity over
 Millennia"

<http://www.livingreviews.org/lrsp-2008-3>

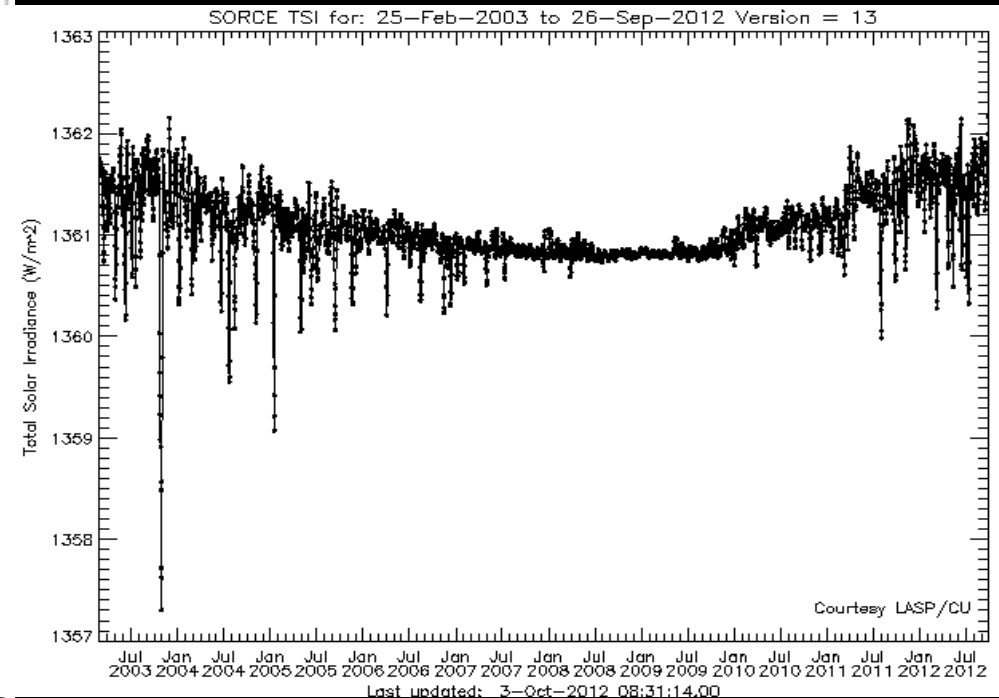
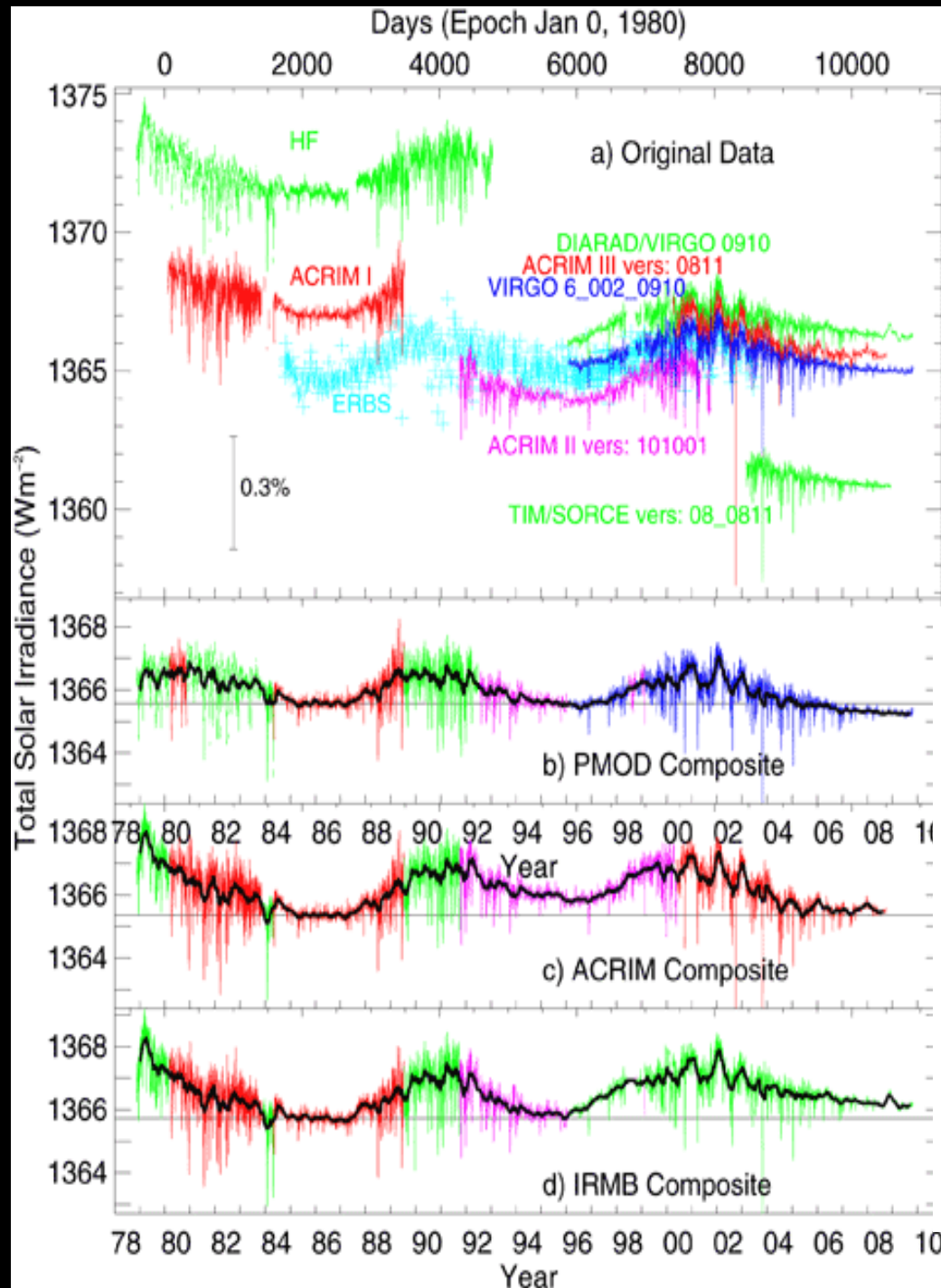
Jak plamy mają się do strumienia energii docierającej od Słońca?

Mimo znacznych fluktuacji liczby plam na Słońcu strumień energii jaki dociera do Ziemi zmienia się nieznacznie.

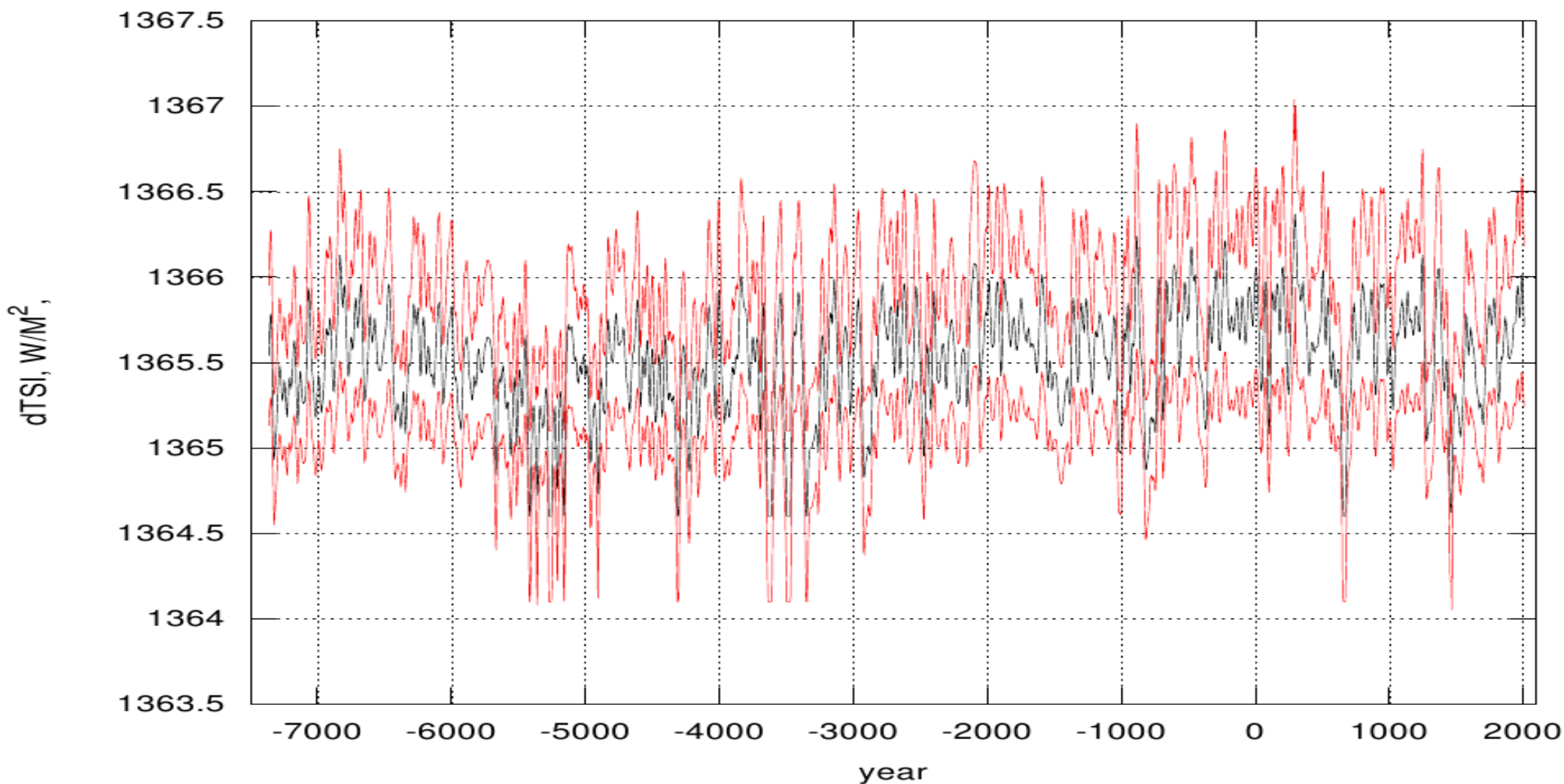
<http://www.pmodwrc.ch/pmod.php?topic=tsi/composite/SolarConstant>

The Solar Radiation and Climate Experiment (SORCE):

<http://lasp.colorado.edu/sorce/index.htm>



Rekonstrukcja (na podstawie badań izotopowych) zmian stałej słonecznej (strumienia energii słonecznej docierającej do powierzchni Ziemi) w holocenie.



NAME OF DATA SET: Holocene Total Solar Irradiance Reconstruction
CONTRIBUTORS: Steinhilber, F., J. Beer, and C. Fröhlich.
<http://lwf.ncdc.noaa.gov/paleo/metadata/noaa-forcing-8744.html>

LAST UPDATE: 11/2009 (Original Receipt by WDC Paleo)
IGBP PAGES/WDCA CONTRIBUTION SERIES NUMBER: 2009-133

Jak fluktuacje w dopływie energii słonecznej wpływają na temperaturę efektywną Ziemi?

Temperatura efektywna planety:

- planeta o promieniu R oświetlona strumieniem promieniowania S W/m²;
- albedo planety wynosi A .

Całkowita energia E_s jaką otrzymuje planeta wynosi:

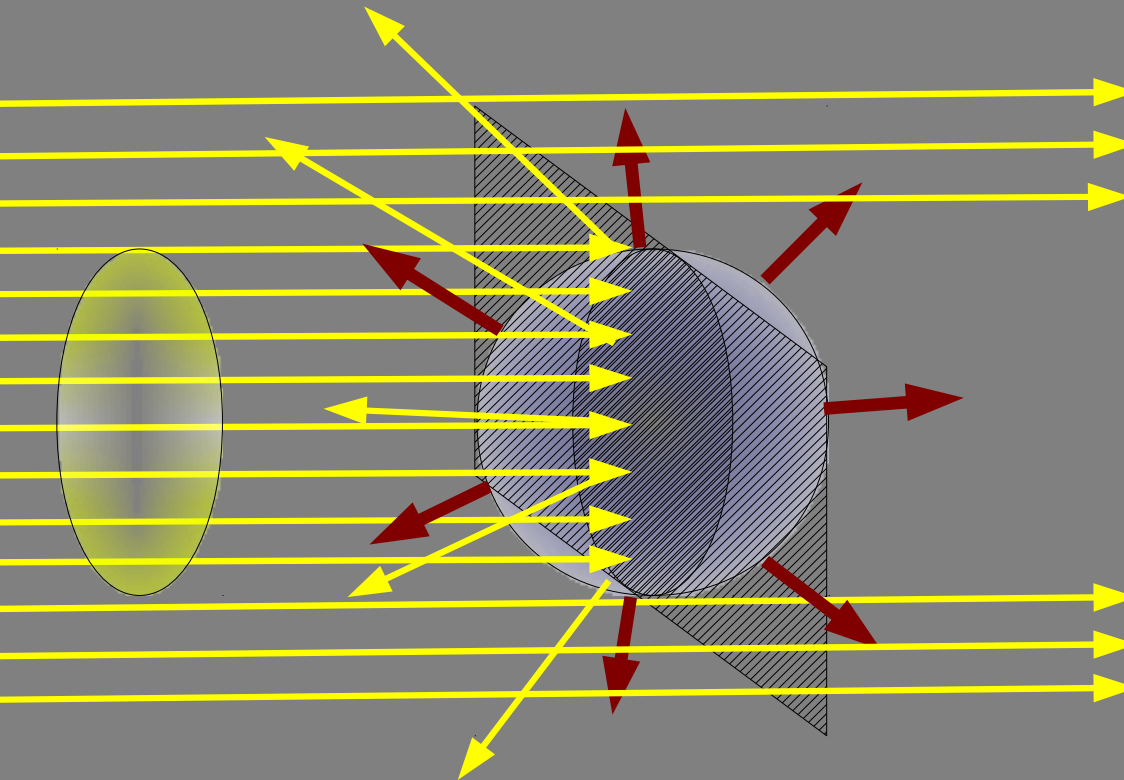
$$E_s = (1-A)S\pi R^2.$$

Całkowita energia E_p jaką planeta o temperaturze T_E wypromieniowuje w kosmos wynosi:

$$E_p = 4\pi R^2 \sigma T_E^4.$$

W stanie równowagi $E_s = E_p$ co daje:

$$(1-A)S/4 = \sigma T_E^4.$$

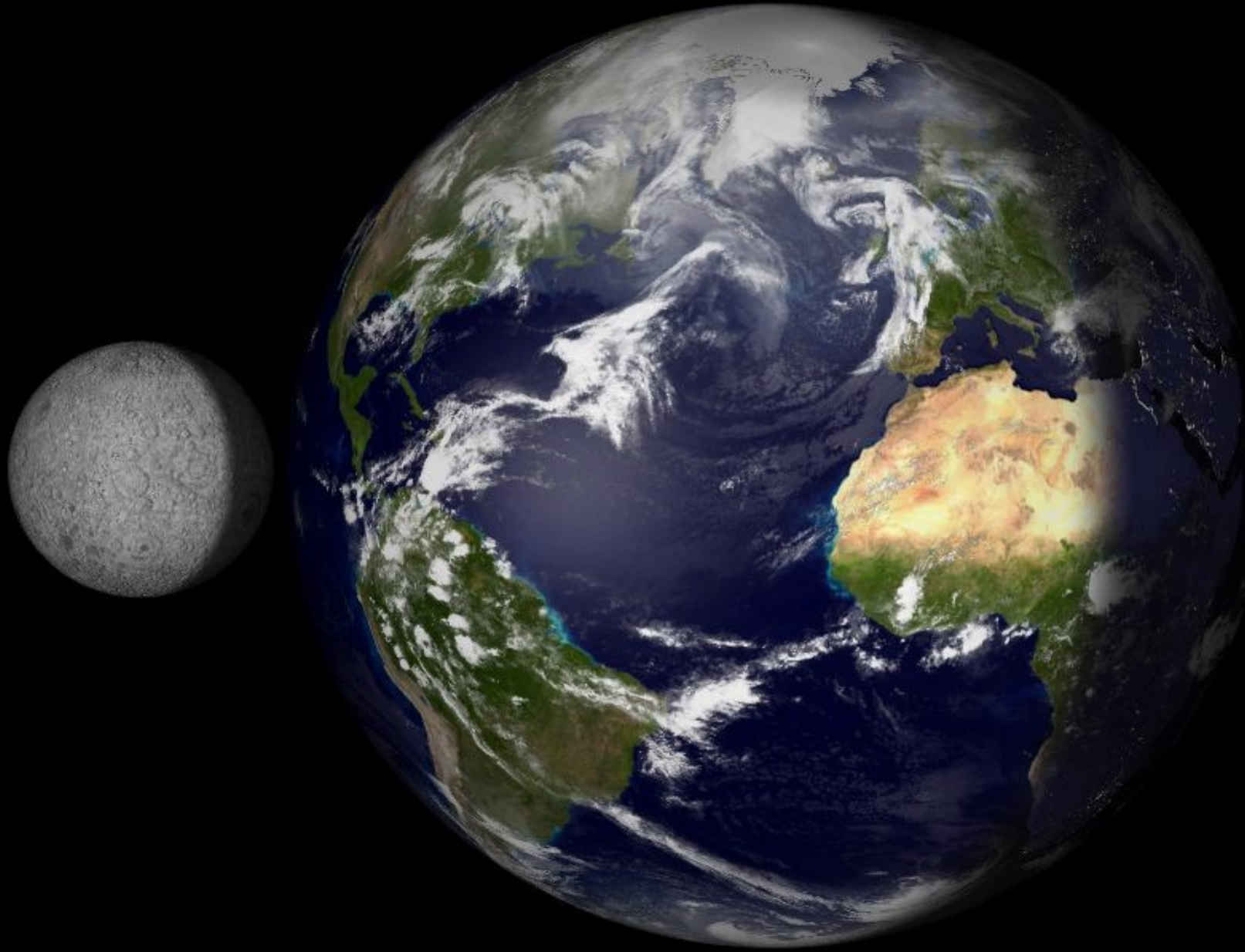


Stąd temperatura efektywna planety wynosi:

$$T_E = \sqrt[4]{\frac{(1-A)S}{4\sigma}}$$

Co dla $S=1365\pm 1$ W/m² oraz $A=0.3$
daje $T_E=254.82\pm 0.05$ K

Looking at Earth from Mars
Wed Apr 21 16:54:05 2004 GMT
obs 24.4 N 24.5 W
sun 12.2 N 73.8 W
fov 4.7 arc minutes
dist 313.6 million km
illumination 83.4 %

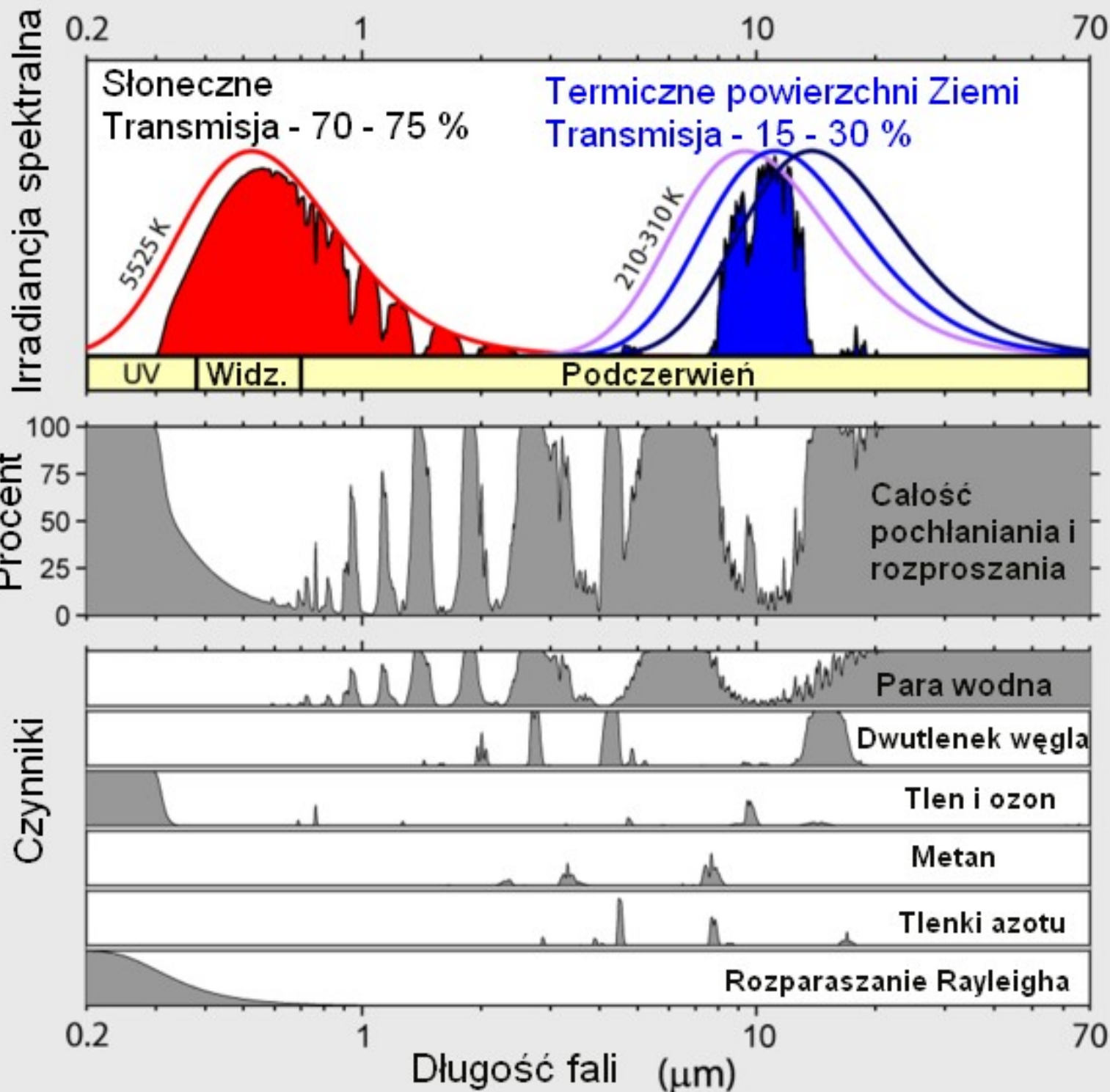


Jednostka powierzchni każdego z tych ciał średnio otrzymuje od Słońca tyle samo energii. Czy warunki na powierzchni są takie same?



Ziemia posiada cieką
warstwę atmosfery,
która oddziałuje z
promieniowaniem
słonecznym i
emitowanym z
powierzchni,
i która sama promieniuje
w obszarze
podczerwieni.

Promieniowanie przechodzące przez atmosferę

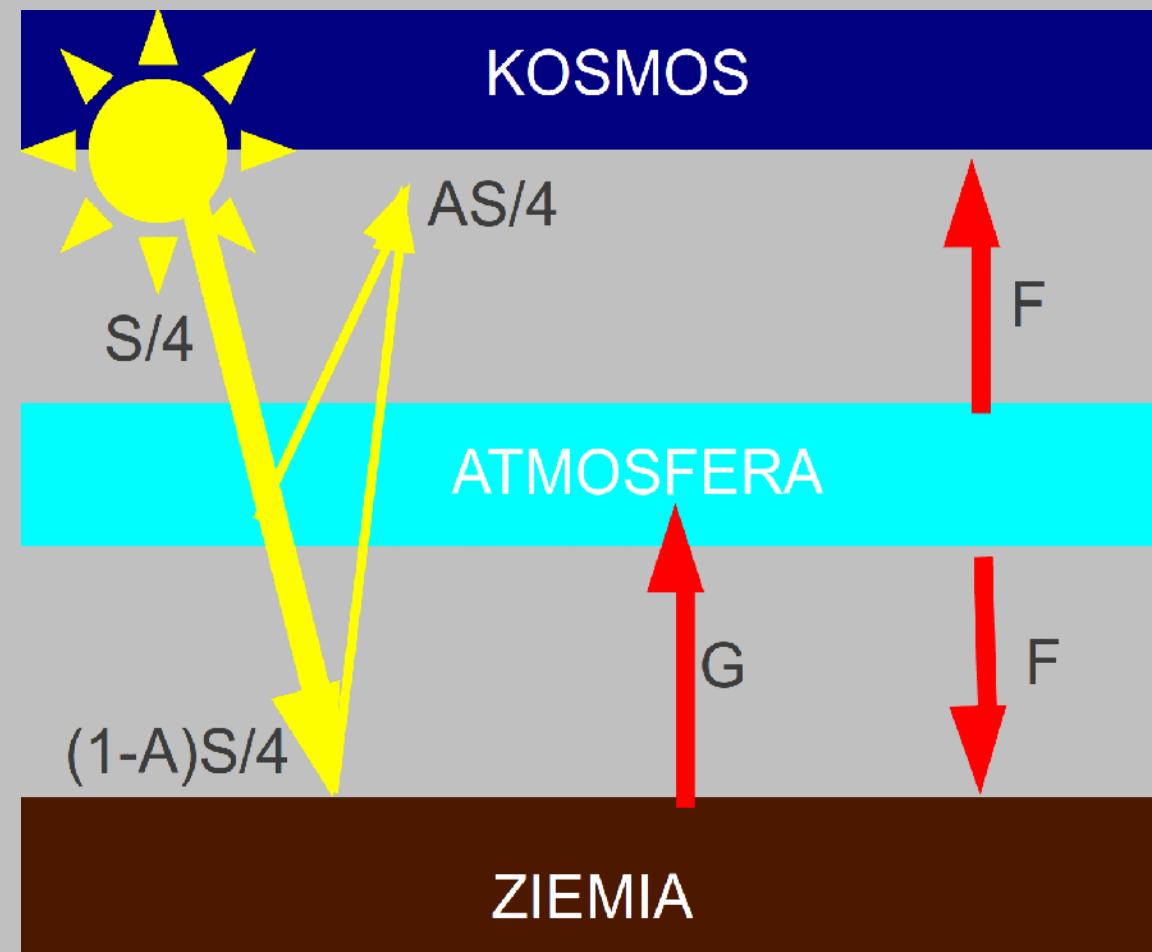


Promieniowanie słoneczne (krótkofalowe) i podczerwone (długofalowe) w atmosferze ziemskiej.

Pochłanianie i rozpraszanie promieniowania przez wybrane składniki atmosfery.

Efekt cieplarniany – model szyby – proste wyliczenia

Nad powierzchnią planety zalega “szyba” przezroczysta dla promieniowania słonecznego, nieprzezroczysta dla promieniowania emitowanego z powierzchni planety, wtedy:



$$F = (1-A)S/4,$$

$$G = (1-A)S/4 + F$$

stąd:

$$G = 2(1-A)S/4.$$

Jeśli zauważymy, że emisja z powierzchni ziemi zależy od jej temperatury:

$$G = \sigma T_G^4 = 2(1-A)S/4 = 2\sigma T_E^4$$

Mamy : $T_G = \sqrt[4]{2} T_E$

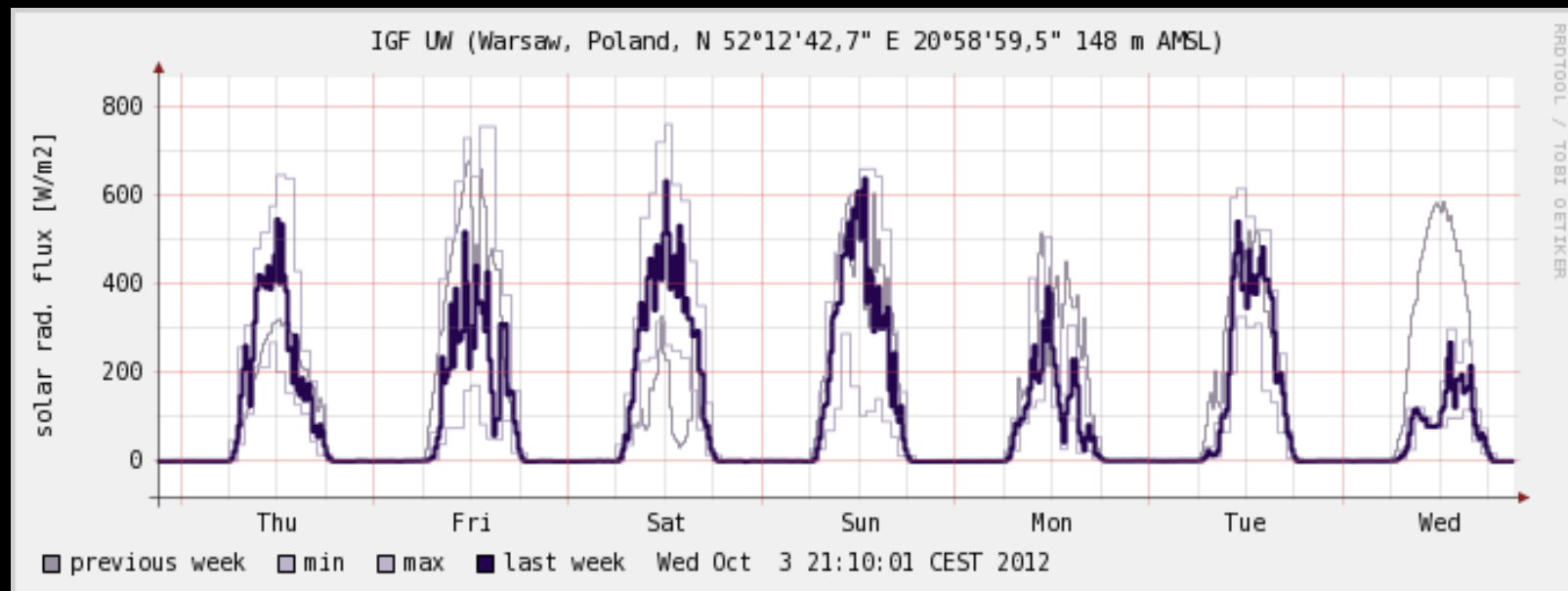
Dla N warstw absorbujących dostaniemy: $T_G = \sqrt[4]{N+1} T_E$

**Planety typu ziemskiego:
ilustracja znaczenia strumienia energii słonecznej, albedo i efektu cieplarnianego**

	Wenus	Ziemia	Mars
odległość od Słońca (A.U.)	0.72	1	1.52
strumień energii (stała słoneczna), W/m2	2643	1370	593
albedo	0.8	0.3	0.22
temperatura efektywna, K	220	255	212
temperatura powierzchni, K	730	288	218
Różnica (efekt cieplarniany), K	510	33	5

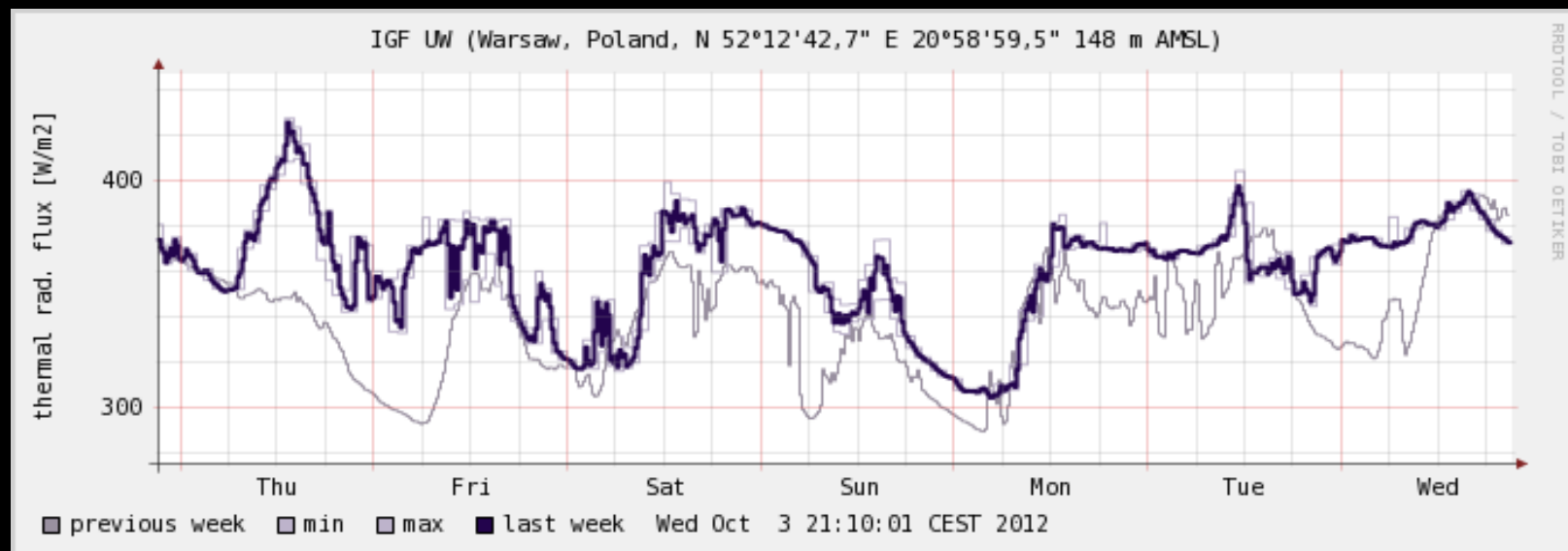
Energia słoneczna

Pomiary
strumienia
SW
(promieniowania
krótkofalowego)
przy powierzchni
Ziemi



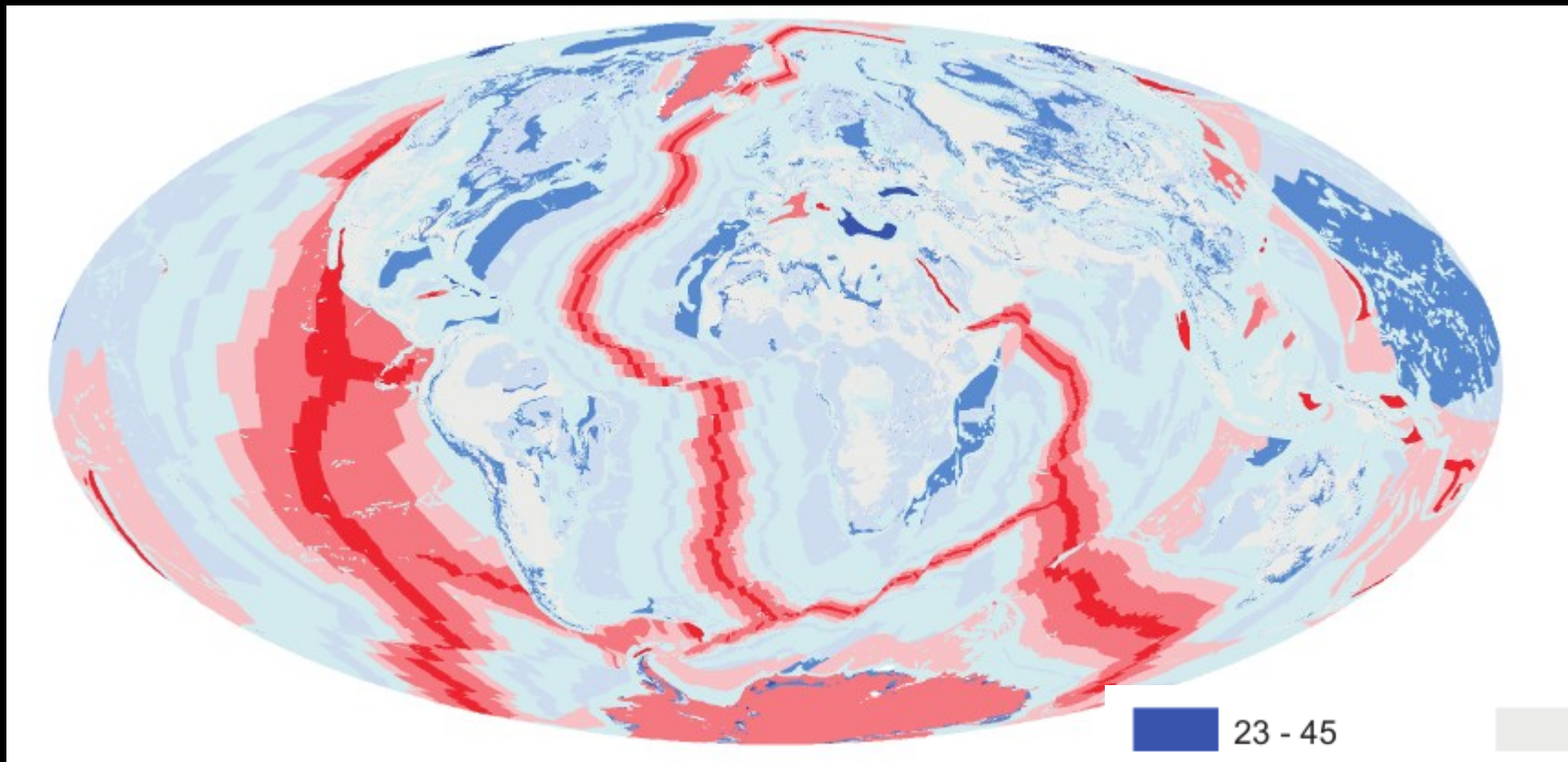
Energia promieniowania zwrotnego atmosfery – efekt cieplarniany

Pomiary
strumienia
LW
(promieniowania
podczerwonego)
przy powierzchni
Ziemi.



metobs.igf.fuw.edu.pl

Energia geotermalna



Strumień ciepła pochodzącego z wnętrza Ziemi w mW/m^2 ($\text{mW}=1/1000\text{W}$)

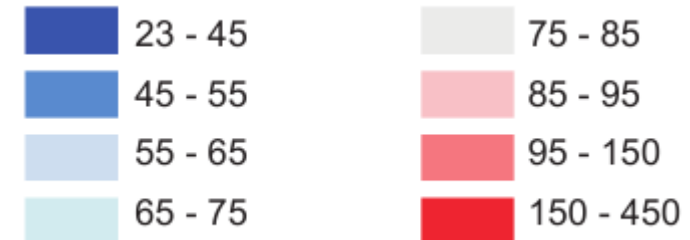


Table 7. Summary of continental and oceanic heat flow from our preferred estimates.

	Area (m^2)	Heat Flow (TW)	Mean Heat Flow (mW m^{-2})
Continent	2.073×10^{14}	14.7	70.9
Ocean	3.028×10^{14}	31.9	105.4
Global Total	5.101×10^{14}	46.7	91.6

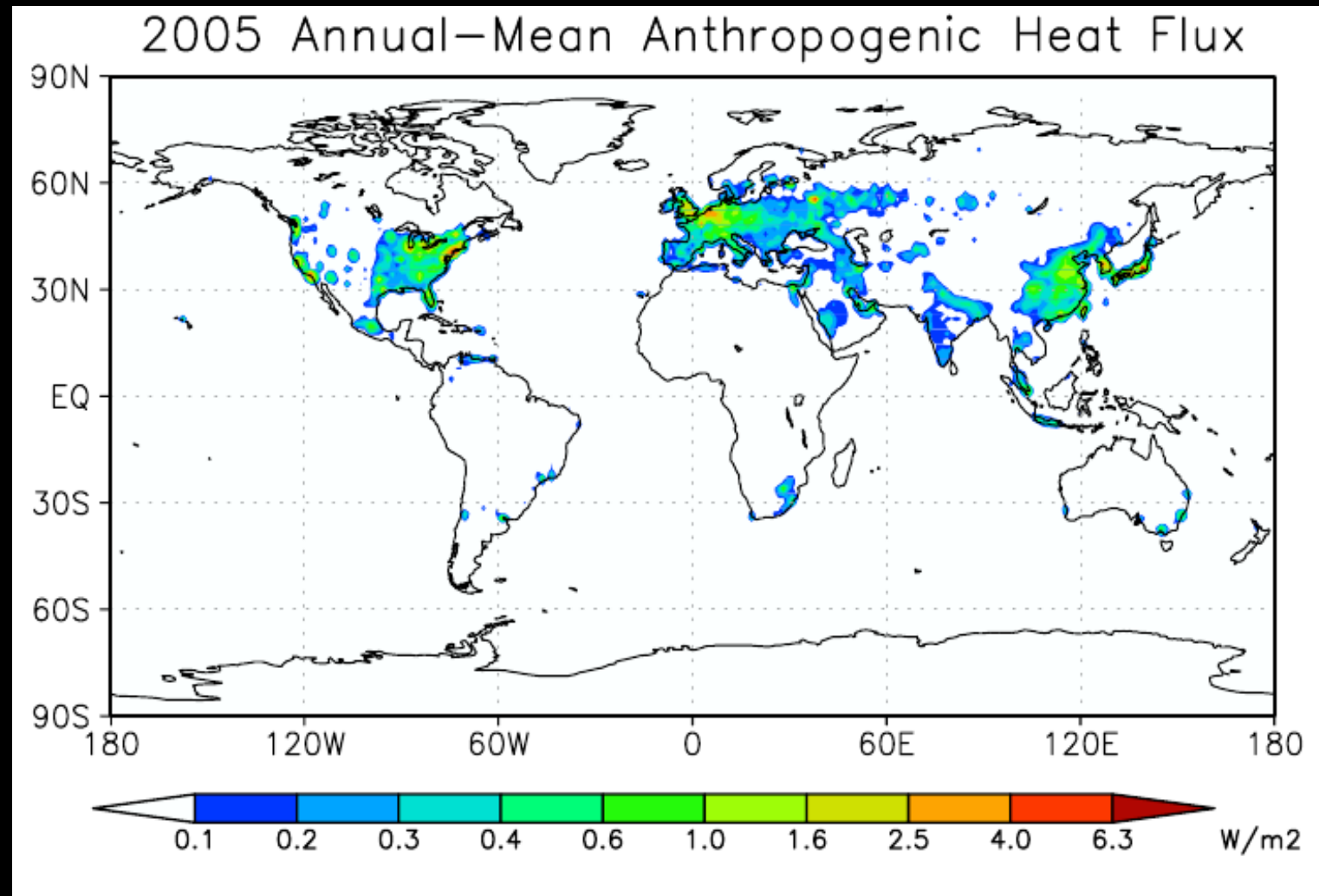
Davies, J. H., D. R. Davies. 2010. Earth's surface heat flux. *Solid Earth* 1, no. 1: 5-24.

Antropogeniczny strumień ciepła – jak bezpośrednio podgrzewamy atmosferę.

Dane z 2005
roku:

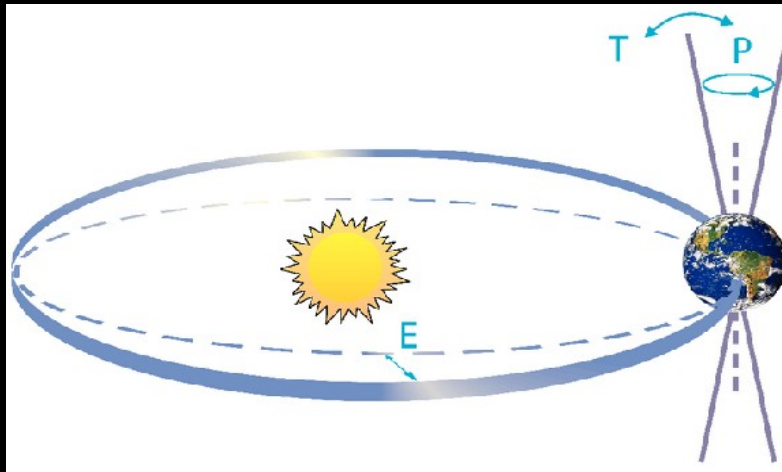
średnia
globalna
 28mW/m^2

średnia
europejska
 680mW/m^2



Flanner, M. G. (2009) Integrating anthropogenic heat flux with global climate models, *Geophys. Res. Lett.*, 36, L02801

Zmiany w dopływie energii słonecznej wskutek zmian orbitalnych



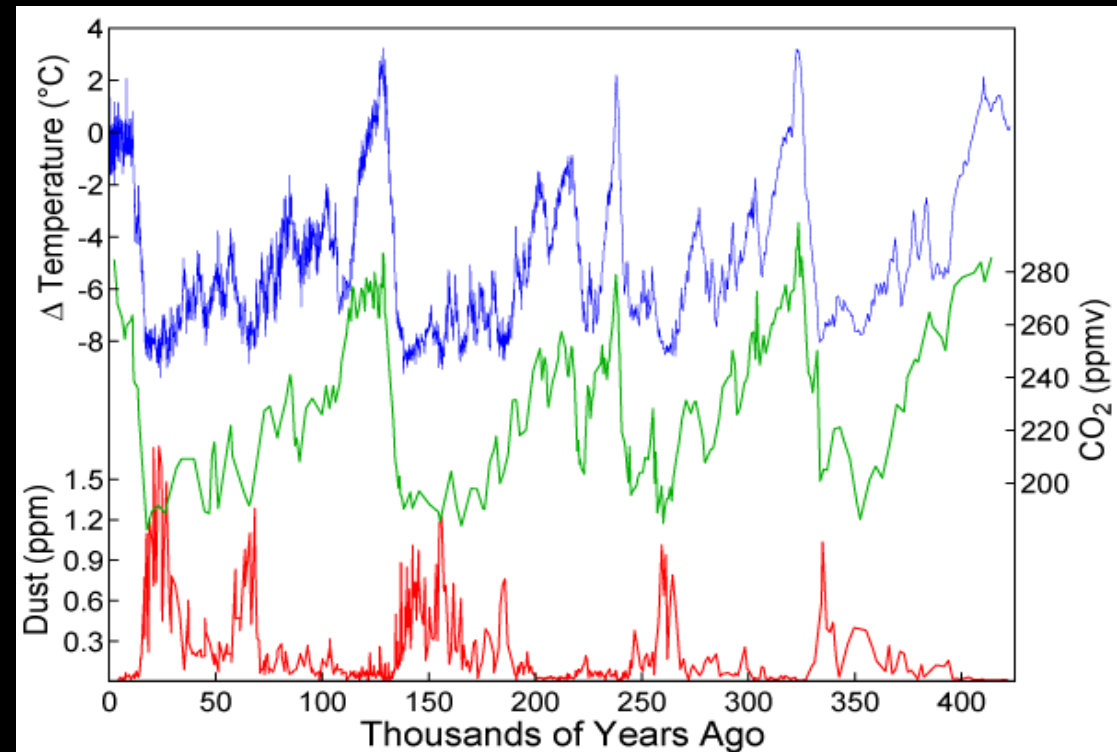
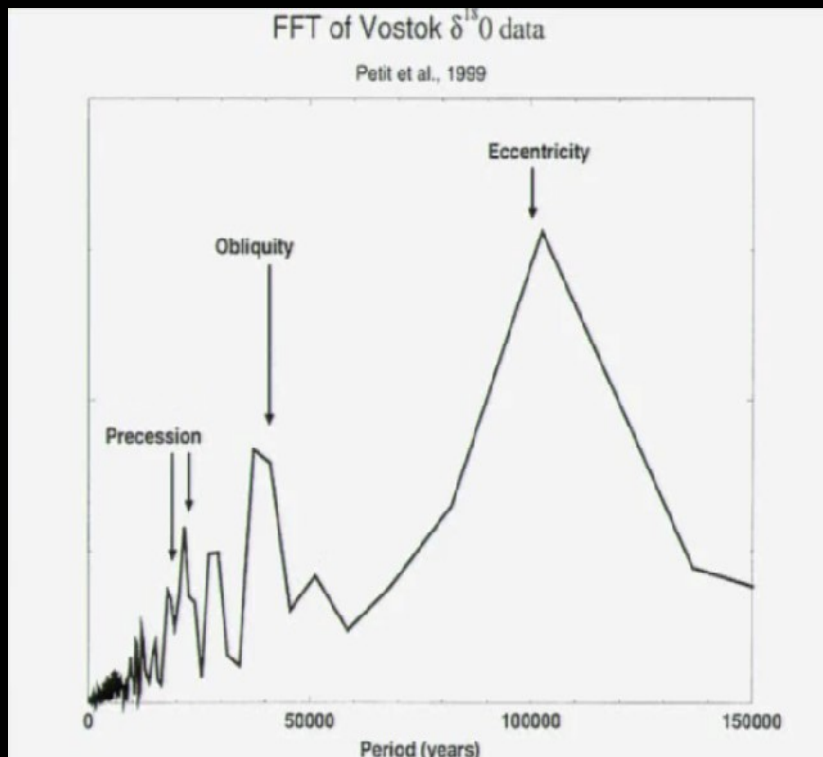
Cykle Milankovicha:

‘T’ zmiany nachylenia osi Ziemi (obliquity)

‘E’ zmiany ekscentryczności orbity

‘P’ precesja [Rahmstorf and Schellnhuber \(2006\)](#)

i zapisy z rdzeni lodowych na Antarktydzie (Vostok)



Jak działa mechanizm epok lodowcowych (w uproszczeniu!)?

Glacjał:

- 1) Przy minimalnych fluktuacjach stałej słonecznej zmiana ekscentryczności orbity powoduje wychłodzenie lądów Arktyki i akumulację lodu → wzrost albedo (także zmiany szaty roślinnej i.t.d.).
- 2) Rosnąca powłoka lodowa, zmiana stratyfikacji stabilnej oceanu, zmiany biologiczne powodują zmniejszenie emisji CO₂ do atmosfery wskutek czego spada zawartość CO₂ w atmosferze i zmniejsza się efekt cieplarniany.
(np. wykład Richarda Alleya http://www.agu.org/meetings/fm09/lectures/lecture_videos/A23A.shtml)

Interglacjał:

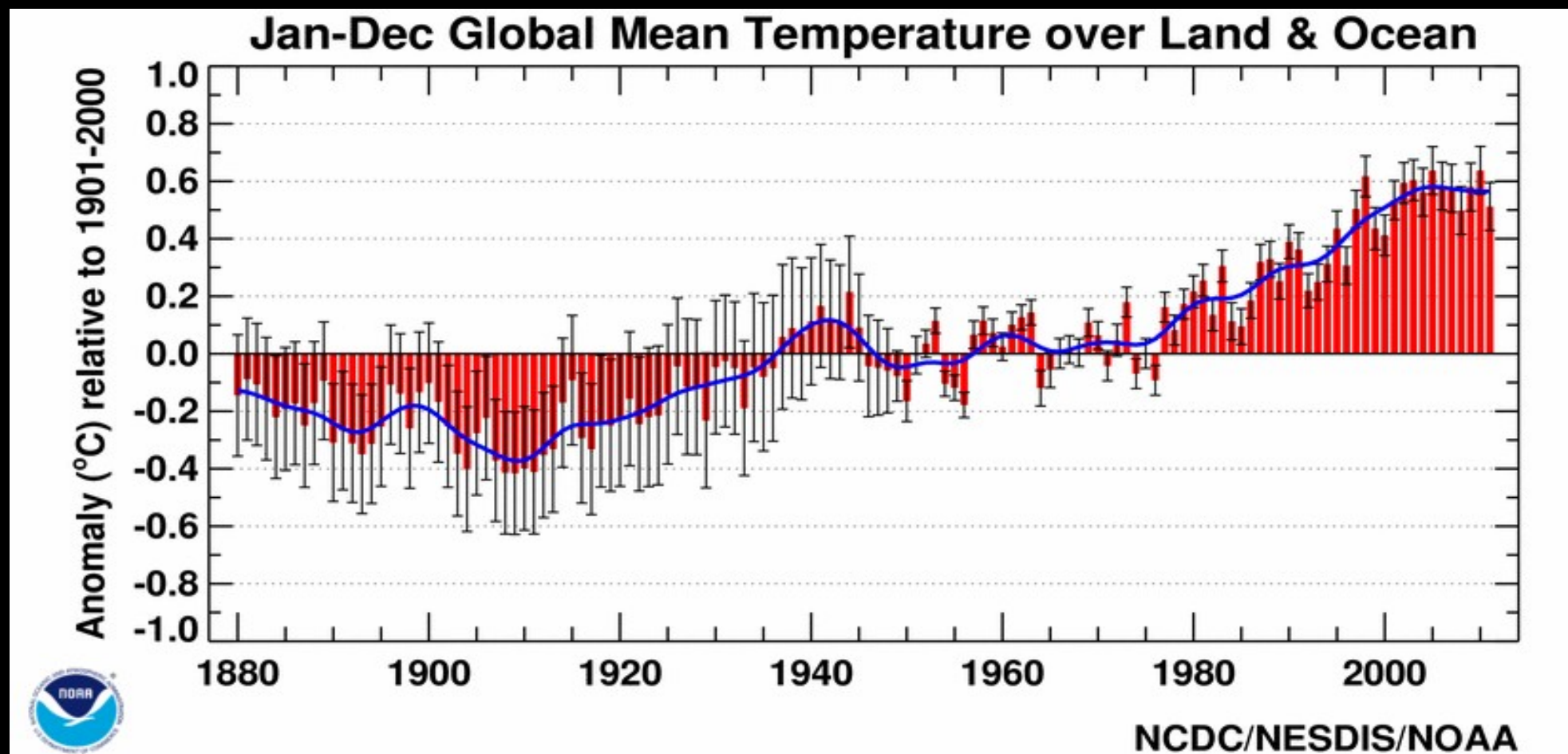
- 3) Za koniec epok lodowych odpowiada zmiana nachylenia osi / precesji przy odpowiednim stanie ekscentryczności → topnienie lodu na biegunach.
- 4) Zmiany w cyrkulacji oceanicznej i monsunowej powodują zwiększoną emisję CO₂ z oceanów, rośnie efekt cieplarniany.
(np. Huybers i Wunsch, 2005, Cheng i inni, 2009)

W tych wypadkach CO₂ nie jest przyczyną zmian, natomiast wymiana CO₂ z oceanem jest dodatnim sprzężeniem zwrotnym, wpływającym na amplitudę zmian. Skala czasowa tych zmian jest stosunkowo wolna, wymuszenia orbitalne mają skalę dziesiątek tysięcy lat a skala czasowa naturalnych fluktuacji CO₂ związana z cyklami oceanicznymi i biogeochemicznymi jest rzędu 1000 lat.

http://pl.wikipedia.org/wiki/Globalne_ocieplenie

Globalne ocieplenie – obserwowane od połowy XX wieku podwyższenie średniej temperatury atmosfery przy powierzchni ziemi i oceanów oraz przewidywane ocieplenie w przyszłości.

Istotą problemu związanego z wyjaśnieniem globalnego ocieplenia jest ustalenie w jakim stopniu na to zjawisko wpływa działalność człowieka, a w jakim czynniki naturalne.



<http://www.ncdc.noaa.gov/cmb-faq/anomalies.php>

Badając aktualną sytuację mamy do czynienia z przypadkiem w którym i skale czasowe zmian są znacznie krótsze – brak wymuszeń orbitalnych.

Przy **niemal stałym dopływie energii** słonecznej do układu Ziemia-Atmosfera, na zawartość energii wewnętrznej w układzie mają wpływ zmiany:

- **albedo** (kontroluje ułamek energii pierwotnej która wraca bezpośrednio w kosmos);
- „**izolacja**” czyli **efekt cieplarniany** – kontroluje ucieczkę energii w kosmos w postaci promieniowania termicznego i strumień energii promieniowania zwrotnego.

Ważne są jeszcze różne **ZBIORNIKI ENERGII** wewnątrz układu Ziemia-Atmosfera oraz **mechanizmy transferu energii między tymi ZBIORNIKAMI**.

Przykładowe zbiorniki energii (ciepła) – wody oceaniczne, masy powietrza, gleba.

Mechanizmy transferu: prądy morskie, cyrkulacje atmosferyczne, cykl hydrologiczny (maszyna parowa ZIEMI!!!).

KLIMAT to skomplikowana MASZYNA CIEPLNA.

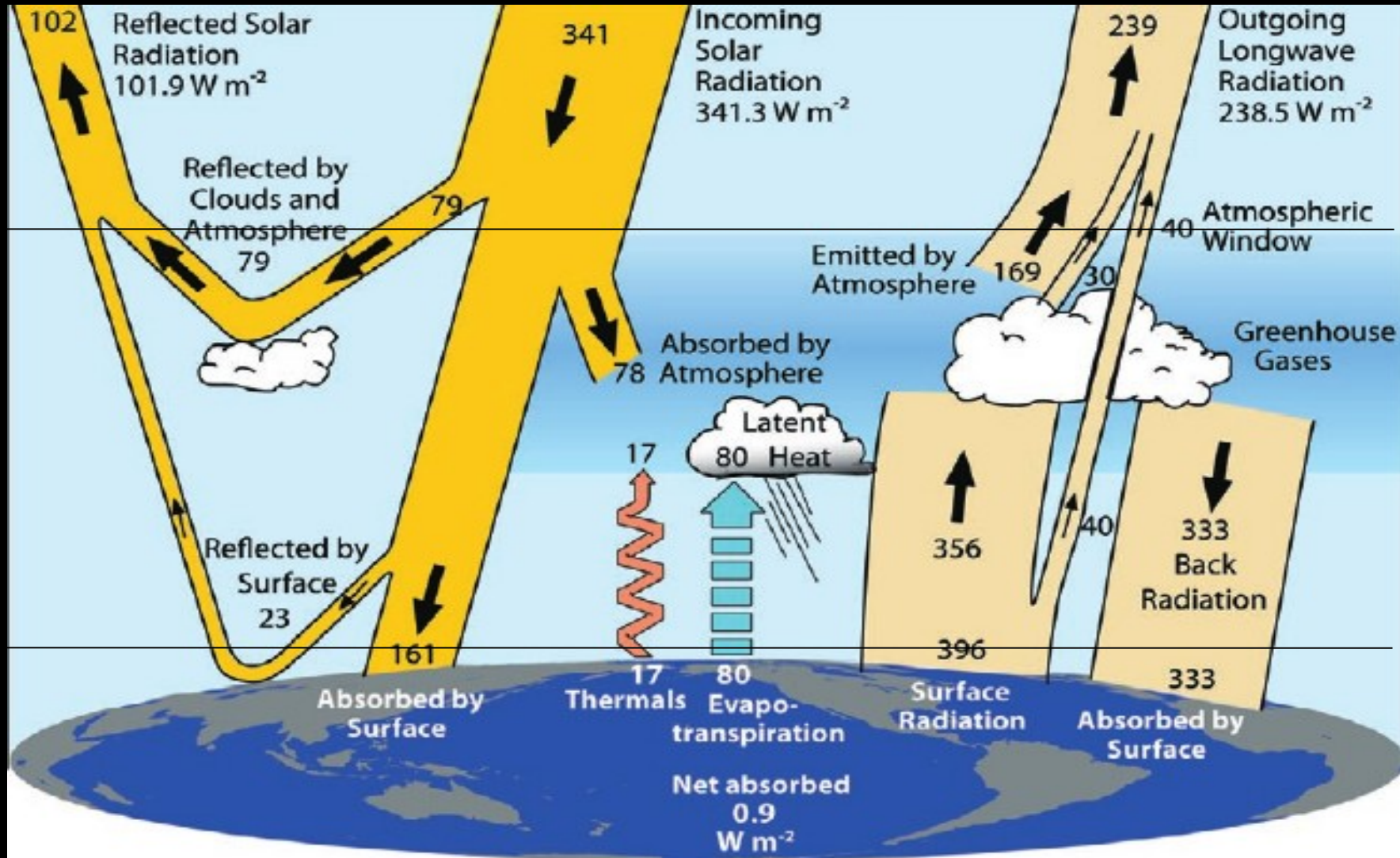
Jak naprawdę wyglądają strumienie energii w układzie?

BILANS ENERGII UKŁADU ZIEMIA – ATMOSFERA – PRZESTRZEŃ KOSMICZNA w okresie 03/2000-05/2004 na podstawie danych satelitarnych, z wykorzystaniem GCM.

KOSMOS

ATMO-
SFERA

POWIERZ-
-CHNIA
ZIEMI



Trenberth, K.E., J.T. Fasullo, and J. Kiehl, 2009: Earth's Global Energy Budget. Bull. Amer. Meteor. Soc., 90, 311–323.

Brak równowagi: $0.9 \pm 0.15 \text{ W/m}^2$

Układ Ziemia-Atmosfera dostaje więcej energii niż emituje.

Z zasady zachowania energii wynika, że ta energia musi

GROMADZIĆ SIĘ W UKŁADZIE!!!

Pytania: czy możemy zaobserwować gdzie się gromadzi?

Czy możemy udowodnić, jaki mechanizm fizyczny powoduje że mamy stan nierównowagi?

Przecież układy termodynamiczne dążą do równowagi!

Coś musi tę nierównowagę wymuszać!!!

Kilka podstawowych informacji o systemie klimatycznym:

- 1) masa atmosfery odpowiada 10m słupa wody, ciepło właściwe powietrza $C_p=1004\text{J/kg}\cdot\text{K}$;
- 2) oceany pokrywają 71% powierzchni globu, średnia głębokość oceanu to ok. 3950m, średnia warstwa wody w skali globu to ok. 2800m, ciepło właściwe wody $C_w=4192\text{J/kg}\cdot\text{K}$;
- 3) albedo oceanu jest bliskie 0, promieniowanie jest pochłaniane w warstwie kilkudziesięciu metrów;
- 4) powierzchniowa warstwa oceanu oddzielona jest od głębi warstwą termokliny/halokliny, która praktycznie hamuje mieszanie. Transport ciepła i CO_2 w głąb / do powierzchni odbywa się w kilku specyficznych rejonach globu (upwelling, cyrkulacja termohalinowa);
- 5) albedo gruntu jest zmienne, z promieniowaniem reaguje bardzo cienka warstwa gruntu, przewodnictwo w głąb jest minimalne.

ARGO: pomiary profili temperatury i zasolenia wód oceanicznych.

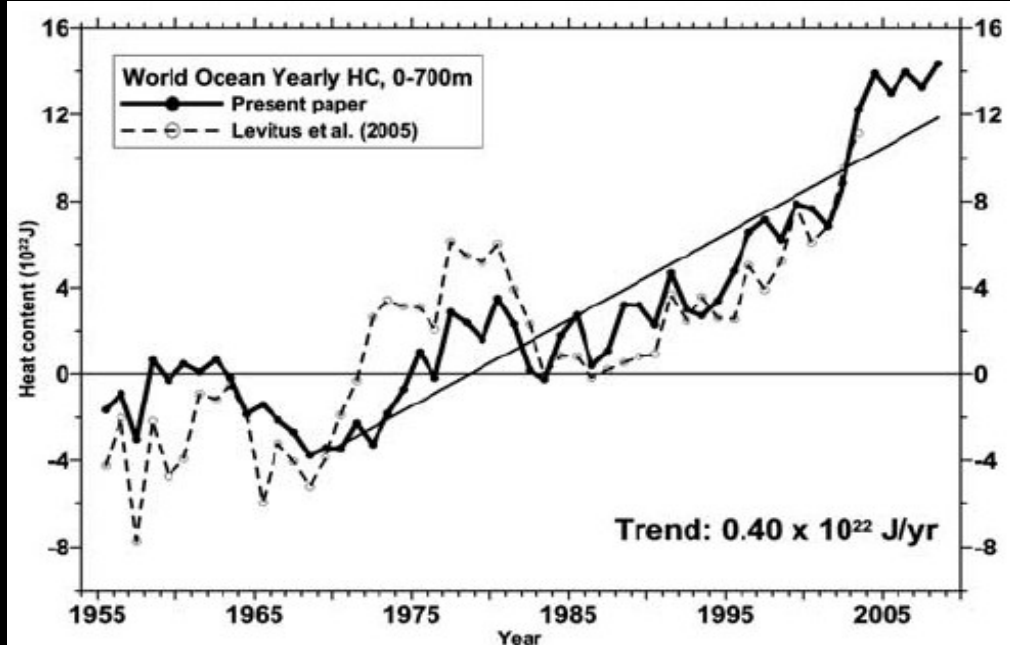
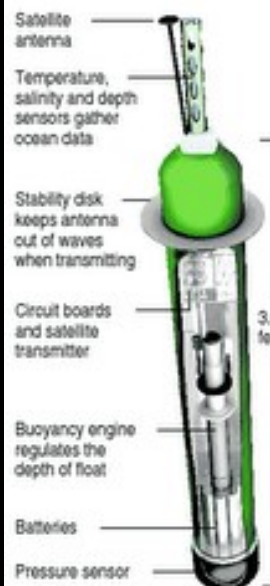


Figure 1. Time series of yearly ocean heat content (10^{22} J) for the 0–700 m layer from this study (solid) and from *Levitus et al.* [2005a] (dashed). Each yearly estimate is plotted at the midpoint of the year. Reference period is 1957–1990.

Continually measuring oceanic information

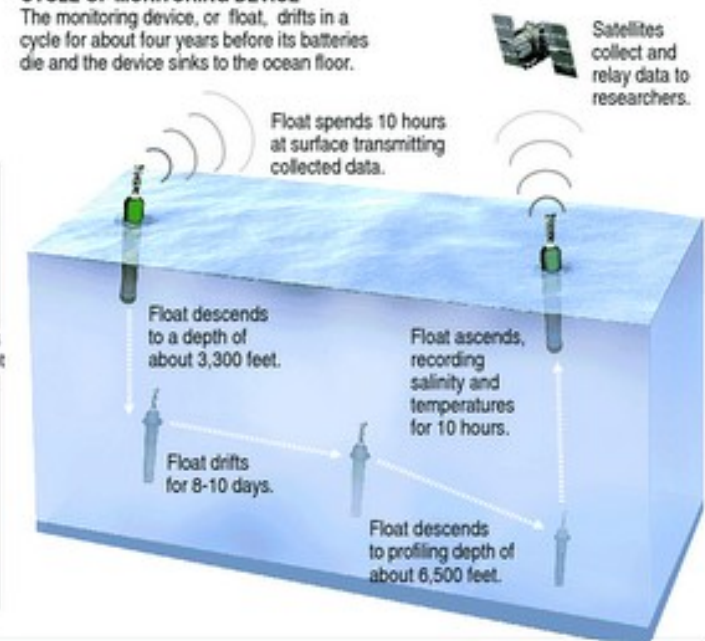
Argo is an international program that continually monitors and records data about the world's oceans. Battery-powered buoyant monitoring devices report the ocean's temperature and salinity levels for depths up to about 6,500 feet. The Scripps Institution of Oceanography in La Jolla helps manage the program, which tracks 3,000 of the devices.

MONITORING DEVICE



CYCLE OF MONITORING DEVICE

The monitoring device, or float, drifts in a cycle for about four years before its batteries die and the device sinks to the ocean floor.

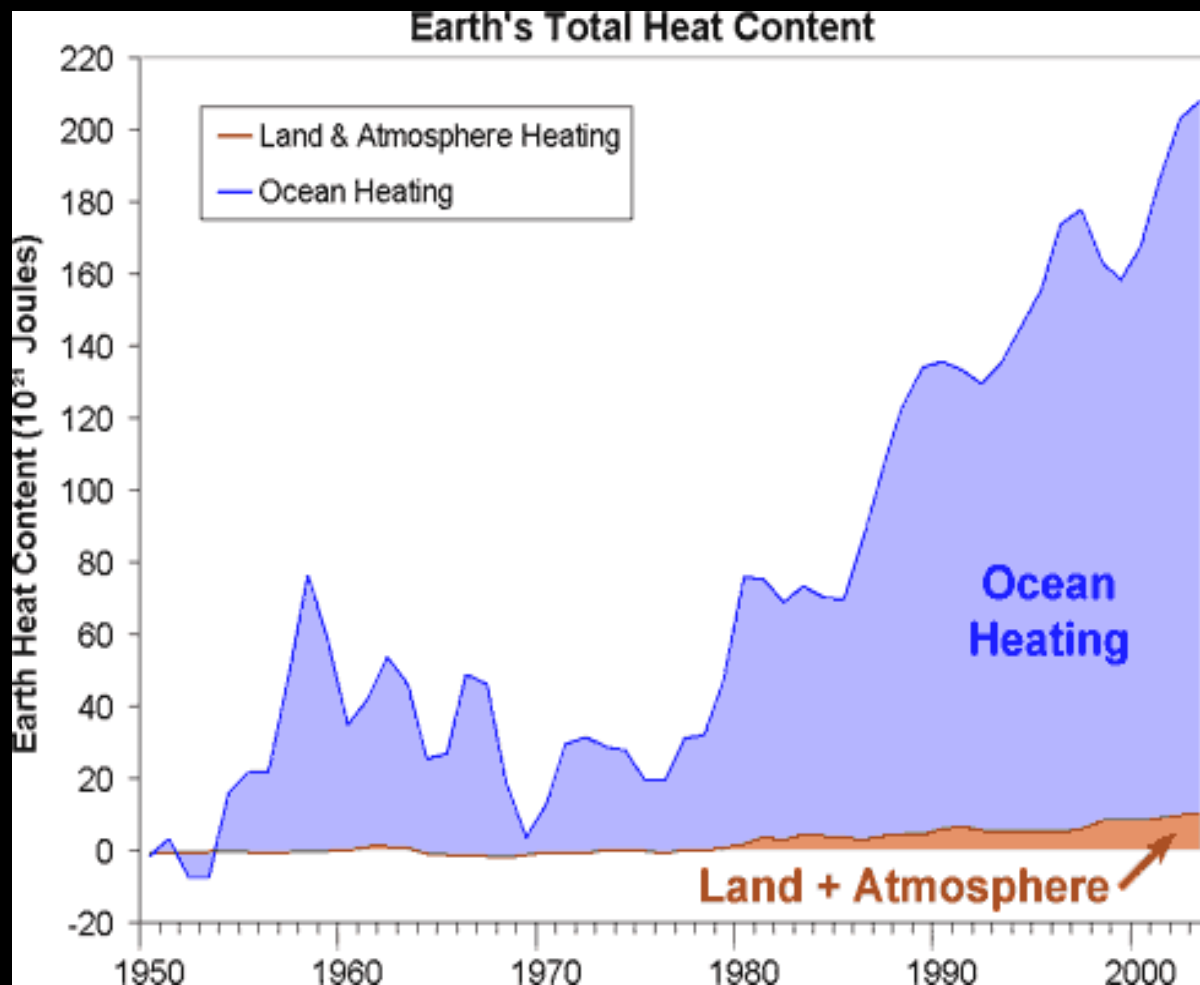


SOURCE: Scripps Institution of Oceanography

DANIEL WIEGAND / Union-Tribune

Rośnie ilość energii wewnętrznej (ciepła) zmagazynowanej w oceanie!

Levitus, S., J. I. Antonov, T. P. Boyer, R. A. Locarnini, H. E. Garcia, and A. V. Mishonov (2009), Global ocean heat content 1955–2008 in light of recently revealed instrumentation problems, *Geophys. Res. Lett.*, 36, L07608, doi: 10.1029/2008GL037155

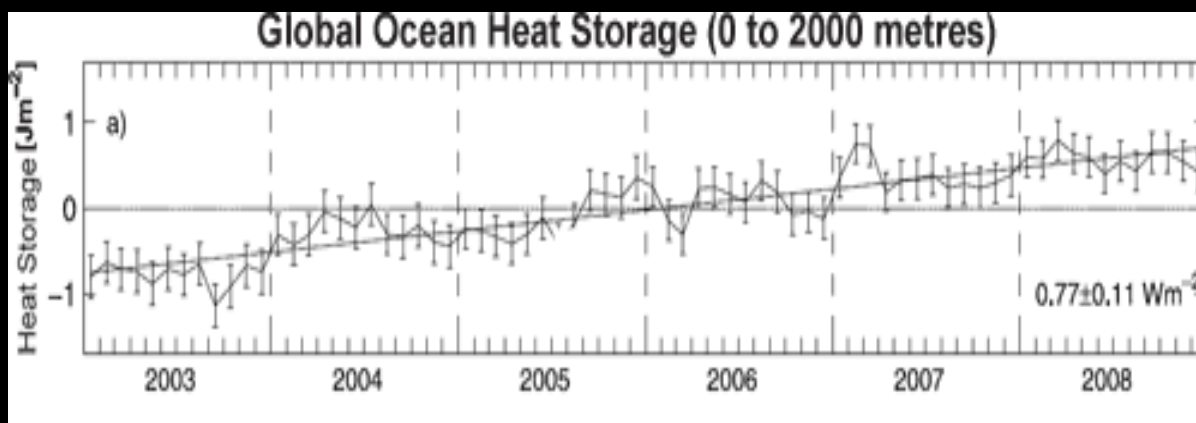


Inne prace:

Murphy, D. M., S. Solomon, R. W. Portmann, K. H. Rosenlof, P. M. Forster, and T. Wong (2009), An observationally based energy balance for the Earth since 1950, *J. Geophys. Res.*, 114, D17107, tylko dane pomiarowe (bez modeli).

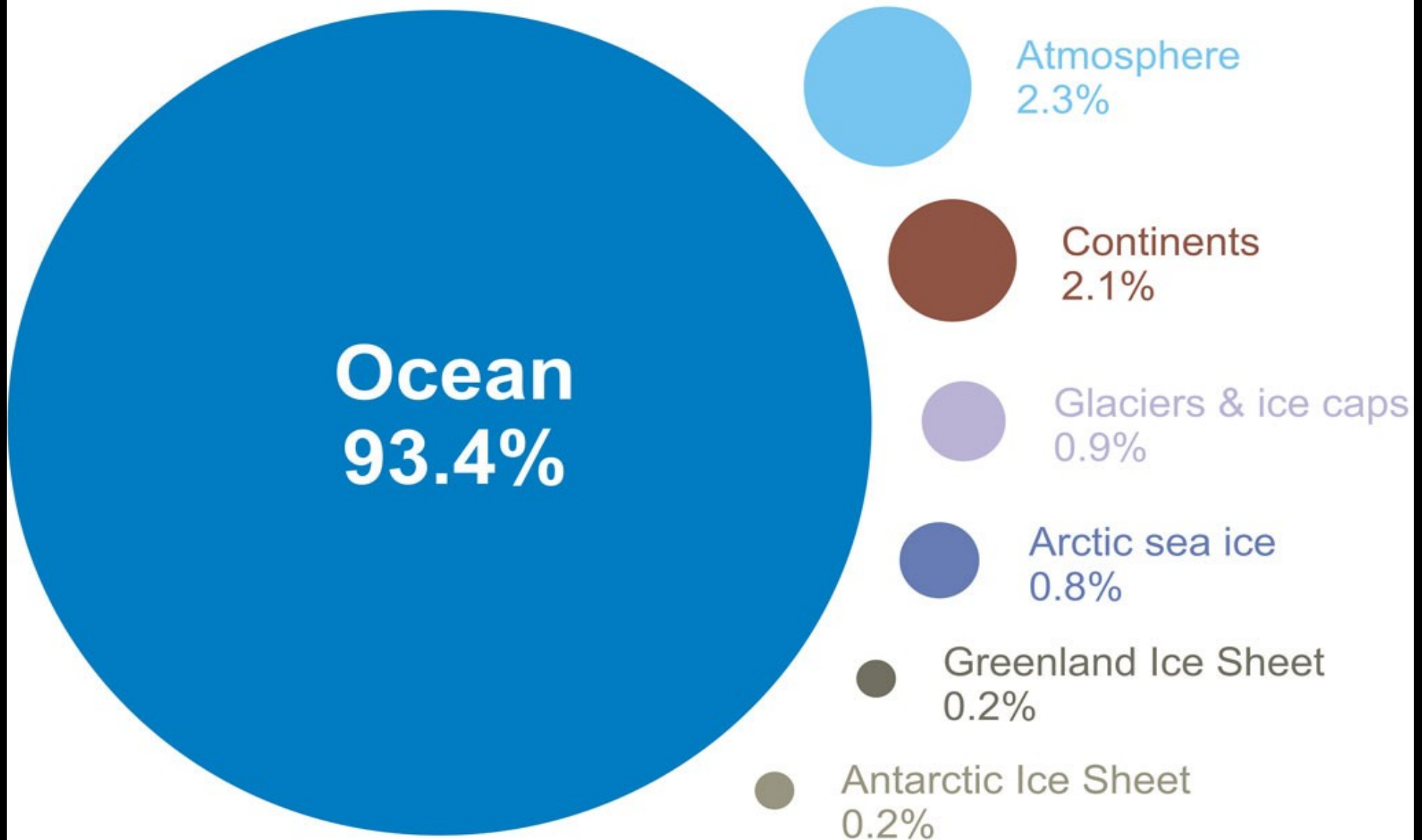
Ostatnie lata (ARGO, do 2000m, tylko ocean):

von Schuckmann, K., F. Gaillard, and P.-Y. Le Traon (2009), Global hydrographic variability patterns during 2003–2008, *J. Geophys. Res.*, 114, C09007, doi:10.1029/2008JC005237.



Brak równowagi:
 $0.77 \pm 0.11 \text{ W/m}^2$

Where is global warming going?



Z punktu widzenia fizyka to co obserwujemy w ostatnich latach to wzrost zawartości energii wewnętrznej w układzie Ziemia – Atmosfera wskutek procesu który zachodzi WEWNĄTRZ tego układu.

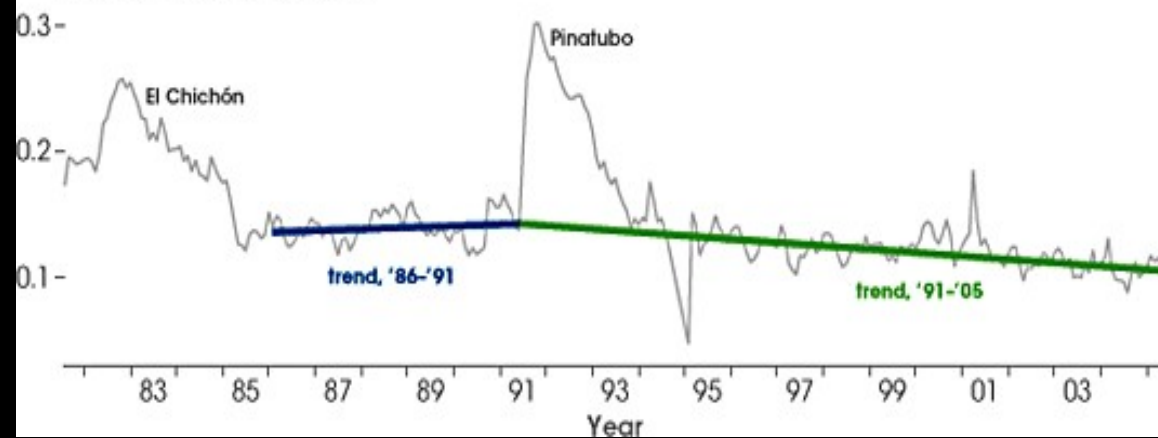
STRUMIEŃ ENERGII DOPLÝWAJĄCEJ Z ZEWNĄTRZ PRAKTYCZNIE SIĘ NIE ZMIENIŁ W TYM CZASIE

Znakomita większość energii gromadzonej w układzie magazynowana jest w oceanach, a tylko niewielka część w atmosferze i gruncie.

Ponieważ pojemność cieplna warstwy oceanu która ma znaczenie dla procesów radiacyjnych jest znacznie większa niż odpowiedniej warstwy gruntu, temperatura powietrza wzrasta szybciej nad lądem niż nad oceanami.

Jakie procesy zachodzące wewnątrz atmosfery i na powierzchni gruntu wpływają na strumień energii?

Aerosol Optical Thickness



Albedo: efekty aerozolu atmosferycznego (pyłów)

http://www.giss.nasa.gov/research/features/200711_temptracker/page2.html

Grubość optyczna aerozolu (miara blokowania dopływu promieniowania słonecznego maleje od czasu erupcji Mt Pinatubo w 1991 r (czerwona linia). [NASA]

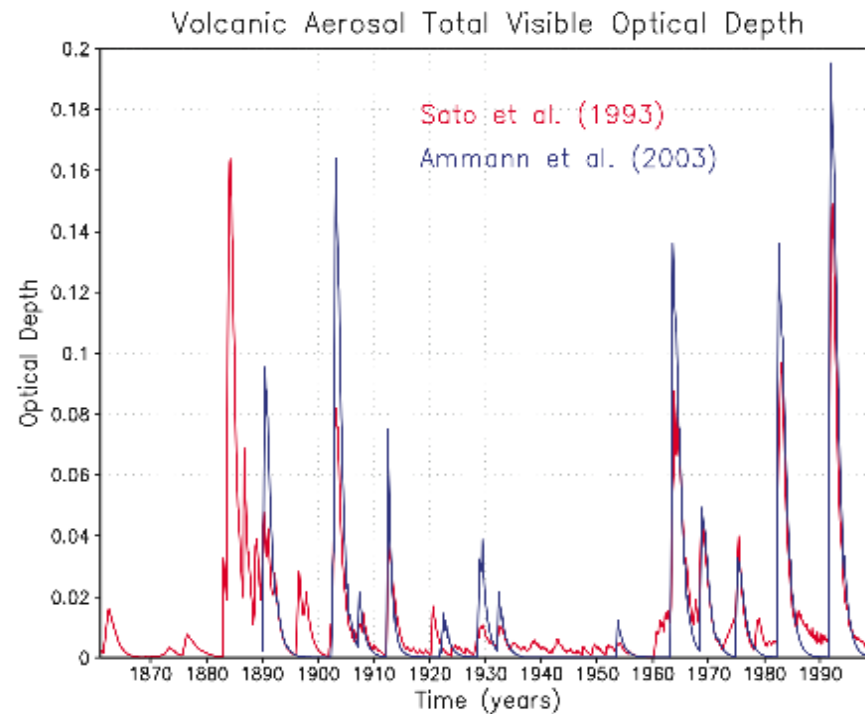


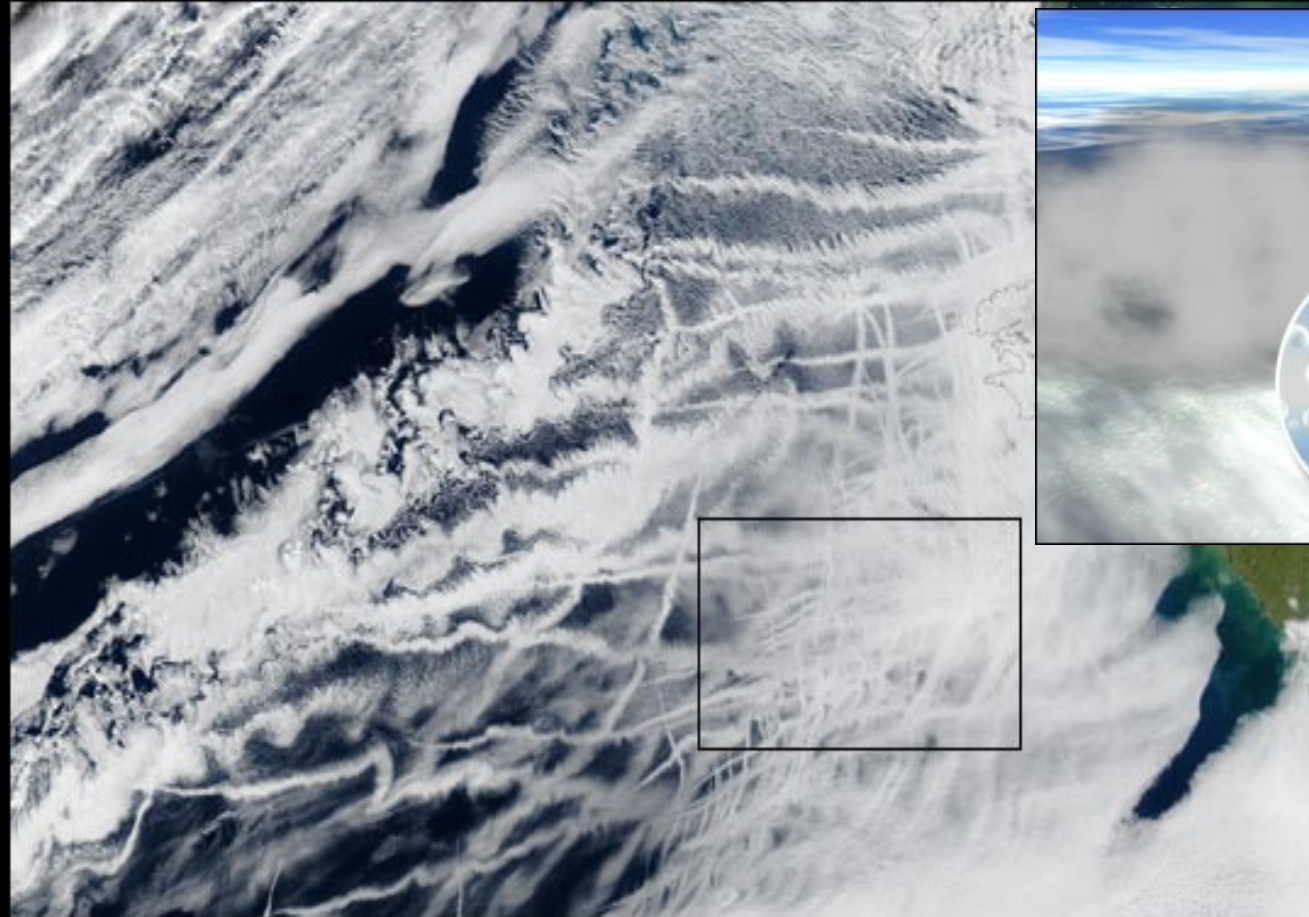
Figure 2.18



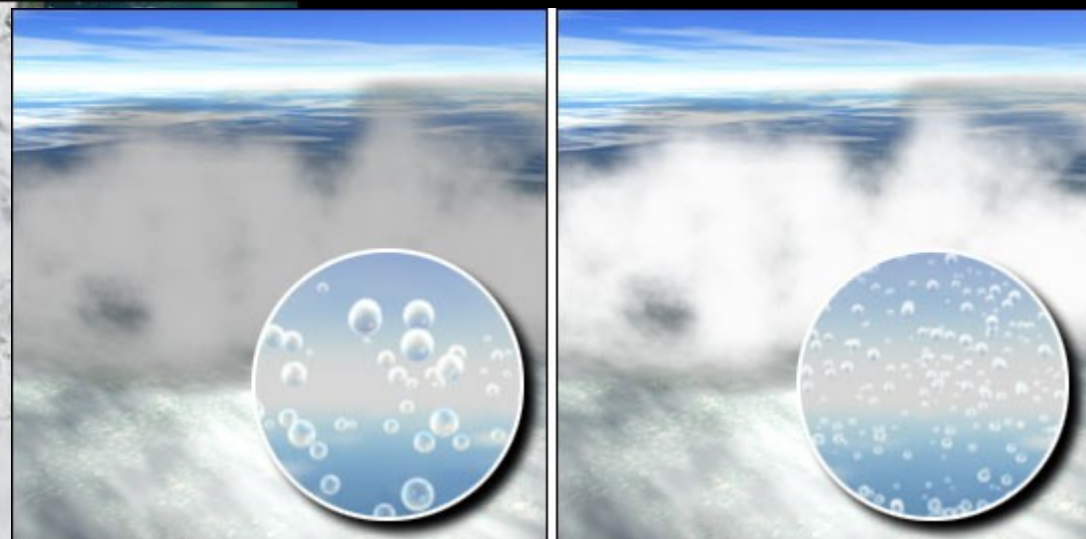
Wpływ aerozolu na ALBEDO,
dokładniej na rozpraszanie
(odbijanie w kosmos)
promieniowania słonecznego,
tzw. bezpośredni efekt
aerozolowy.

[NASA Earthobservatory]

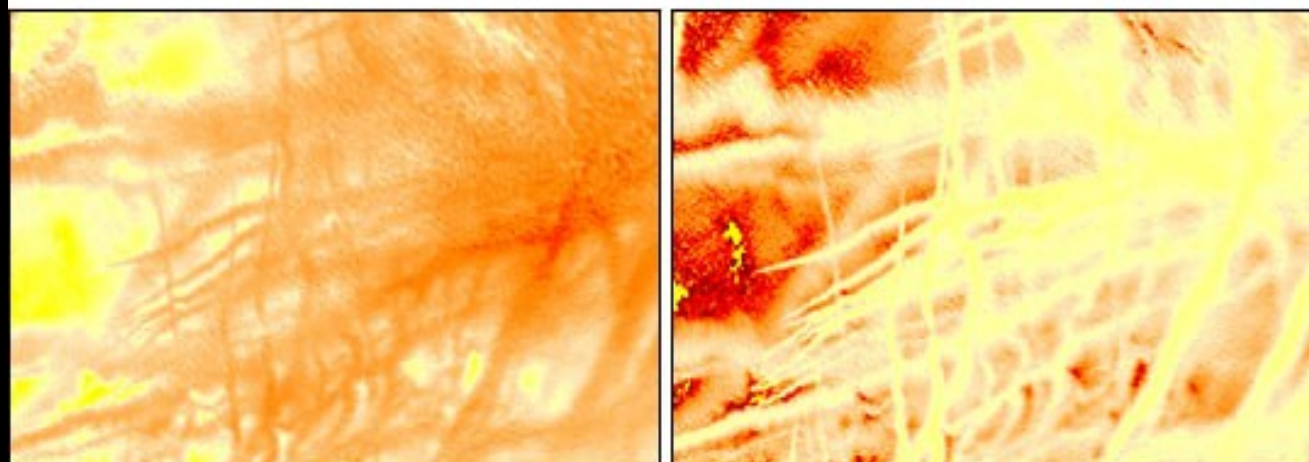




True Color

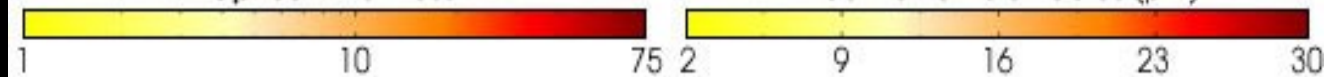


Wpływ aerozolu
na budowę chmur
(rozmiar kropelek)
i w konsekwencji
na ich własności
radiacyjne:
tzw. pośrednie efekty
aerozolowe:
- pierwszy (albedo chmur)
- drugi (czas życia chmur).

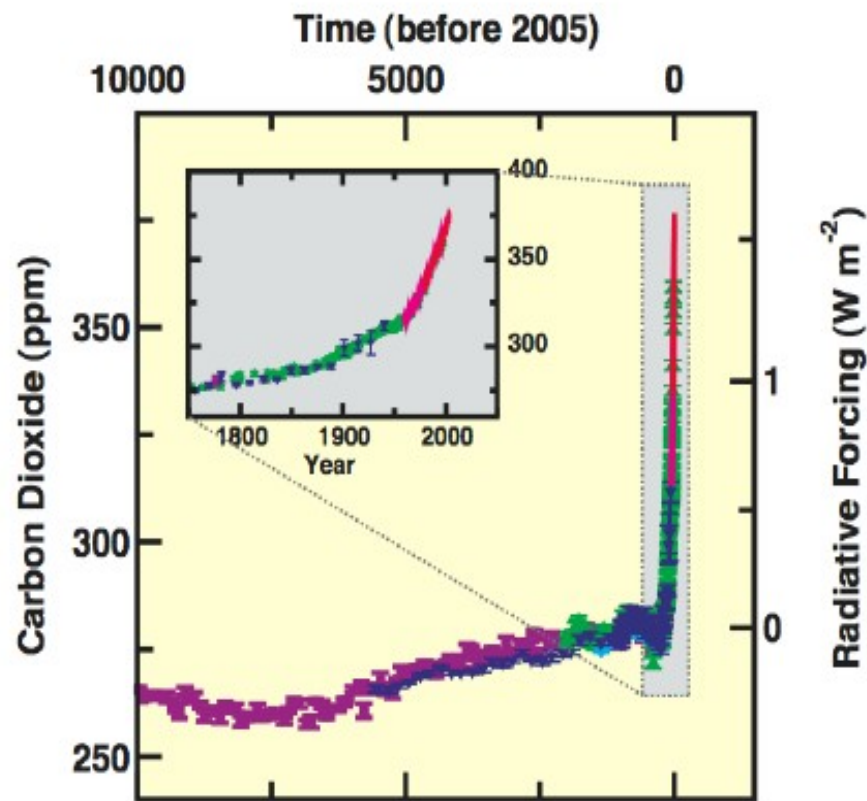


Optical Thickness

Effective Particle Radius (μm)

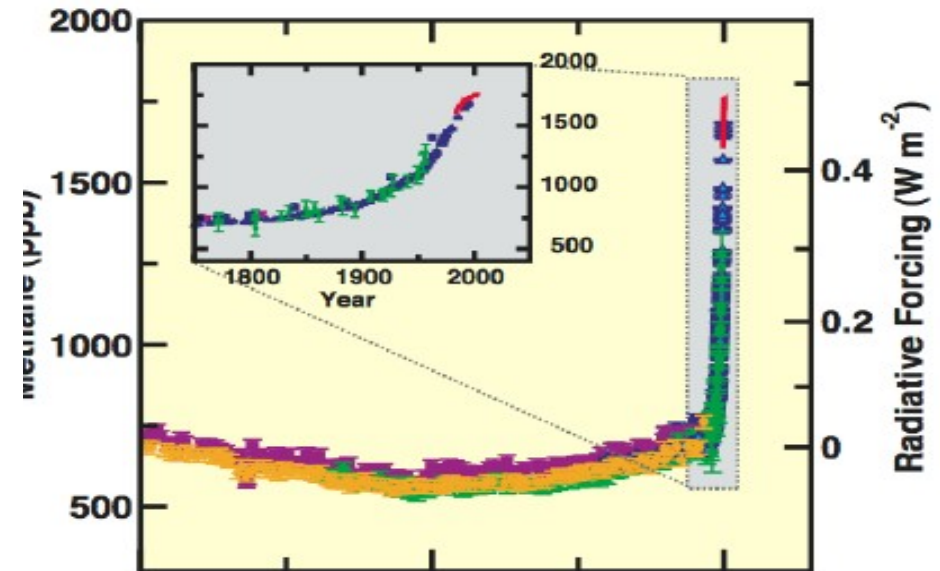


Zmiany w efekcie cieplarnianym

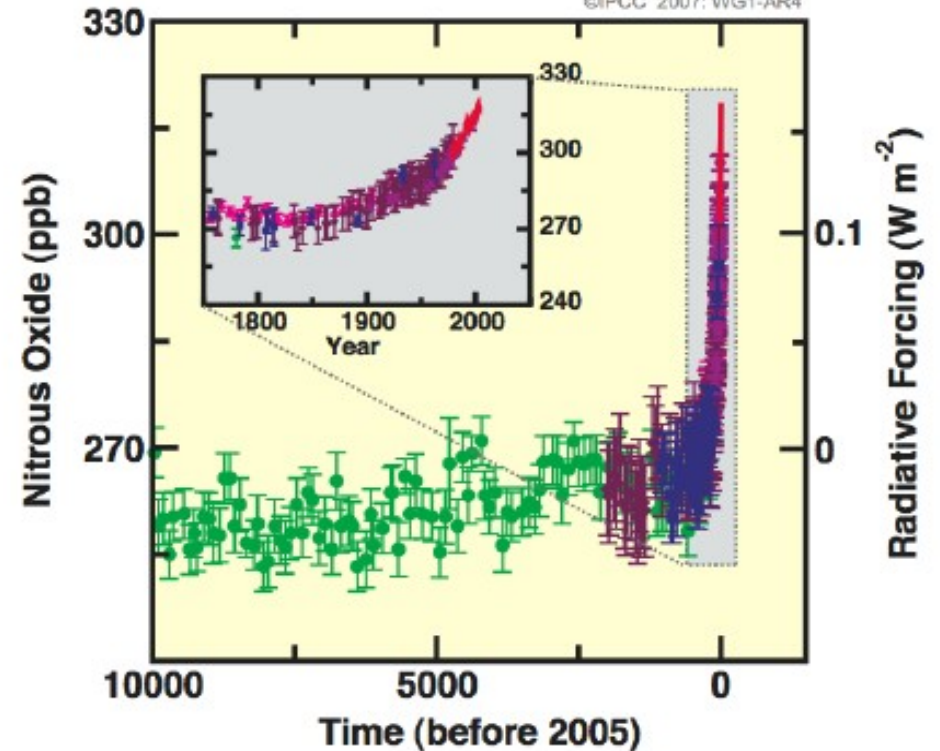


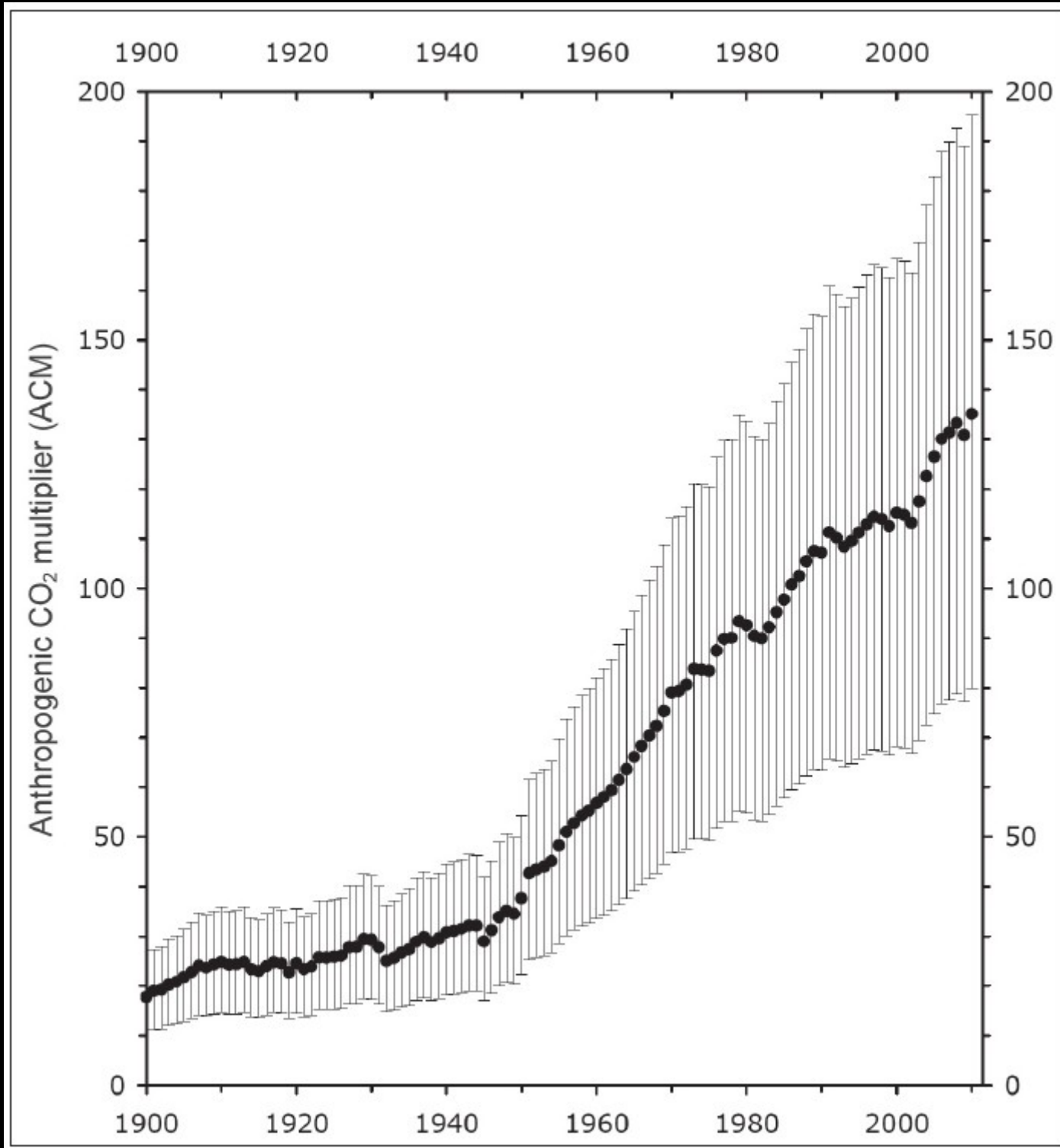
Zmiany w koncentracji głównych gazów cieplarnianych i związane z tymi zmianami wymuszanie radiacyjne. Na czerwono zaznaczono dane dane z pomiarów bezpośrednich.

IPCC, 2007



©IPCC 2007: WG1-AR4





Skąd się bierze
wzrost koncentracji
CO₂?

Emisje
antropogeniczne
CO₂ w stosunku do
emisji
wulkanicznych

Gerlach, T. (2011): "Volcanic Versus
Anthropogenic Carbon Dioxide", EOS,
Trans. AGU, 92:24, 201-208

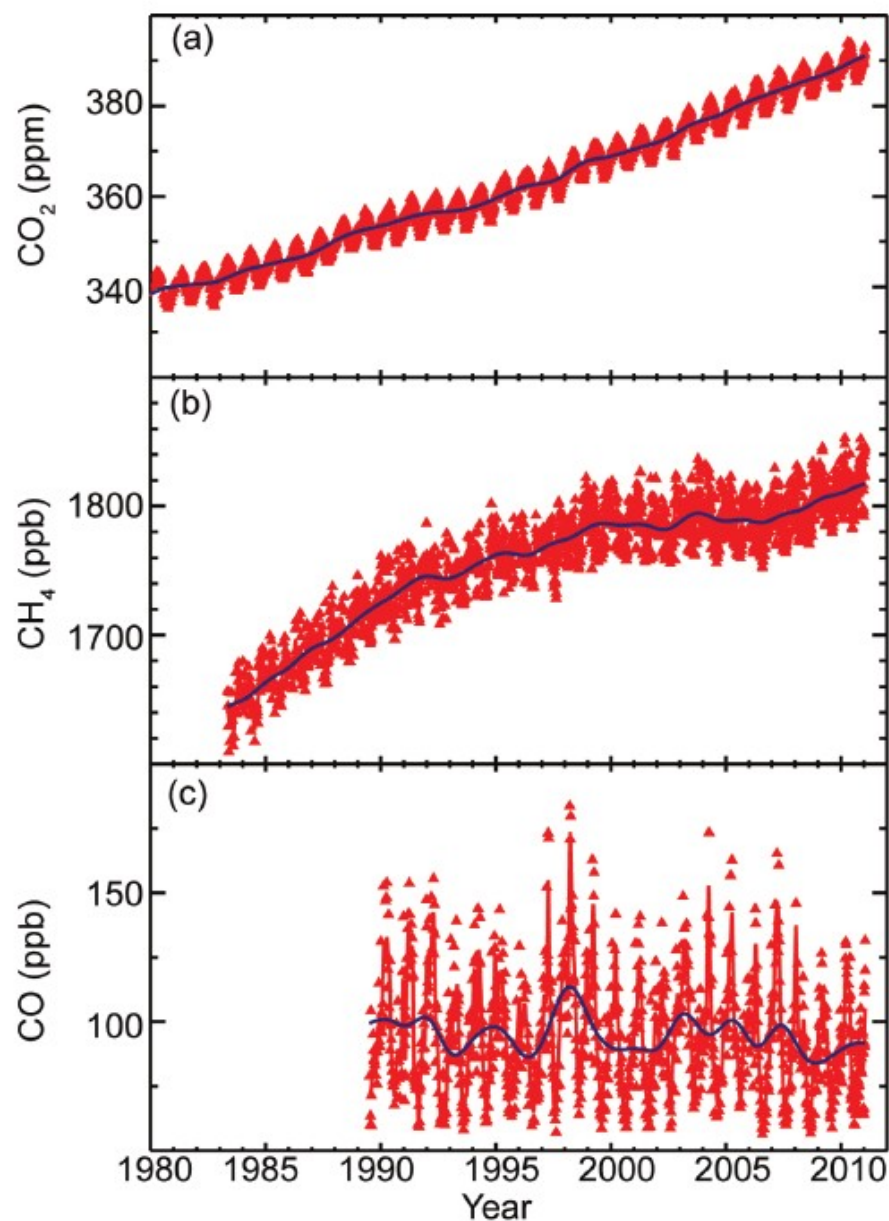
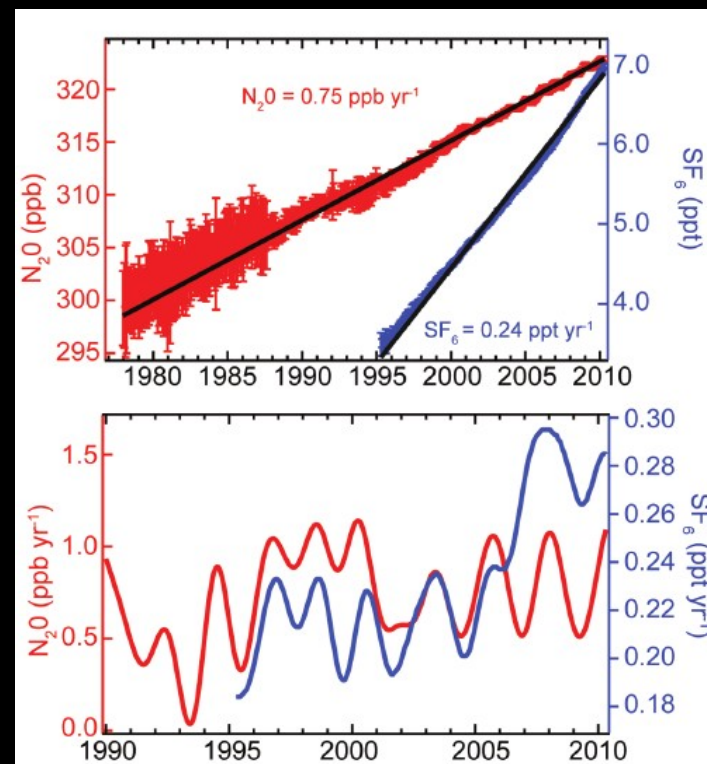
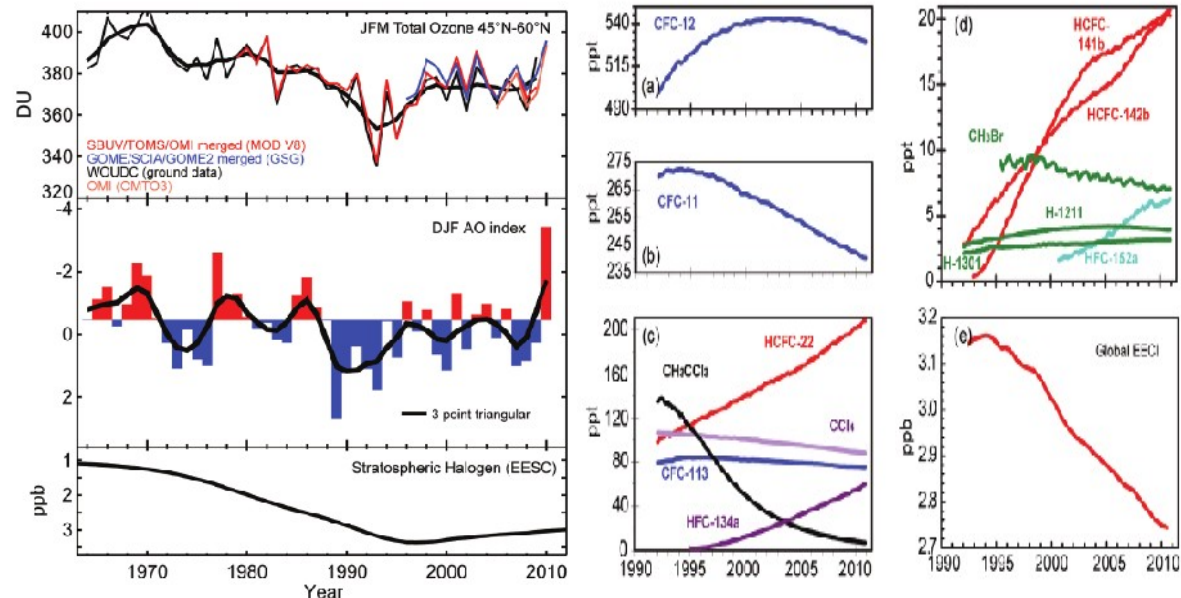
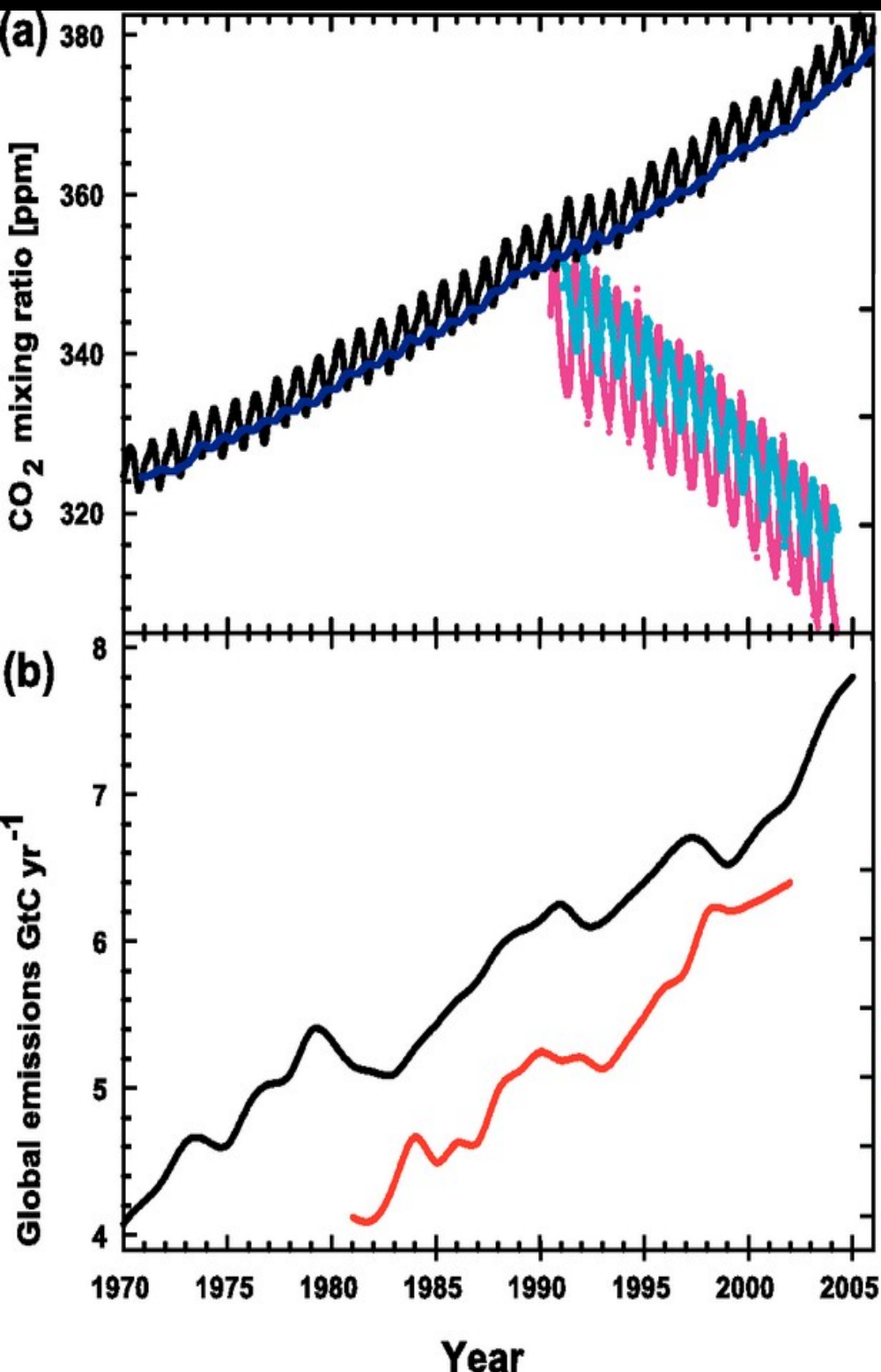


FIG. 2.48. Mixing ratios (dry air mole fraction) of (a) CO_2 , (b) CH_4 , and (c) CO from measurements of discrete air samples collected approximately weekly at NOAA's Mauna Loa observatory. Symbols are the average of two samples collected in series. Red lines are smooth curves fitted to the data. Blue lines are deseasonalized trend curves.



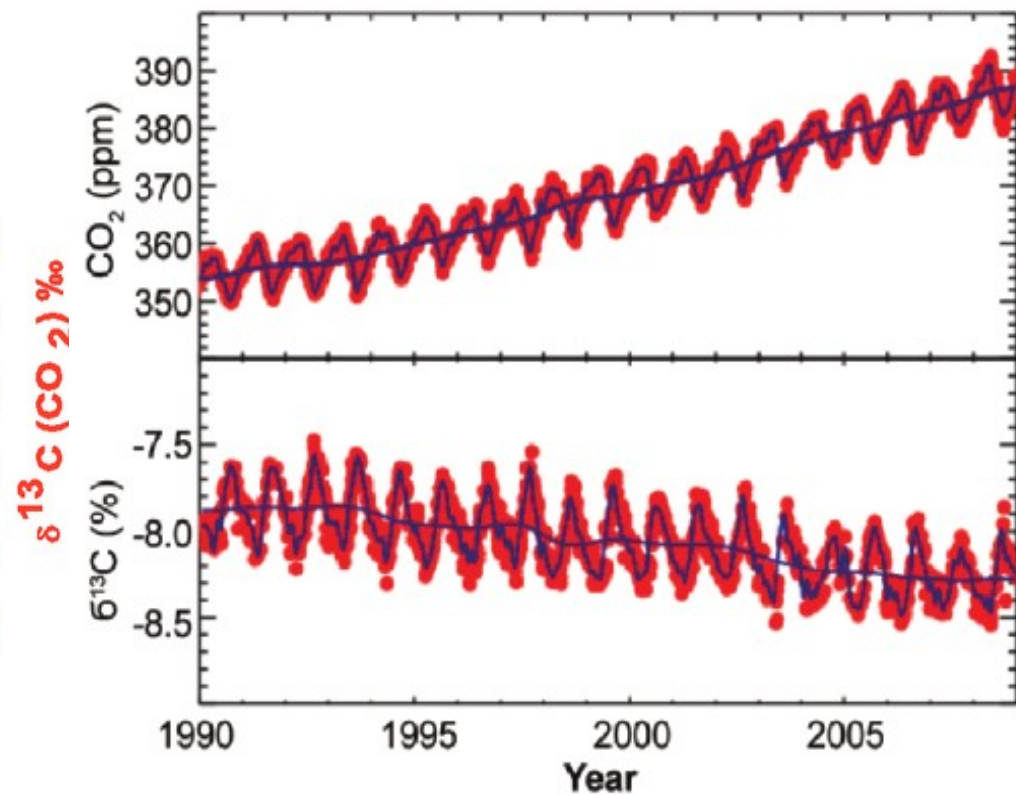
Skład atmosfery się zmienia

<http://www.ncdc.noaa.gov/ba.ms-state-of-the-climate/2011.php>

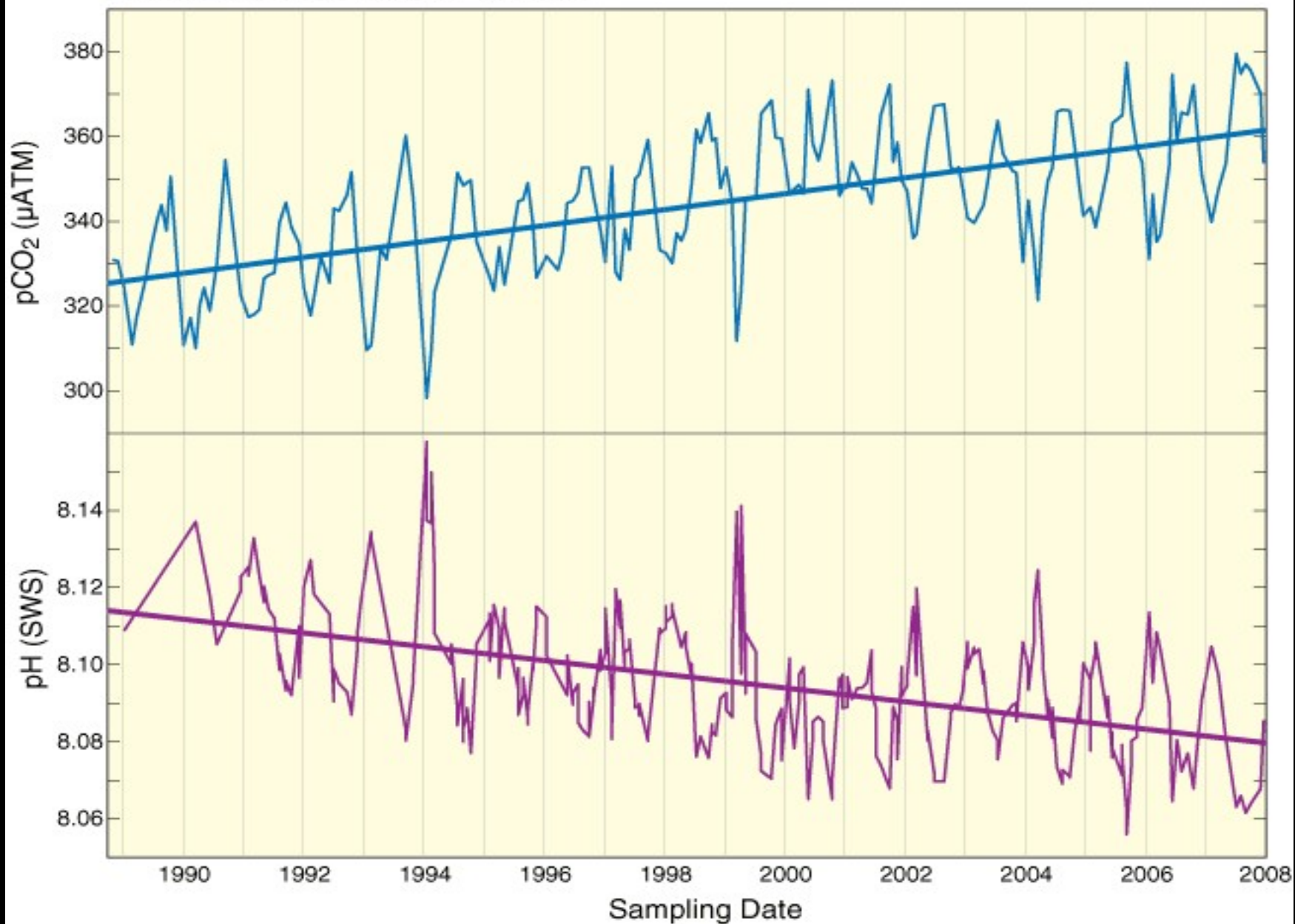


Stosunek koncentracji izotopów węgla $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ pozwala określić, czy przyrost zawartości CO_2 w atmosferze jest spowodowany spalaniem paliw kopalnych i jaką rolę odgrywa rozpuszczanie CO_2 w oceanie.

<http://www.ncdc.noaa.gov/bams-state-of-the-climate/2008.php>



The Station ALOHA Curve



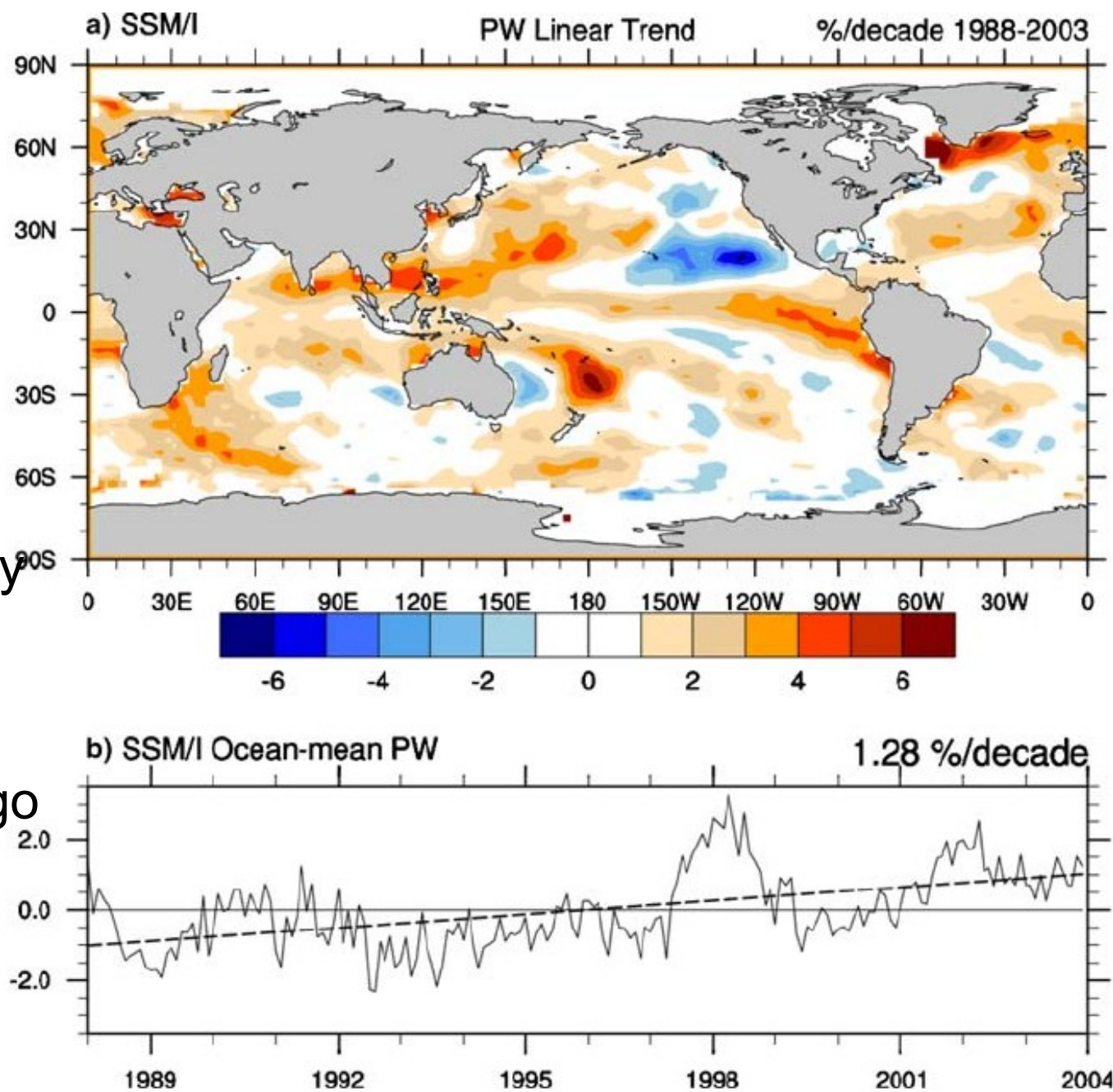
Zakwaszenie oceanu.

<http://cmore.soest.hawaii.edu/oceanacidification/>

Fig. 11 Linear trend in precipitable water for 1988–2003 in % per decade and the time series for the integral over the global ocean, which has a linear trend of 1.3 mm per decade

Zmiany zawartości pary wodnej w atmosferze na podstawie pomiarów satelitarnych.

Zmiany w zawartości pary wodnej są SKUTKIEM wzrostu temperatury powietrza, np. w efekcie wzrostu koncentracji długo żyjących gazów cieplarnianych, ogrzania powierzchni morza e.t.c..



Podsumowanie 1.

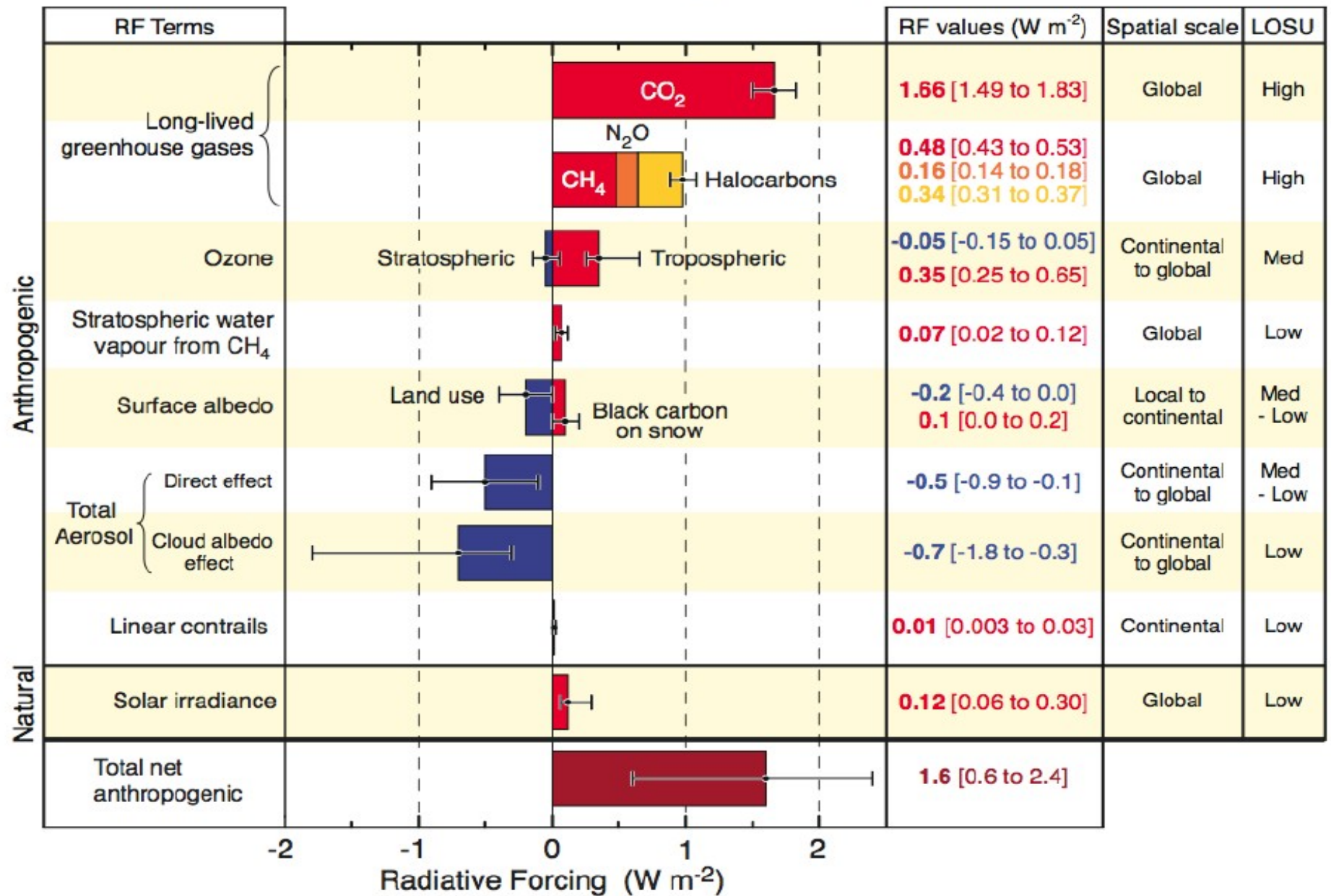
Pierwotnym źródłem energii w układzie klimatycznym jest Słońce a w układzie dominują strumienie energii promieniowania.

ZMIANY KLIMATU mogą mieć kilka przyczyn:

- zmiany w dopływie energii pierwotnej wskutek zmian w aktywności słonecznej i w orbicie naszej planety;
- zmiany albedo (powierzchnia Ziemi, lód, aerozole, chmury, zakwit oceanów, pył wulkaniczny);
- zmiany w składnikach gazowych atmosfery.

Jak wpływają one na strumienie energii promieniowania w skali ostatnich 250 lat?

Radiative Forcing Components



Wymuszanie radiacyjne będące skutkiem zmiany składu atmosfery oraz zmian innych czynników fizycznych od 1750r (źródło: www.ipcc.ch).

Nowsze oceny wymuszania radiacyjnego przez różne gazy cieplarniane.

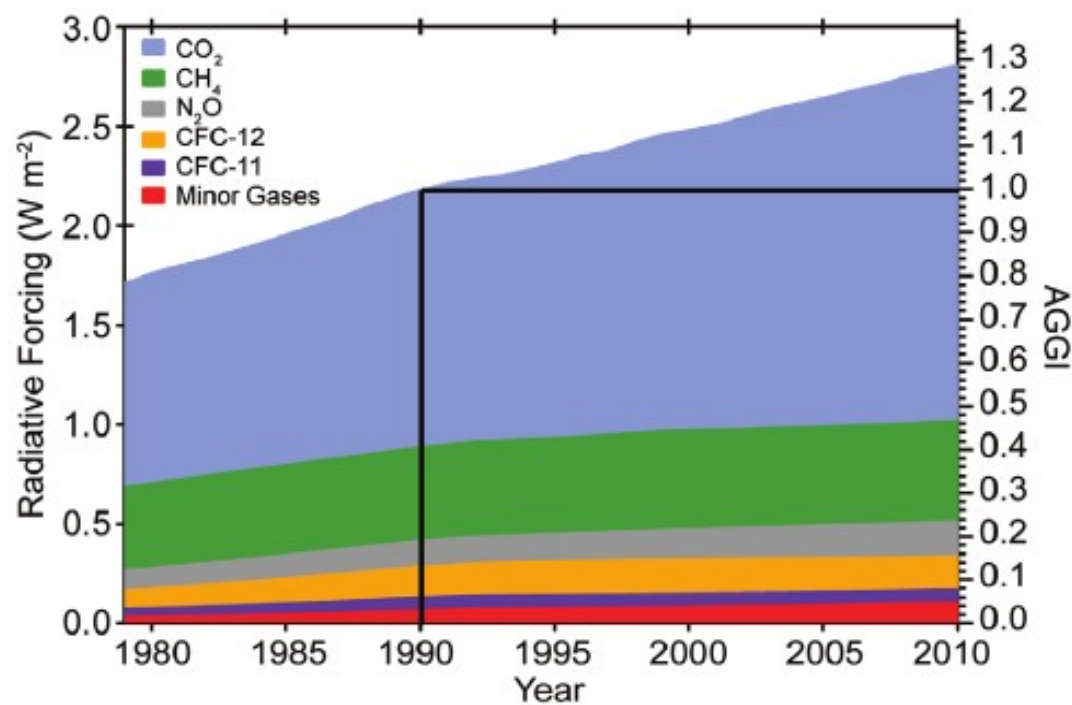


FIG. 2.52. Direct radiative forcing (W m^{-2}) due to long-lived trace gases relative to 1750 (left axis) and the total radiative forcing from long-lived trace gases, relative to 1990, defined as the Annual Greenhouse Gas Index (AGGI; right axis). The value of the AGGI was 1.29 in 2010, an increase of 29% since 1990.

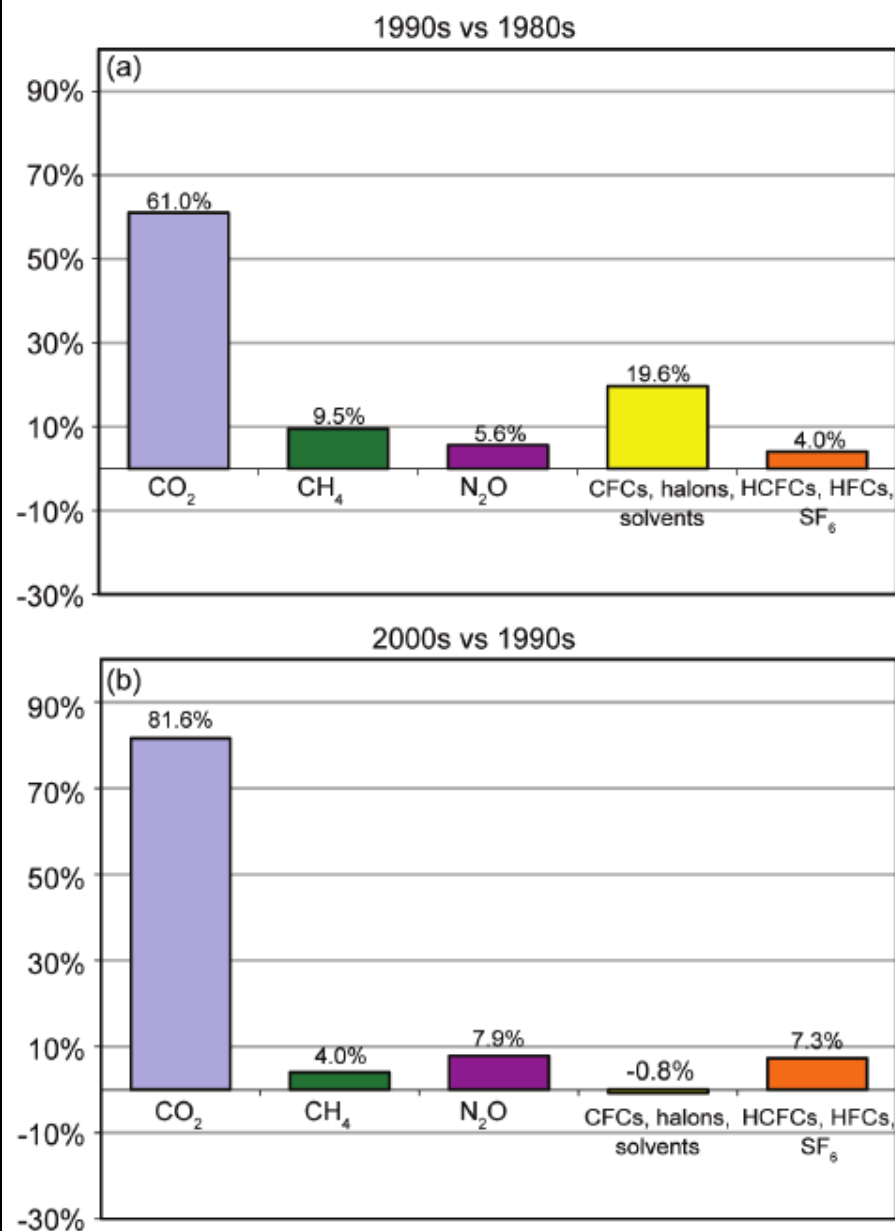
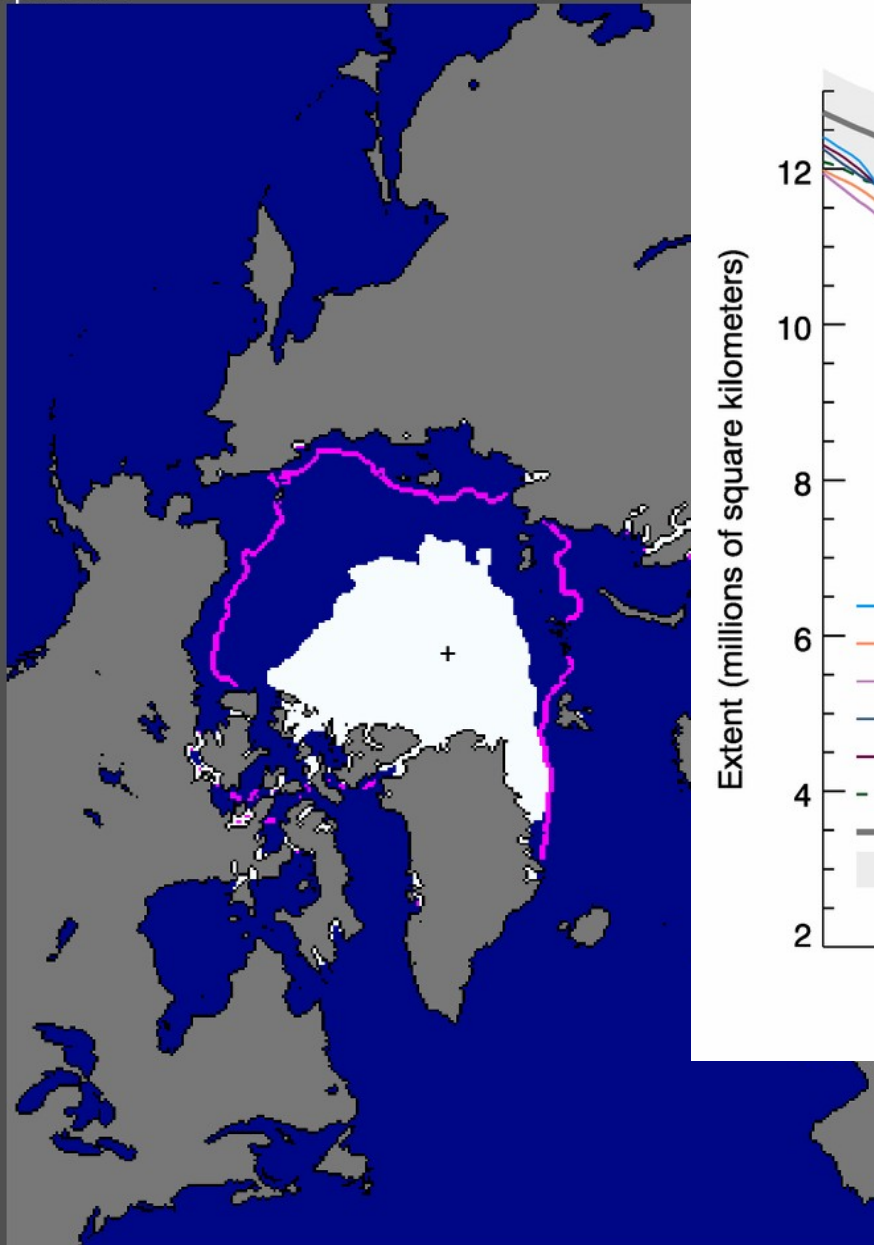


FIG. 2.53. Average relative contributions to changes in direct radiative forcing due to various trace gases through three decades. For example, comparing decadal averages, changes in CO₂ are responsible for 61% of the change in radiative forcing between the 1980s and 1990s.

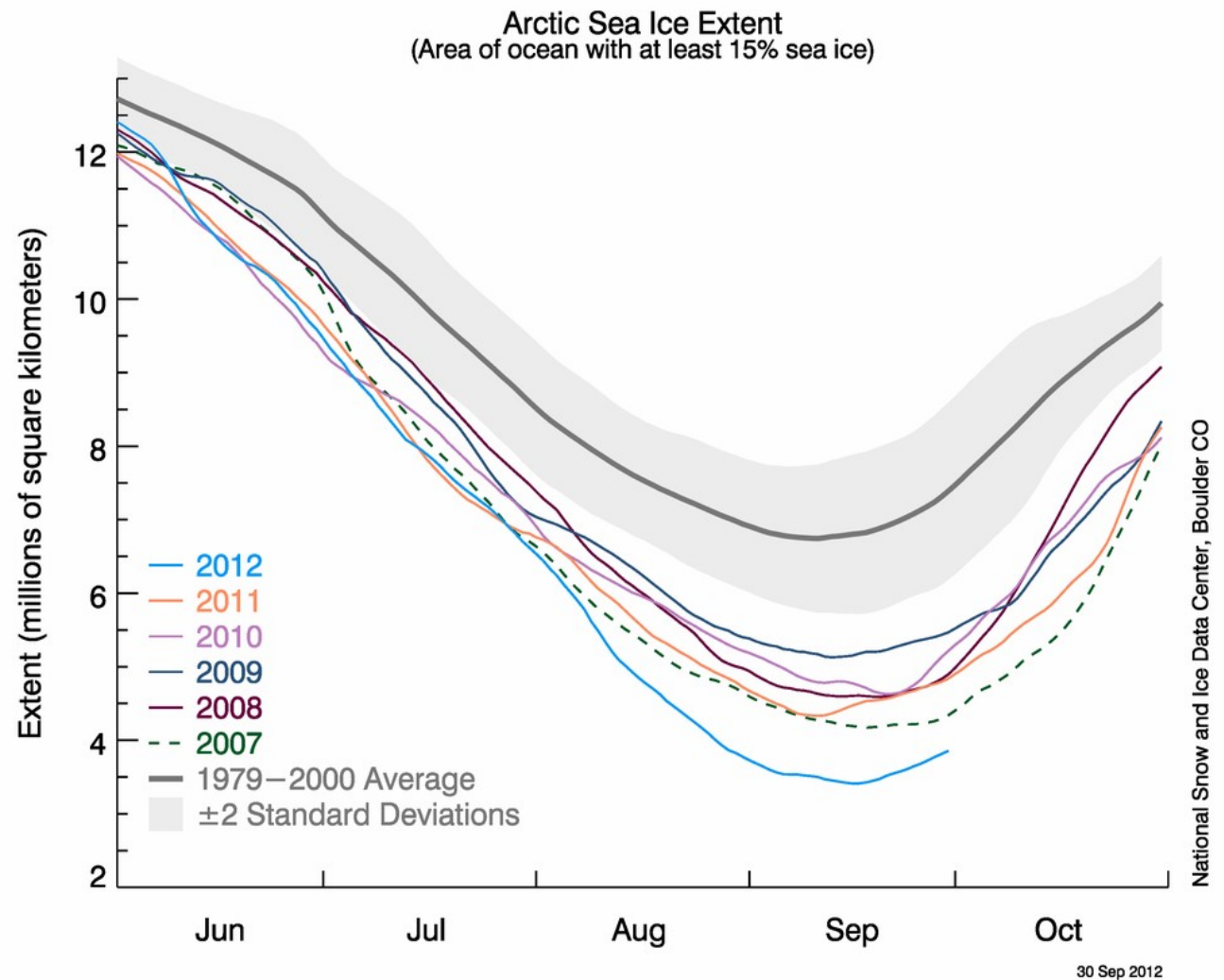
Niektóre skutki ostatnich zmian klimatu – letnia pokrywa lodowa w Arktyce

Sea Ice Extent
Sep 2012



Total extent = 3.6 million sq km

median
ice edge

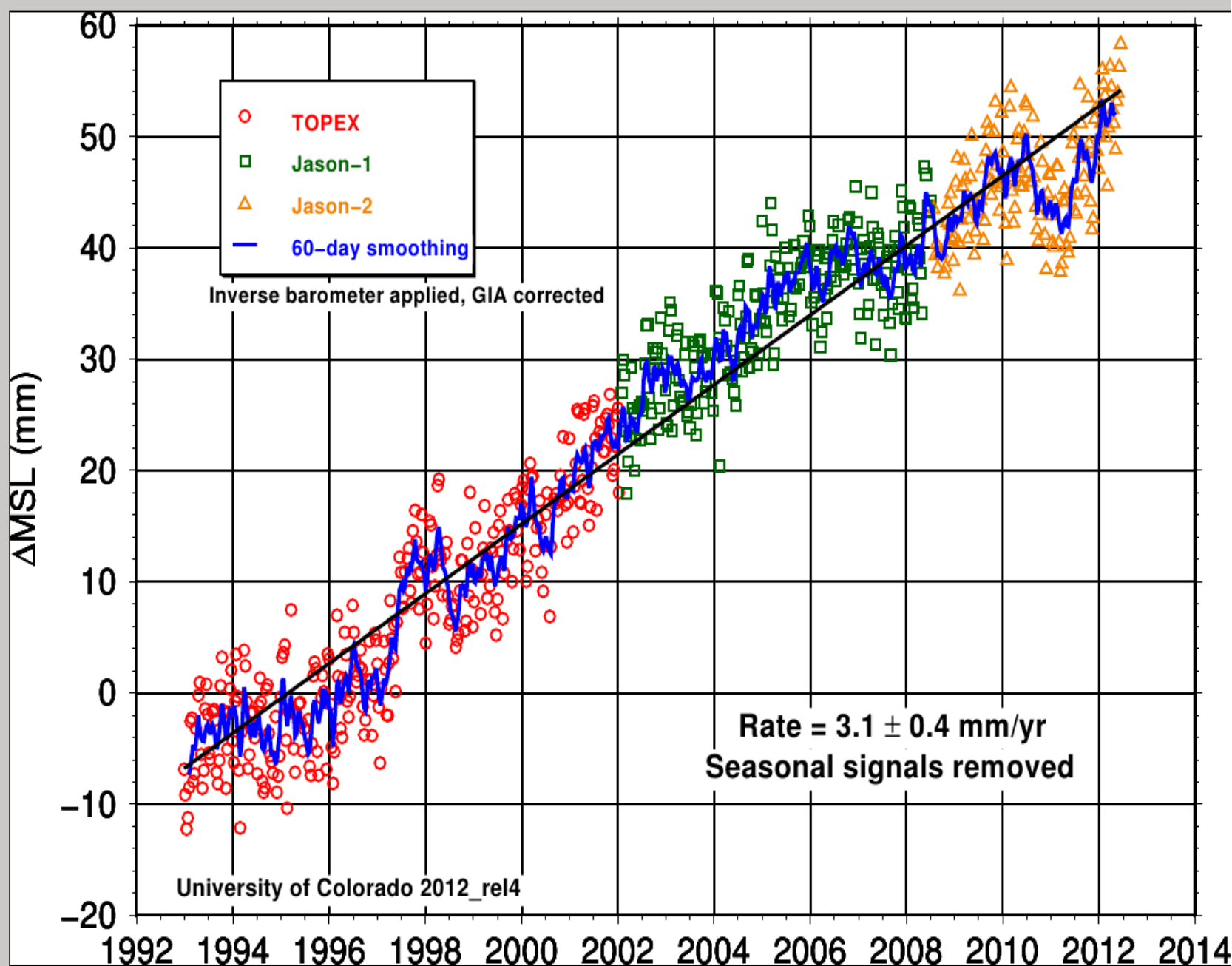


<http://nsidc.org/>,

Poziom morza – aktualnie wzrost o 3.2mm/rok

<http://sealevel.colorado.edu/>

Ok. 50% wkładu do wzrostu poziomu morza wnosi topnienie lodowców, a drugie 50% to wkład od rozszerzalności termicznej wody.



Mikrograwitacyjne satelitarne obserwacje lodu i wód - GRACE

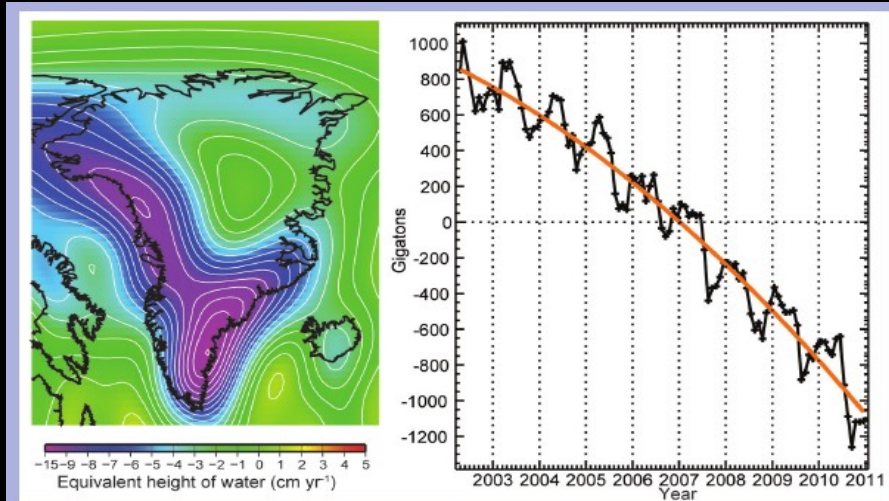


FIG. 2.30. (Left) Rate of ice sheet mass change (cm yr^{-1} , equivalent height of water) in Greenland from GRACE, April 2002–November 2010. (Right) Time series of Greenland total ice sheet mass (Gigatons) relative to the period mean.

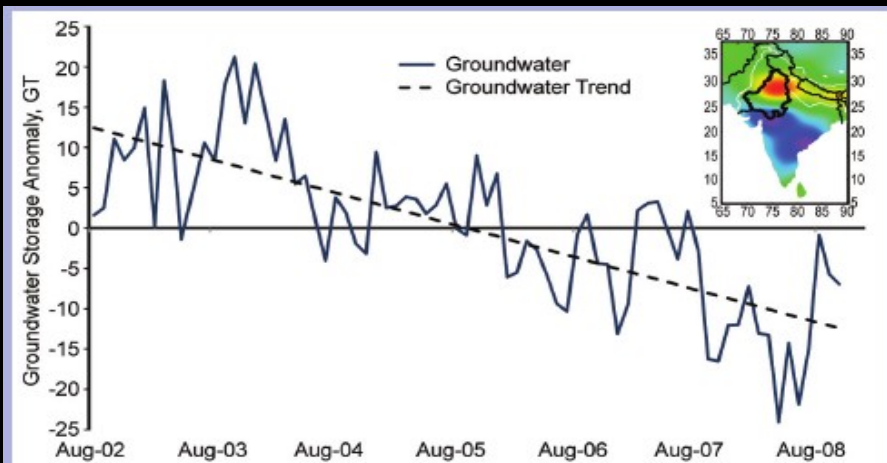


FIG. 2.31. Time series of groundwater storage in north-west India from August 2002 to October 2008 relative to the period mean. The inset panel shows areas of depletion in warm colors and areas of increase in cool colors, with the study region (the Indian states of Rajasthan, Punjab, and Haryana) outlined in black. Based on data from Rodell et al. (2009).

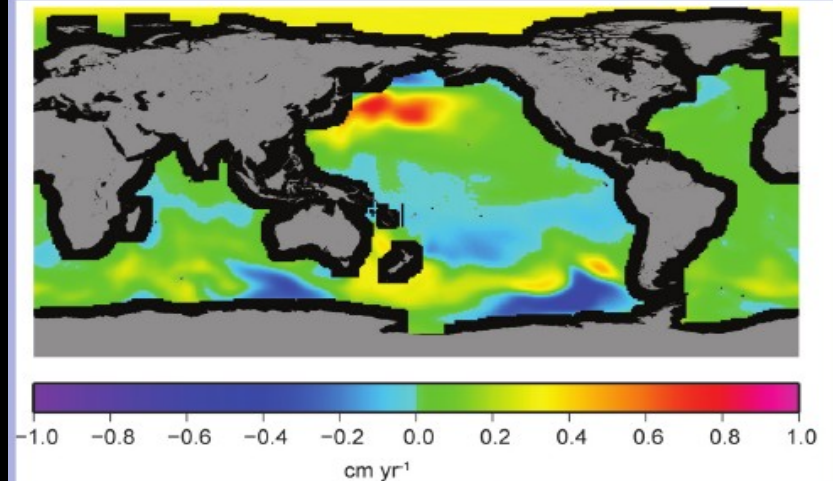


FIG. 2.32. Mean rate of change of ocean bottom pressure (cm yr^{-1} in equivalent sea level) from January 2003 to August 2010, computed from GRACE data projected onto empirical orthogonal functions (EOF) modes from a model (Chambers and Willis 2008). The large trends in the North Pacific, South Pacific, and Arctic are related to changing circulation and wind stress, and have been described by Chambers and Willis (2008), Boening et al. (2011), and Morison et al. (2007), respectively.

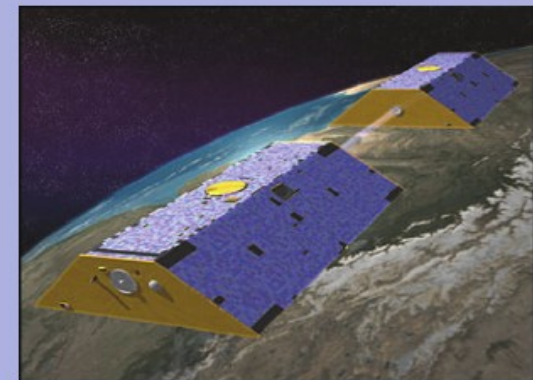
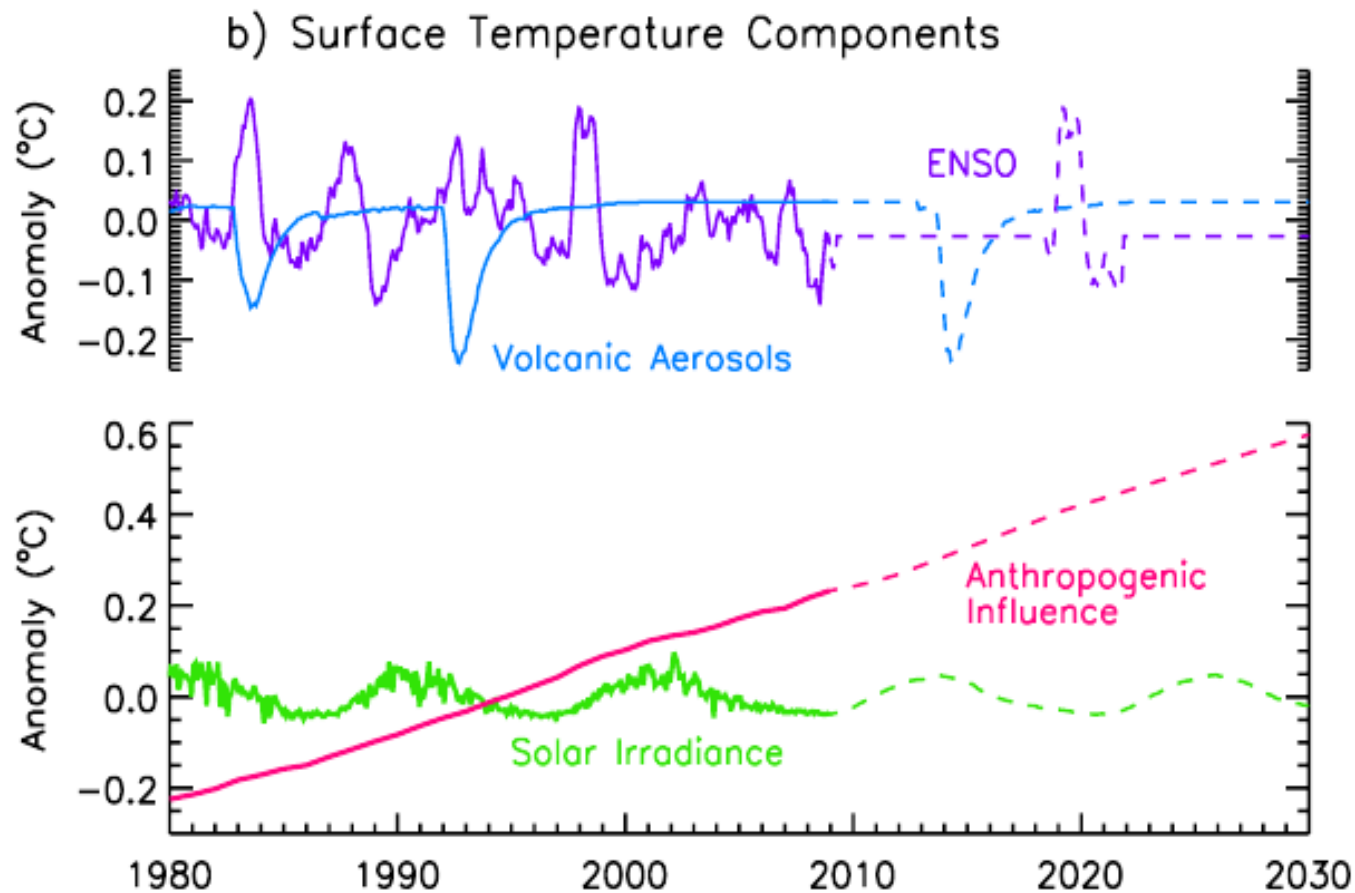
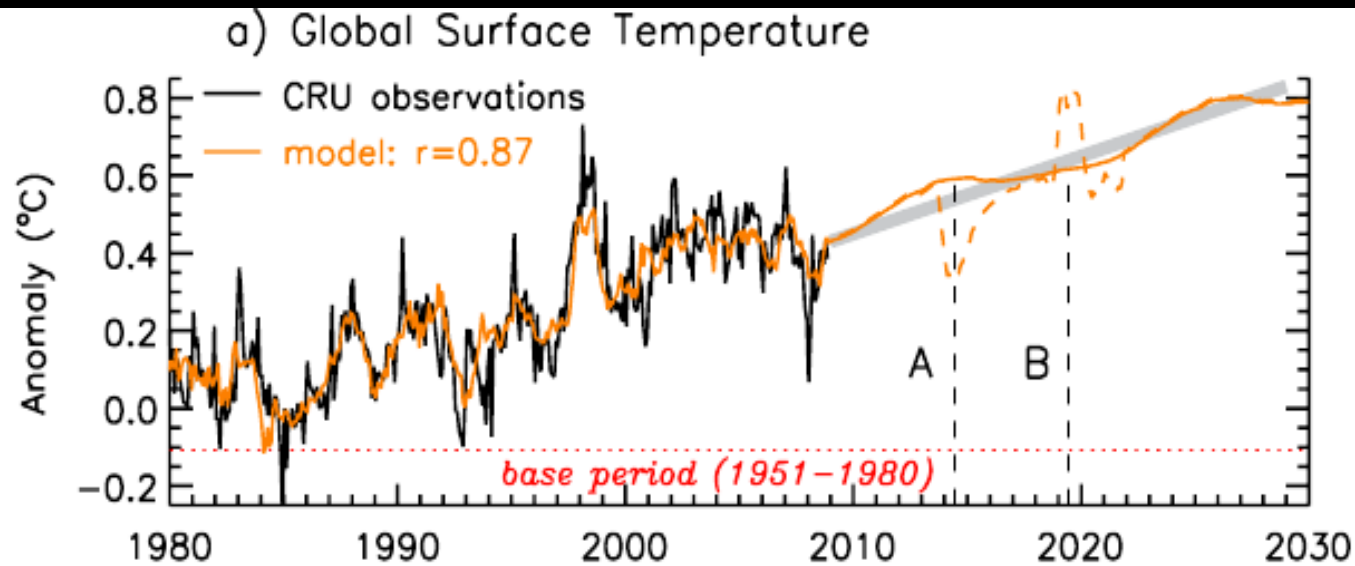


Image courtesy of NASA



Wpływ różnych czynników na średnią globalną (średnie miesięczne) temperaturę powietrza przy powierzchni Ziemi w latach 1980-2008
-analiza metodą regresji wieloliniowej

Lean and Rind, 2009:
Geophys.Res.Lett. 36,
L15708,
doi:10.1029/2009GL038932,
2009

Zmiany albedo i koncentracji gazów cieplarnianych mają wpływ NIE TYLKO na strumienie energii promieniowania, ale także na redystrybucję energii przez cyrkulacje atmosferyczne i oceaniczne, cykl hydrologiczny, biosferę.

Między poszczególnymi elementami systemu klimatycznego występują związki i sprzężenia zwrotne.... Skutkiem tych zmian jest zmiana temperatury powietrza przy powierzchni Ziemi, zmiany w cyklu hydrologicznym, zmiany w cyrkulacjach atmosferycznych i oceanicznych.

Sprzężenia występujące w systemie klimatycznym mogą prowadzić do dalszych zmian albedo, cyklu hydrologicznego, strumieni energii promieniowania.

Nie dysponujemy pełną teorią działania systemu klimatycznego, jednak pewne elementy działania tego systemu w określonych, stosunkowo krótkich skalach czasu jesteśmy w stanie dobrze udokumentować.

Jak badać tak skomplikowany system?

Modelowanie klimatu:

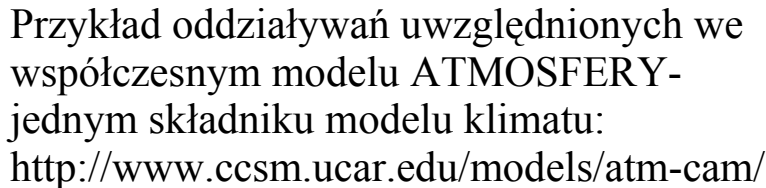


równania hydrodynamiki
równania termodynamiki
prawa transferu radiacyjnego
własności składników atmosfery
promieniowanie słoneczne
oddziaływanie z podłożem
+ przemiany chemiczne

układ równań modelu

- * „zakłęcie” w kod numeryczny
 - * uwzględnienie danych pomiarowych
 - * wielki superkomputer
-

wirtualna rzeczywistość, w której
możemy symulować mechanizmy
klimatyczne



Wiele modeli klimatu OTWARTYCH:

← → www.cesm.ucar.edu ☆ Google

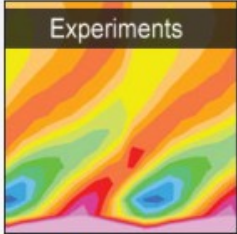
UCAR ▾ NCAR ▾ Find People ▾ Contact/Visit ▾

CESM ▾ Administration ▾ Working Groups ▾ Models ▾ Events ▾ News ▾ Publications ▾ Projects ▾

Community Earth System Model

Google™ Custom Search advanced Search

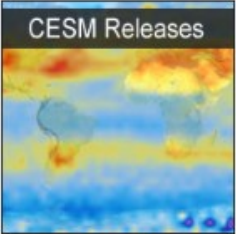
CESM PROJECT



Experiments
CMIP5 Output



Governance
SSC, CAB,
Working Groups



CESM Releases
CESM Code
Releases



Community Events
Community
Events

CLIMATE HIGHLIGHTS



Study may answer longstanding questions about Little Ice Age. The study, which used analyses of patterns of dead vegetation, ice and sediment core data, and powerful computer climate models, provides new evidence in a longstanding scientific debate over the onset of the Little Ice Age. [\[highlight\]](#)



Ozone recovery and greenhouse gases in the Southern Hemisphere. A new study in Geophysical Research Letters looks at how the anticipated recovery of the ozone hole over Antarctica and simultaneous increase in greenhouse gas concentrations will combine to affect weather and climate in the Southern Hemisphere. It concludes that over the coming half century, ozone recovery will result in a nearly complete cancellation of the effects of increased greenhouse gases on atmospheric circulation. [\[highlight\]](#)

CESM INFORMATION

The Community Earth System Model (CESM) is a fully-coupled, global climate model that provides state-of-the-art computer simulations of the Earth's past, present, and future climate states.

- [CESM1.0 - CESM1.0.4 Code Releases](#)
- [CESM Workshop](#)
- [CESM Tutorials](#)

Upcoming Meetings

Working Group Meetings
[Ocean Model Working Group](#), 22 - 23 January, 2012, NCAR, Boulder, CO

18th Annual CESM Workshop
The 18th Annual CESM Workshop will be held at [The Village at Breckenridge](#), Breckenridge, CO, 17 - 20 June 2013.

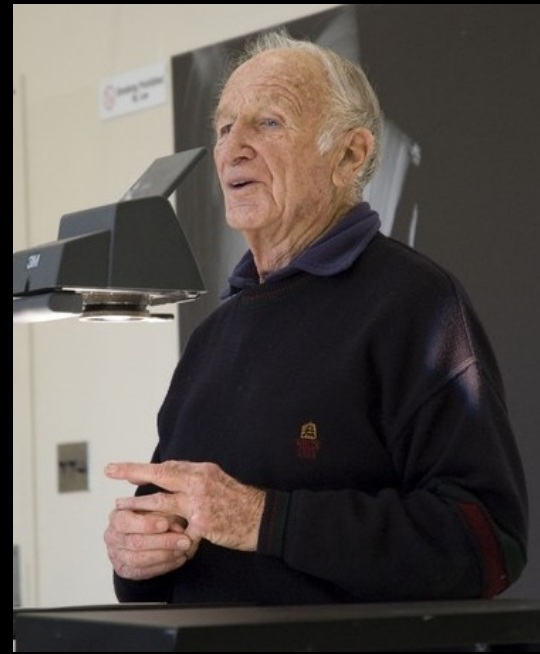
CESM DISTINGUISHED ACHIEVEMENT

William Lipscomb is the recipient of the **2012 CESM Distinguished Achievement**



Edward N. Lorenz (1917-2008):

pokazał co to znaczy przewidywalność
(ang. predictability) układu fizycznego.



Wybrane prace:

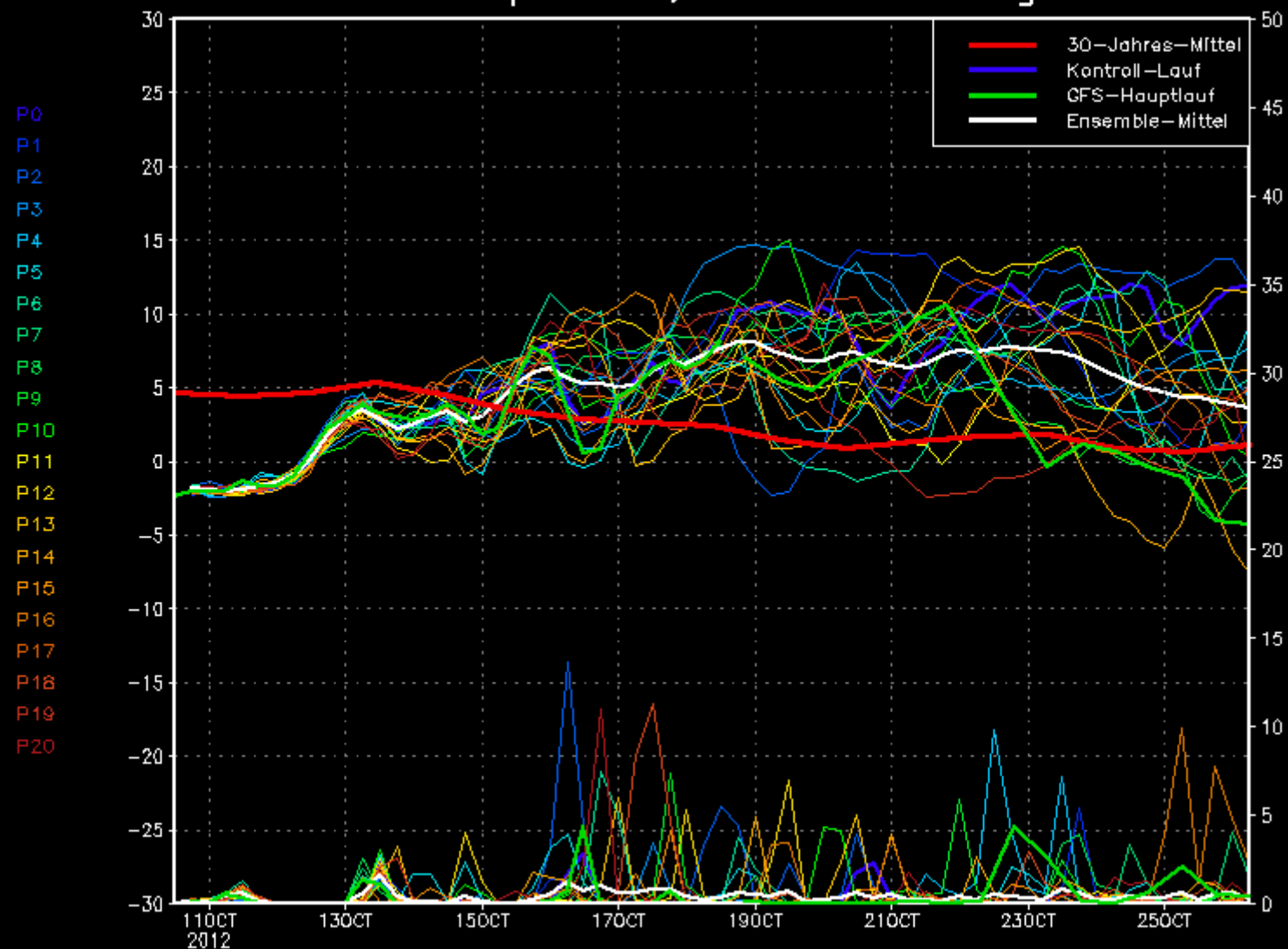
„Deterministic nonperiodic flow”, 1963 (atraktor Lorenza, efekt motyla)

„The problem of deducing the climate from the governing equations”,
1964 (rozdzielenie między brakiem przewidywalności ze względu na
nieznajomość stanu początkowego układu i ze względu na niepełną
znajomość fizyki – równań – układu)

„Climatic change as a mathematical problem”, 1970
(nieprzewidywalność pogody -chaos- nie znaczy że klimat jest
nieprzewidywalny)

„Predictability – a problem partly solved”, 2006 (bez komentarza :)

Warschau Lat: 52 Lon: 21 Wed, 10 OCT 2012 12Z
850 hPa Temp. in °C, 6h-Niederschlag in mm



Przewidywalność pogody:

poszczególne realizacje procesu dynamiczno-stochastycznego (prognozy pogody dla różnych warunków początkowych w zakresie błędu pomiarowego - cienkie kolorowe linie),
średnia po zespole realizacji (biała linia),
średnia klimatyczna (czerwona linia).

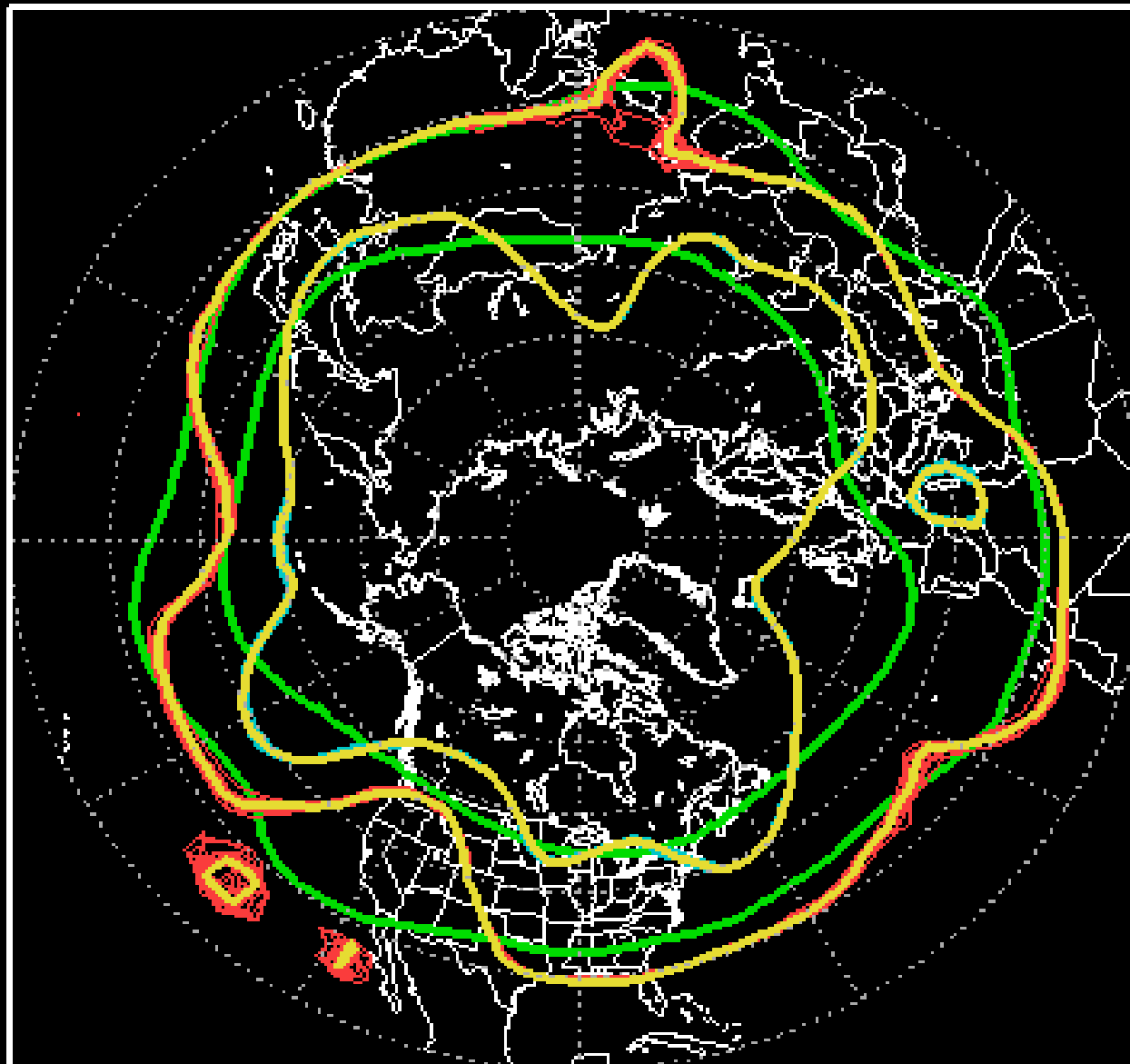
Daten: Ensembles des GFS von NCEP

Wetterzentrale

NCEP ENSEMBLE 500mb Z

000H Forecast from: 12Z Wed OCT,13 2010

Valid time: 12Z Wed OCT,13 2010



00z Runs:(21)

12z Runs:(0)

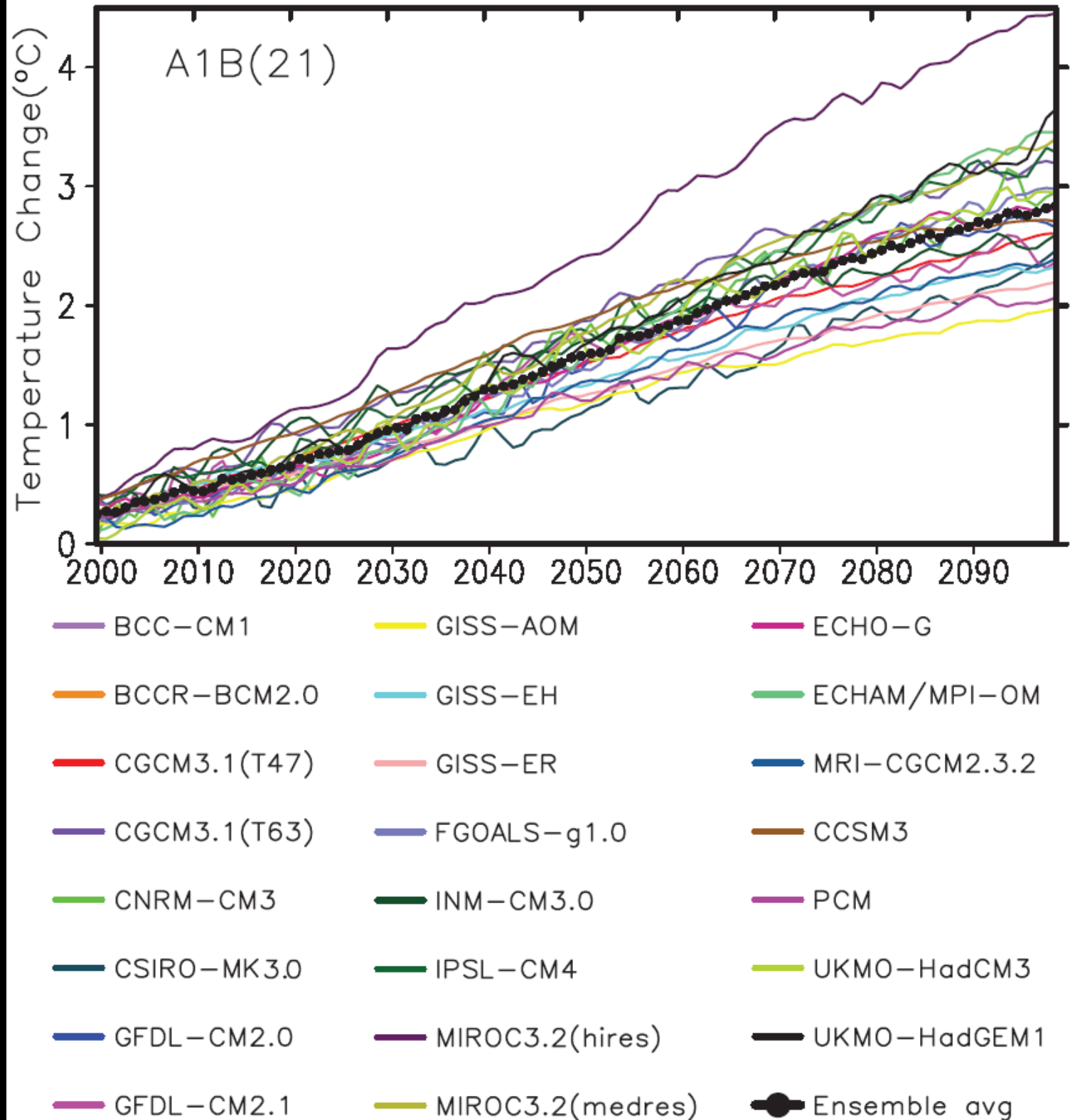
5640m 5820m Cntrl 00z Cntrl 12z CLIM

<http://www.esrl.noaa.gov/psd/map/images/ens/ens.html>

Przewidywalność klimatu problem niedokładnej znajomości układu fizycznego.

Przykład – prognoza klimatu.

Porównanie symulacji 23 modelami dla ustalonego scenariusza emisji.



http://www.windows.ucar.edu/earth/climate/images/ipcc_many_models_sm.gif

Kolejne ćwiczenie z modelowania wiązką różnych modeli w toku:

← → cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5/ ☆ cmip 5

PCMDI - Program For Climate Model Diagnosis and Intercomparison PCMDI Home | CAPT | AMIP | SMIP | PMIP | APE | Contact

Denmark Norway Japan United Kingdom Italy
Russia S. Korea Germany France
The Netherlands China Canada
Australia USA

CMIP5 Coupled Model Intercomparison Project

WCRP World Climate Research Programme

Home News CMIP3 CMIP5 Accomplishments Links Contact RSS

CMIP5 Home \ CMIP5 Home \ Overview \

CMIP5 - Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 - Overview

At a September 2008 meeting involving 20 climate modeling groups from around the world, the WCRP's Working Group on Coupled Modelling ([WGCM](#)), with input from the [IGBP AIMP](#) project, agreed to promote a new set of coordinated climate model experiments. These experiments comprise the fifth phase of the Coupled Model Intercomparison Project (CMIP5). CMIP5 will notably provide a multi-model context for 1) assessing the mechanisms responsible for model differences in poorly understood feedbacks associated with the carbon cycle and with clouds, 2) examining climate "predictability" and exploring the ability of models to predict climate on decadal time scales, and, more generally, 3) determining why similarly forced models produce a range of responses.

It is expected that some of the scientific questions that arose during preparation of the Intergovernmental Panel on Climate Change ([IPCC](#)) Fourth Assessment Report (AR4) will through CMIP5 be addressed in time for evaluation in the Fifth Assessment Report (AR5, scheduled for publication in late 2013). The [IPCC/CMIP5 schedule \(pdf\)](#) is now available and the three key dates are as follows:

- **February 2011:** First model output is expected to be available for analysis,
- **July 31, 2012:** By this date papers must be submitted for publication to be eligible for assessment by WG1,
- **March 15, 2013:** By this date papers cited by WG1 must be published or accepted.

The IPCC's AR5 is scheduled to be published in **September 2013**. Future timeline information can be found on [IPCC WG1 website](#).

CMIP5 is meant to provide a framework for coordinated climate change experiments for the next five years and thus includes simulations for assessment in the AR5 as well as others that extend beyond the AR5. CMIP5 is not, however, meant to be comprehensive; it cannot possibly include all the different model intercomparison activities that might be of value, and it is expected that various groups and interested parties will develop additional experiments that might build on and augment the experiments described here.

CMIP5 promotes a standard set of model simulations in order to:

- evaluate how realistic the models are in simulating the recent past,
- provide projections of future climate change on two time scales, near term (out to about 2035) and long term (out to 2100 and beyond), and

CMIP5 - Data Access - Availability

Please check the availability tables (updated daily) *Please use Firefox or Safari Web browsers for the site.*

- [model versus experiment](#)
- [experiment versus model](#)
- [Total ESGF Archive View](#)
- Data expected in the next several months: [Data_timeline_summary_pub.xls](#) , [Data_timeline_summary_pub.htm](#)

PCMDI has established partnerships with other data centers so that all of the CMIP5 model output can now be accessed through any one of the following ESGF gateways:

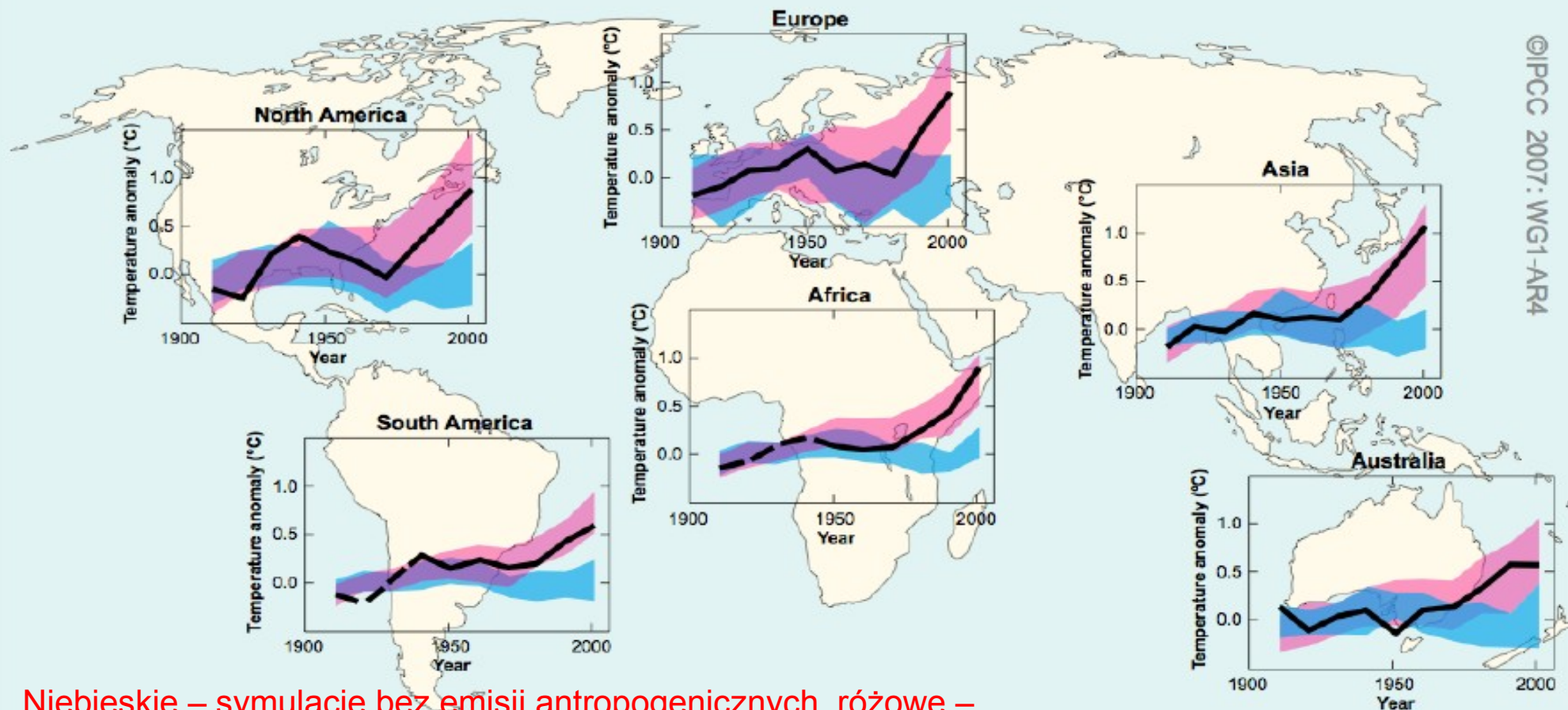
- PCMDI: <http://pcmdi9.llnl.gov/>
- BADC: <http://esgf-index1.ceda.ac.uk>
- DKRZ: <http://esgf-data.dkrz.de>
- NCI: <http://esg2.nci.org.au>

Important information concerning some models and simulations can be found by clicking on the "Modeling Center" name.

Modeling Center	Model	Institution	terms of use
BCC	BCC-CSM1.1 BCC-CSM1.1(m)	Beijing Climate Center, China Meteorological Administration	unrestricted
CCCma	CanAM4 CanCM4 CanESM2	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis	unrestricted
CMCC	CMCC-CESM CMCC-CM CMCC-CMS	Centro Euro-Mediterraneo per I Cambiamenti Climatici	non-commercial only
CNRM-CERFACS	CNRM-CM5	Centre National de Recherches Meteorologiques / Centre Europeen de Recherche et Formation Avancees en Calcul Scientifique	non-commercial only
CSIRO-BOM	ACCESS1.0 ACCESS1.3	CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Australia), and BOM (Bureau of Meteorology, Australia)	non-commercial only
CSIRO-QCCCE	CSIRO-Mk3.6.0	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation in collaboration with the	non-commercial only

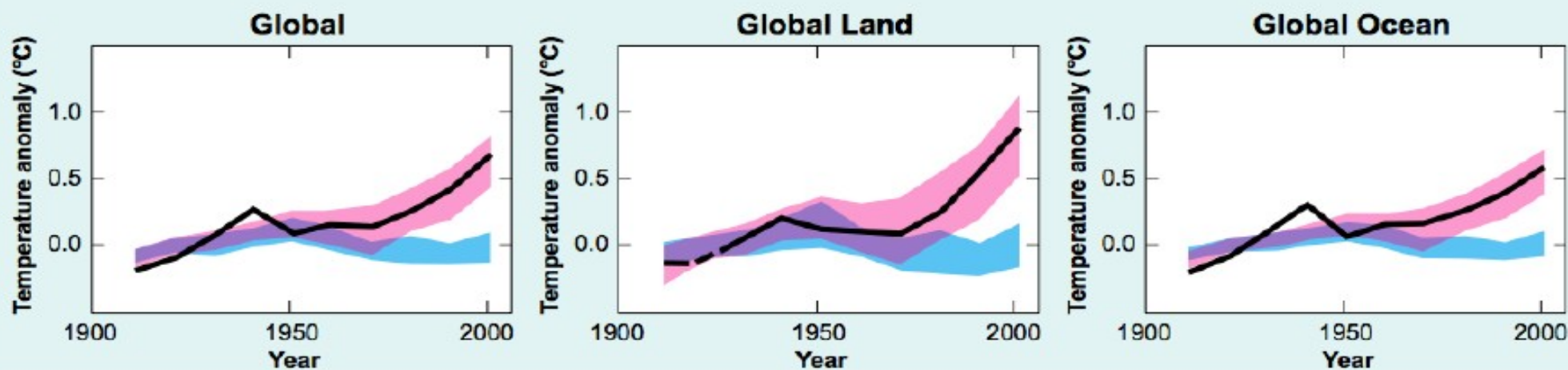
Wyniki symulacji klimatycznych – dostępne dla każdego!
Dane i wyniki w pełni jawne!

Global and Continental Temperature Change



©IPCC 2007: WG1-AR4

Niebieskie – symulacje bez emisji antropogenicznych, różowe – uwzględniające emisje antropogeniczne, czarne – dane pomiarowe.



Multi-model Averages and Assessed Ranges for Surface Warming

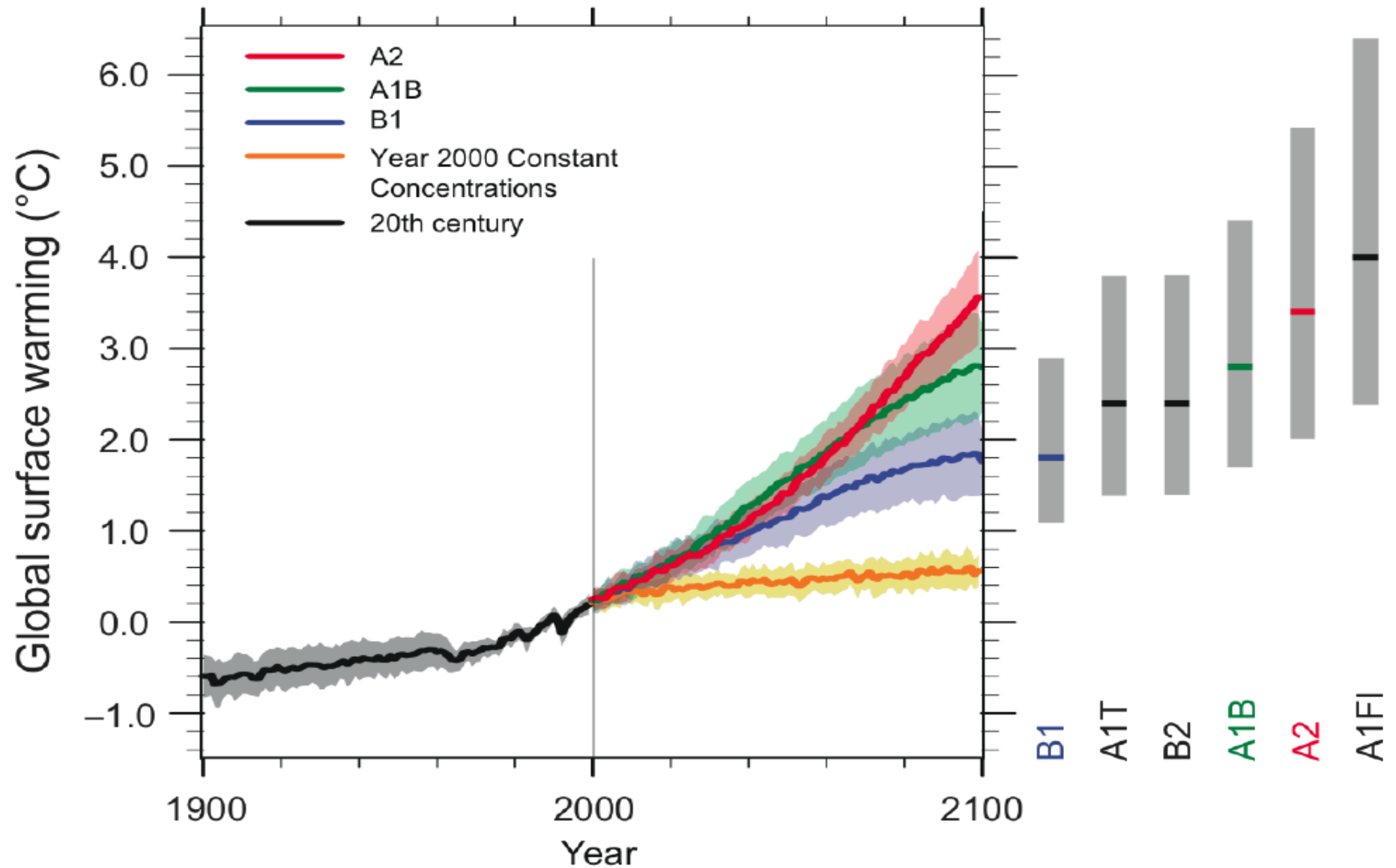
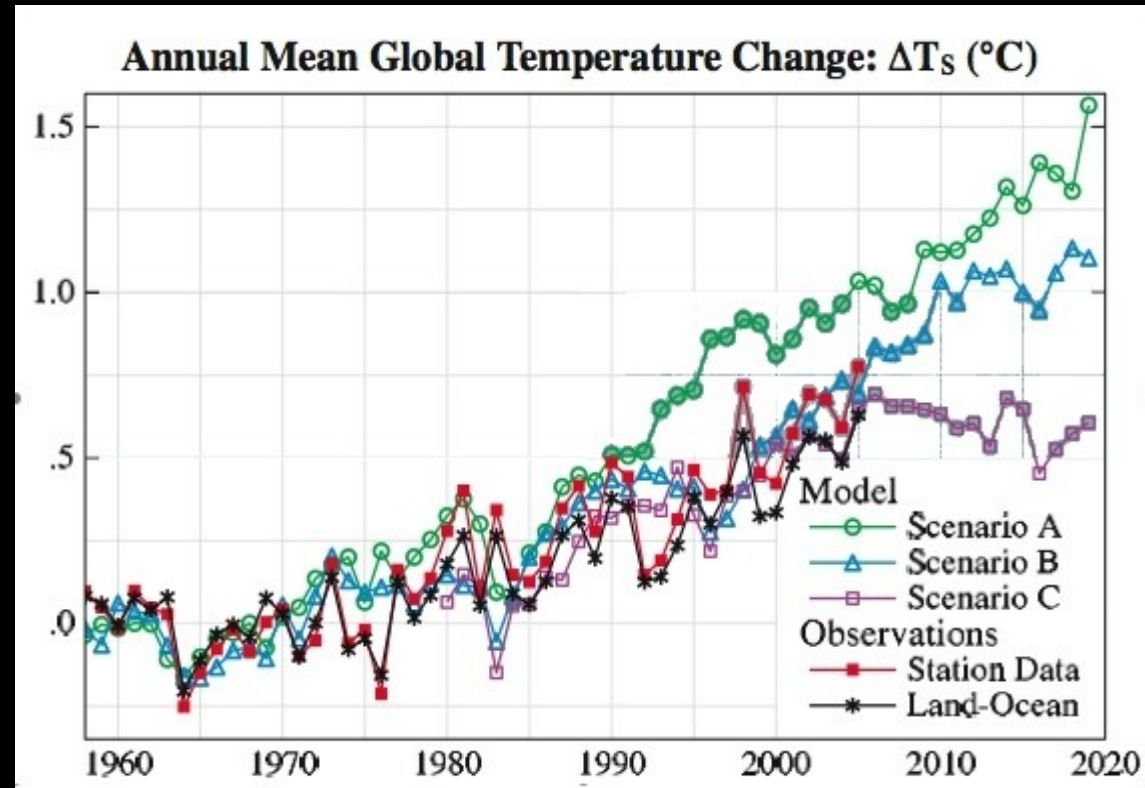
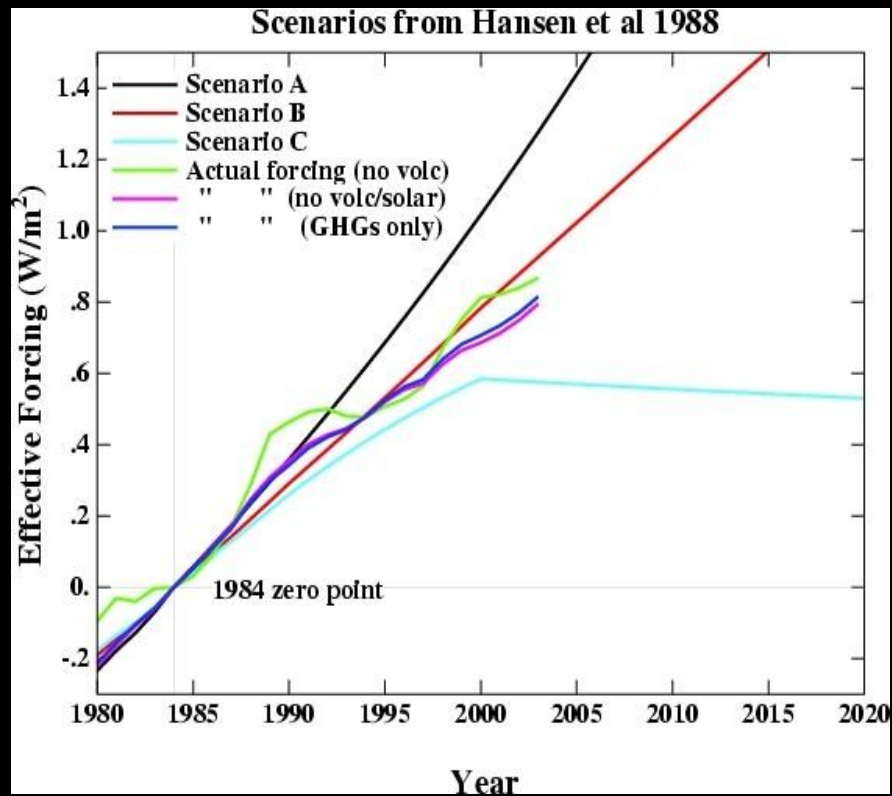


FIGURE SPM-5. Solid lines are multi-model global averages of surface warming (relative to 1980-99) for the scenarios A2, A1B and B1, shown as continuations of the 20th century simulations. Shading denotes the plus/minus one standard deviation range of individual model annual averages. The orange line is for the experiment where concentrations were held constant at year 2000 values. The gray bars at right indicate the best estimate (solid line within each bar) and the *likely* range assessed for the six SRES marker scenarios. The assessment of the best estimate and *likely* ranges in the gray bars includes the AOGCMs in the left part of the figure, as well as results from a hierarchy of independent models and observational constraints. {Figures 10.4 and 10.29}

Prognoza Hansen et al., 1988 vs. późniejsze obserwacje



Hansen, J., Mki. Sato, R. Ruedy, K. Lo, D.W. Lea, and M. Medina-Elizade, 2006: Global temperature change. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 103, 14288-14293, doi:10.1073/pnas.0606291103.

http://edgcm.columbia.edu/

Często odwiedzane ▾ Centrum Otwartej i ...

EdGCM

Home Spotlight on... Software Community Support Contact Us Purchase Download

EdGCM

Educational Global Climate Modeling

NEWS

The Project

The People

Climate News

SOFTWARE

COMMUNITY

SUPPORT

http://mitgcm.org/

Często odwiedzane ▾ Centrum Otwartej i ...

MITgcm

Spotlight on...



Modele klimatu:
do pobrania!!!

Log in Site Comments

MITgcm

M.I.T General Circulation Model News and Information

Links

- Source code
- Testing
- Documentation
- Contact Us

News Links

- About News and Features
- Latest News and Features

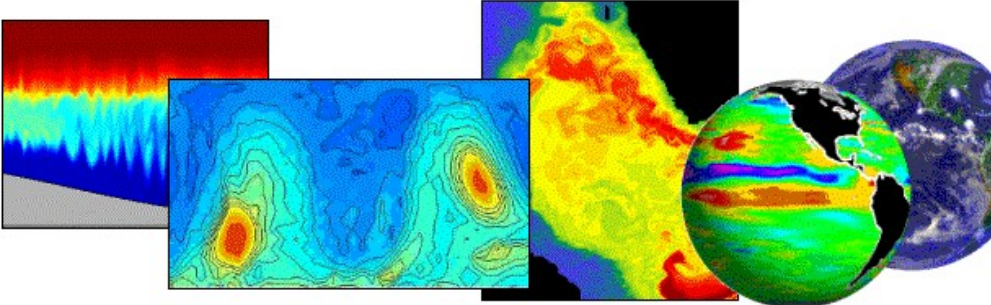
News Stories

Select month

News Categories

Select category

About MITgcm



The **MITgcm** (**MIT** General **C**irculation **M**odel) is a numerical model designed for study of the atmosphere, ocean, and climate. Its non-hydrostatic formulation enables it to simulate fluid phenomena over a wide range of scales; its adjoint capability enables it to be applied to parameter and state estimation problems. By employing fluid isomorphisms, one hydrodynamical kernel can be used to simulate flow in both the atmosphere and ocean.

You are welcome to [download](#) and use MITgcm.

Obliczenia rozproszone: i Ty możesz udostępnić swoje zasoby komputerowe!

**climateprediction.net**

The world's largest climate forecasting experiment for the 21st century.

Search this site:

[Home](#) [News](#) [About](#) [Support](#) [Experiments](#) [Climate Science](#) [weatherathome](#) [Donations](#)

Recent updates

- Two Weather At Home papers published in Bulletin of the American Meteorological Society
2012-07-13 
- Server problems resolved
2012-06-18 

Experiment status

Summary	
Model Years	130,935,223
Active Hosts	35,989
Complete Model Simulations	
HadSM3	676,902
HadAM3	17,278
HadAM3P	518,146

Welcome to Climateprediction.net

in [Welcome](#)

What is climateprediction.net?

Climateprediction.net is a distributed computing project to produce predictions of the Earth's climate up to 2100 and to test the accuracy of climate models. To do this, we need people around the world to give us time on their computers - time when they have their computers switched on, but are not using them to their full capacity.

[Read more about the experiments.](#)

What do we ask you to do?

We need you to run a climate model on your computer. The model will run automatically as a background process on your computer whenever you switch your computer on and it should not affect any other tasks for which you use your computer. As the model runs, you can watch the weather patterns on your, unique, version of the world evolve. The results are sent back to us via the internet, and you will be able to see a summary of your results on this web site. Climateprediction.net uses the same underlying software, BOINC, as many other distributed computing projects and, if you like, you can participate in more than one project at a time.

[Read more about BOINC.](#)

Why do it?

Site navigation

- [Home](#)
- [News](#)
- [About](#)
- [Support](#)
- [Experiments](#)
- [Climate Science](#)
- [weatherathome](#)
- [Donations](#)

Other links

- [BOINC](#)
- [Oxford University Atmospheric Physics](#)
- [Oxford e-Research Centre](#)
- [Met. Office](#)
- [CPDN merchandise](#)
- [climateeducation.net](#)

Technika prognozowania klimatu : multimodel ensemble – pozwala a priori na ocenę prawdopodobieństwa sprawdzenia prognozy – podejście bayesowskie.

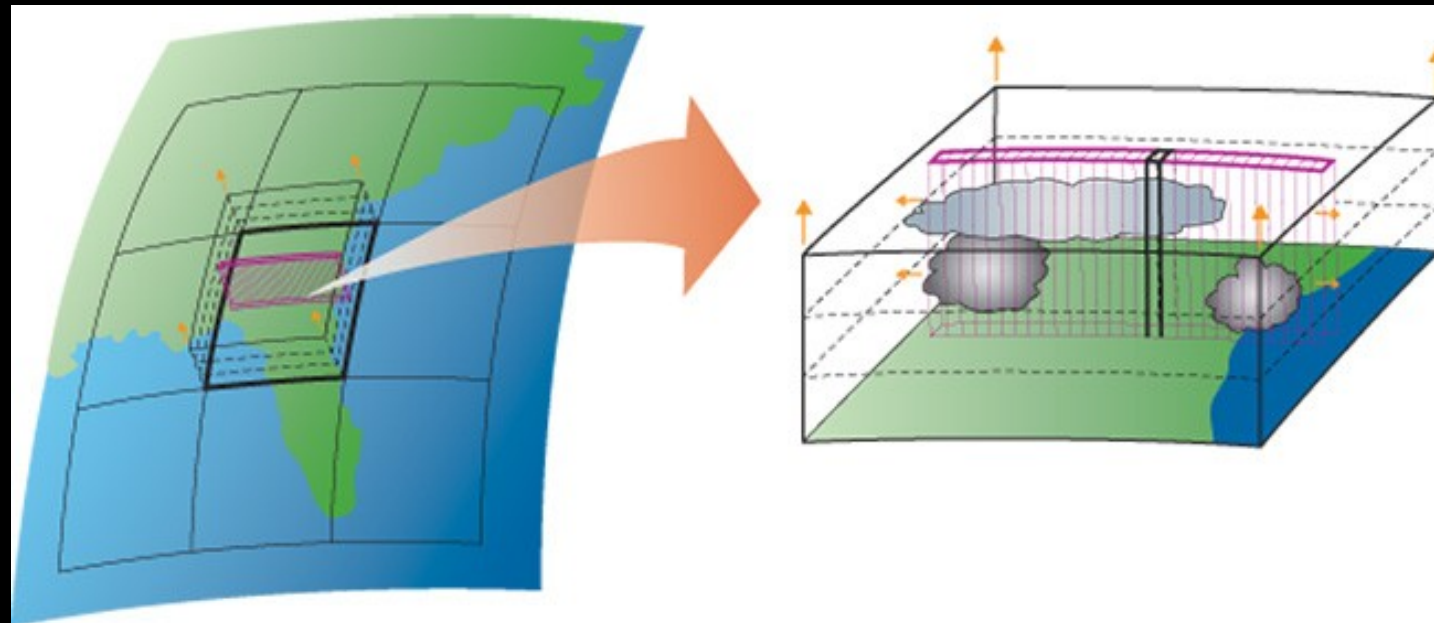
Dlaczego możemy (w ograniczonym stopniu) ufać prognozom klimatu:

- 1) modele bazują na podstawowych powszechnych prawach fizyki: zasadach zachowania energii, pędu, momentu pędu, masy....
- 2) w „wirtualnej rzeczywistości” modeli wielkości fizyczne i ich statystyki zachowują się w sposób rozsądny, a kolejne ulepszenia prowadzą do poprawy zachowań modeli zgodnie z naszym doświadczeniem i oczekiwaniami;
- 3) modele odtwarzają trendy i obserwowany rozkład przestrzenny wielu zmiennych;
- 4) testy modeli na przeszłych stanach atmosfery (w tym tych sytuacjach paleo, które dostarczają odpowiednich danych) stanowią dodatkowe, niezależne źródło weryfikacji;
- 5) różnorodne modele dają zgodne (w spodziewanych granicach) wyniki symulacji na tych samych danych;
- 6) prognozy nowej generacji modeli są zgodne ze starszymi;
- 7) potrafimy zinterpretować wyniki symulacji w sensie zrozumienia procesów fizycznych i sprzężeń.

Przeszłość, teraźniejszość i przyszłość modelowania pogody i klimatu

	ENIAC	FUJITSU VPP5000/100 (2001)	IBM Blue Gene/Q Sequoia (06-2012)	petascale computers
wydajność	500 FLOPS	10^{12} FLOPS	$2 * 10^{15}$ FLOPS	dużo* 10^{15} FLOPS
pamięć	10 słów (40B)	400 GB	~1 500 000 GB	baardzo dużo

„Multiscale modeling” - modelowanie wieloskalowe, superparametryzacje, GIGA-LES, ILES, explicit cloud-resolving....



Bodenschatz, E., S.P. Malinowski, R.A. Shaw, F. Stratmann, 2010: Can We Understand Clouds without Turbulence? *Science*, **327**, 970 – 971.

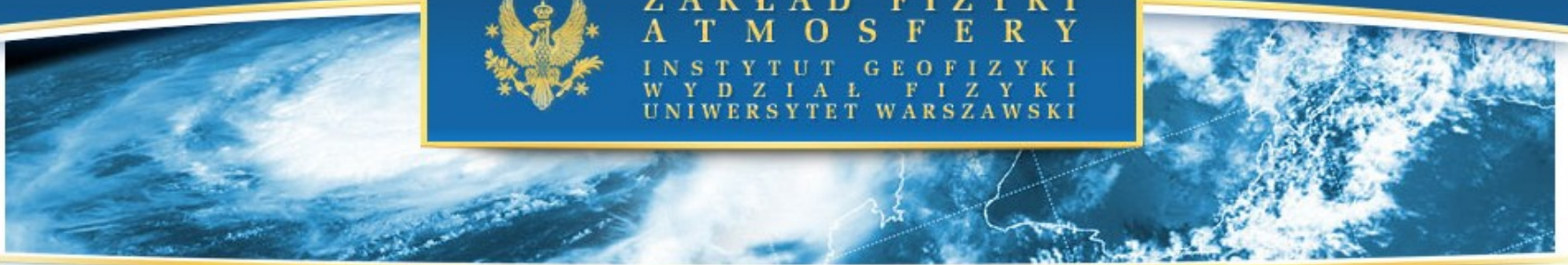
Randall D.A, Khairoutdinov M, Arakawa A, Grabowski W.W., 2003: Breaking the cloud parameterization deadlock. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, **84**, 1547-1564.

I wiele wiele innych....

Zakład Fizyki atmosfery i fizyka procesów klimatycznych

← → www.igf.fuw.edu.pl/zfa/ ☆ ↻ climateprediction

| Pracownicy | Kontakt



**ZAKŁAD FIZYKI
ATMOSFERY**
INSTYTUT GEOFIZYKI
WYDZIAŁ FIZYKI
UNIWERSYTET WARSZAWSKI

Strona główna ZFA

O Zakładzie Fizyki Atmosfery

Badania

Seminaria

Konferencje, szkoły, workshopy

Dla studentów

Popularyzacja

Biuletyn

Pogoda i klimat

Przydatne linki

Koło Naukowe

BIULETYN

Meteorologia przez Internet -

Środowiskowe Seminarium Fizyki Atmosfery

Inne

zapraszają do udziału w siódmej edycji kursu "Meteorologia przez Internet - prognozuj dla siebie".

[Więcej](#)

Konkurs na projekty polsko-norweskie otwarty

19-09-2012

[więcej](#)

Call for Proposals for Trans-National Access activities within the ACTRIS project is continuously open

18-09-2012

[Więcej](#)

Szkola letnia "Bridging the gap between"

SEMINARIA

Pomiary bilansu cieplnego i charakterystyk turbulencji nad miastem - przykład Łodzi

prof. dr hab. Krzysztof Fortuniak

30-11-2012

[Więcej](#)

[Więcej seminariów](#)

Pocztka

EUFAR

- Nowości
- Nasz udział
- Zaplanuj swój udział


European Community Airborne Laboratory

Wyszukiwarka

- laboratorium transferu radiacyjnego,
- pomiary lotnicze w chmurach, „chmura” w laboratorium,
- modelowanie numeryczne procesów atmosferycznych,
- oddziaływania atmosfera-ocean

Podsumowanie:

Rosnąca w ostatnich ~150 latach w układzie Ziemia-Atmosfera zawartość energii wewnętrznej jest bezpośrednim skutkiem wzrostu strumienia promieniowania termicznego atmosfery do powierzchni Ziemi (wzmocnienia efektu cieplarnianego).

Pierwotną przyczyną tego wzmocnionego efektu cieplarnianego jest wzrost koncentracji gazów cieplarnianych, głównie CO₂, spowodowana działalnością człowieka, w pierwszej mierze spalaniem paliw kopalnych. Badania składu izotopowego węgla w atmosferycznym CO₂ i bilans węgla jednoznacznie dokumentują pochodzenie tego gazu.

Inne BEZPOŚREDNIE antropogeniczne oddziaływania na klimat to zmiany własności optycznych atmosfery wskutek emisji aerozolu, zmiany własności optycznych chmur, zmiany w albedo powierzchni ziemi, zmiany w tempie cyklu węglowego wskutek wycinania lasów i działalności rolniczej i zanieczyszczenia oceanów.

Pogoda to nie klimat. Wiemy dlaczego nie potrafimy zrobić wiarygodnej prognozy pogody na okres dłuższy niż kilkanaście dni. Wiemy też że możemy zrobić wiarygodną (w pewnym sensie) prognozę klimatu.

W szczególności:
analiza wyników symulacji wieloma modelami klimatu pozwala określić niektóre związki między wymuszeniami i odpowiedzią systemu klimatycznego na te wymuszenia.

Wyniki tych analiz pokazują, że system klimatyczny jest w skali czasu ~ 100 lat wrażliwy na zmiany koncentracji gazów cieplarnianych w atmosferze.

Szacowana na podstawie danych paleoklimatycznych i obliczana modelami czułość systemu klimatycznego (w sensie zmiany średniej temperatury globalnej) na wymuszenia długożyjącymi gazami cieplarnianymi wynosi ok. 3K przy podwojeniu koncentracji CO₂.

Wybrane odnośniki:

<http://www.igf.fuw.edu.pl/zfa/>

http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/contents.html

<http://earthobservatory.nasa.gov/>

<http://metobs.igf.fuw.edu.pl/>

<http://edgcm.columbia.edu/>

<http://www.aip.org/history/climate/>

<http://www-pcmdi.llnl.gov/>

<http://hadobs.metoffice.com/>

<http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/paleo.html>

<http://www.noaa.gov/climate.html>

<http://www.cgd.ucar.edu/>

<http://wcrp.wmo.int/wcrp-index.html>

<http://www.globalcarbonproject.org/>

<http://www.argo.ucsd.edu/>