


MECHANIZMY KLIMATYCZNE

GLOBALNE OCIEPLENIE OKIEM FIZYKA

Szymon Malinowski

**Instytut Geofizyki
Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego**



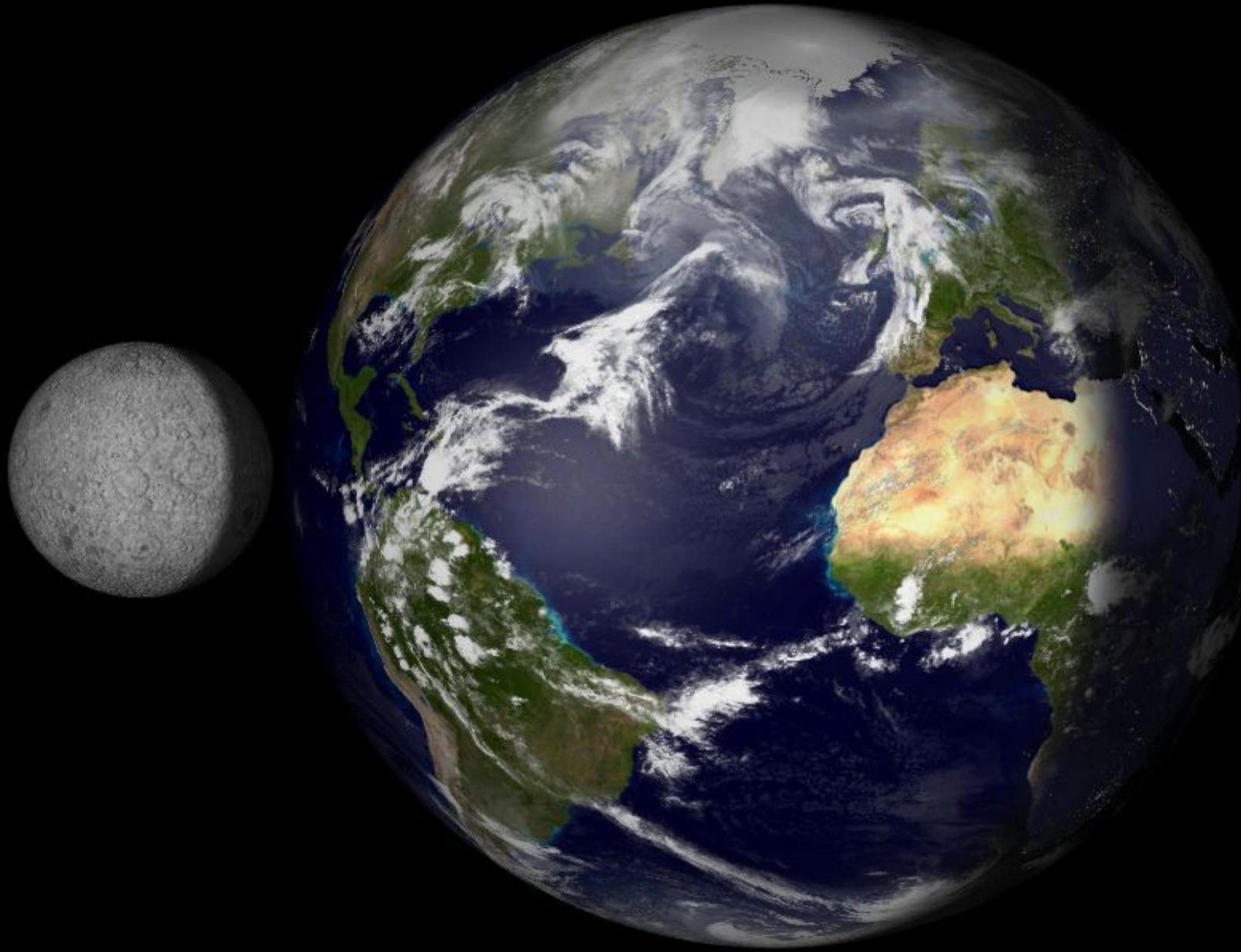
Do ZIEMI dociera krótkofalowe (gł. widzialne) promieniowanie termiczne SŁOŃCA. Ziemia odbija część tego promieniowania, resztę pochłania.

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?

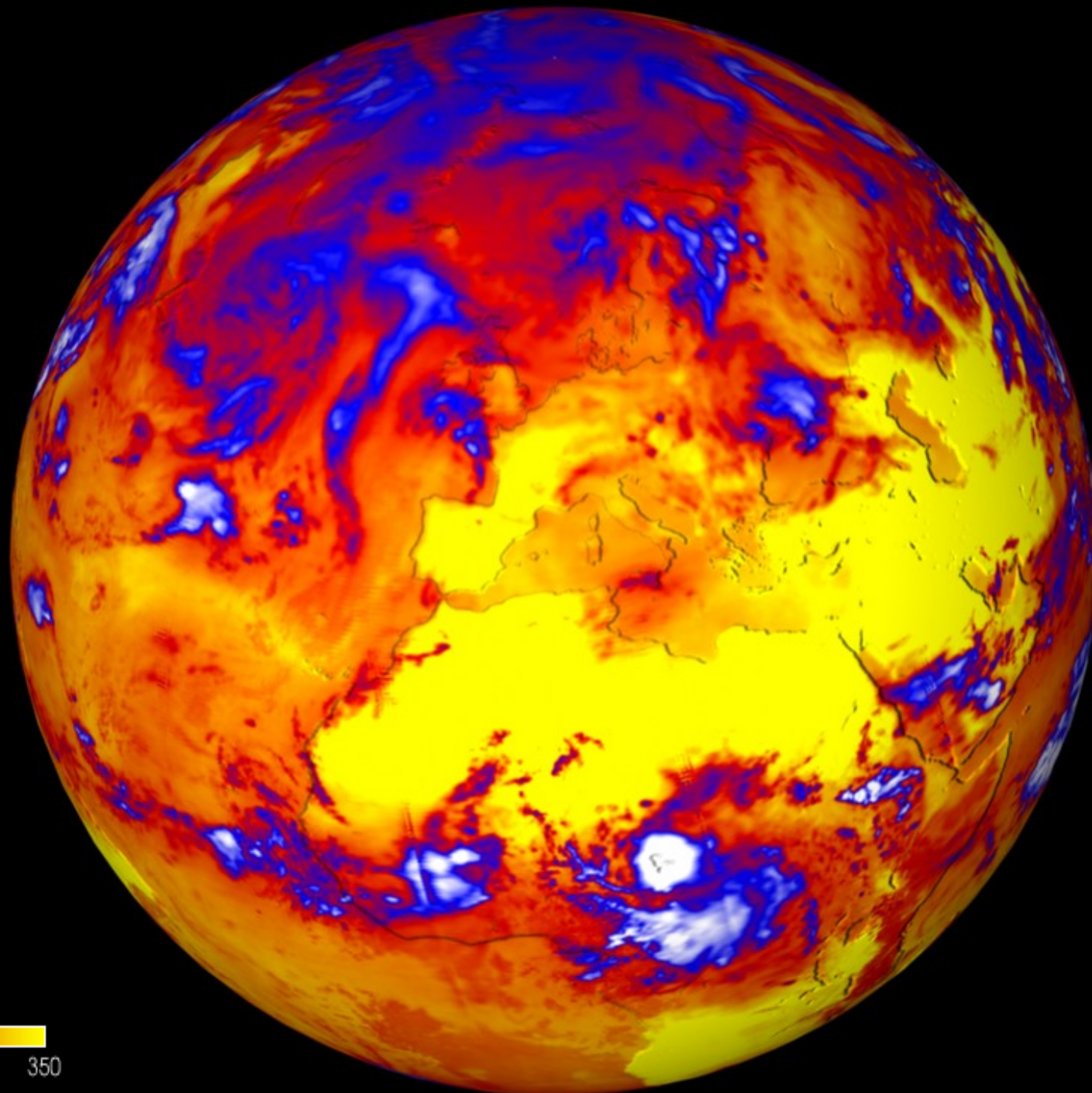


Looking at Earth from Mars
Wed Apr 21 16:54:05 2004 GMT
obs 24.4 N 24.5 W
sun 12.2 N 73.8 W
fov 4.7 arc minutes
dist 313.6 million km
illumination 83.4 %



Jednostka powierzchni każdego z tych ciał średnio otrzymuje od Słońca
tyle samo energii!

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



Emitted Heat Radiation (W/m^2)

85

350

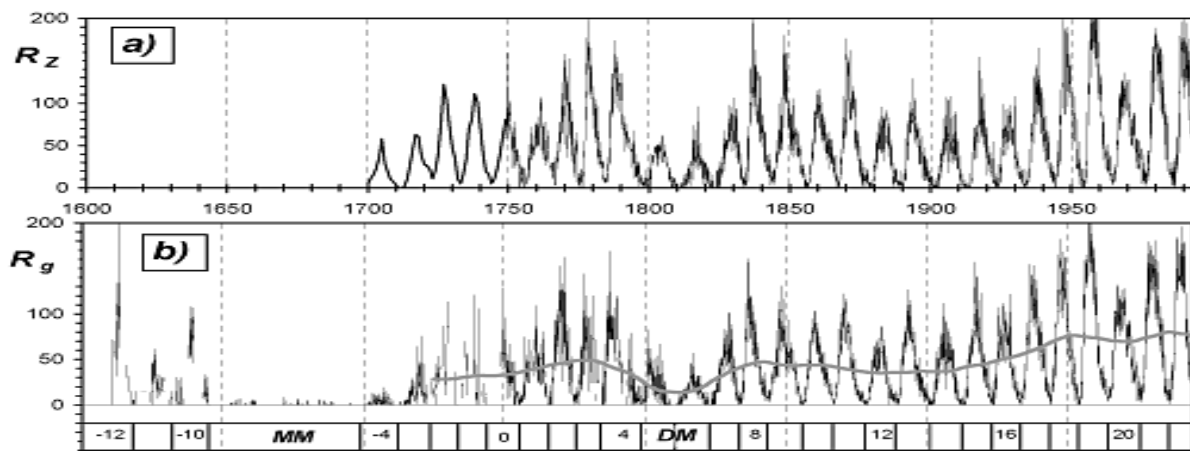


Figure 1: Sunspot numbers since 1610. a) Monthly (since 1749) and yearly (1700 – 1749) Wolf sunspot number series. b) Monthly group sunspot number series. The grey line presents the 11-year running mean after the Maunder minimum. Standard (Zürich) cycle numbering as well as the Maunder minimum (MM) and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



PLAMY NA SŁÓŃCU

I.G. Usoskin "A History of Solar Activity over Millennia"

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

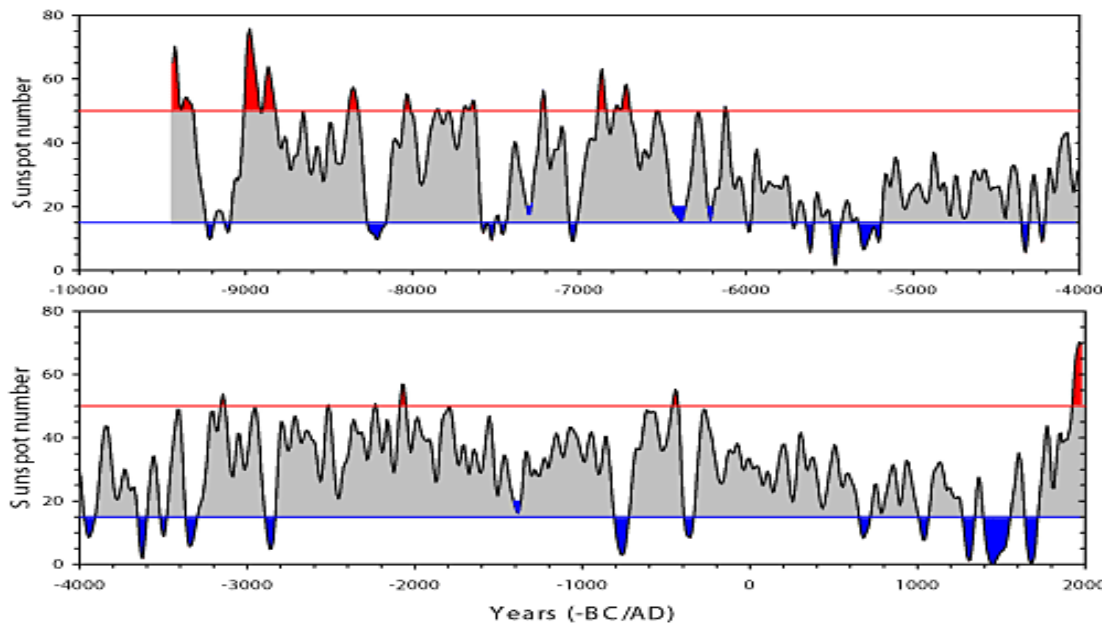
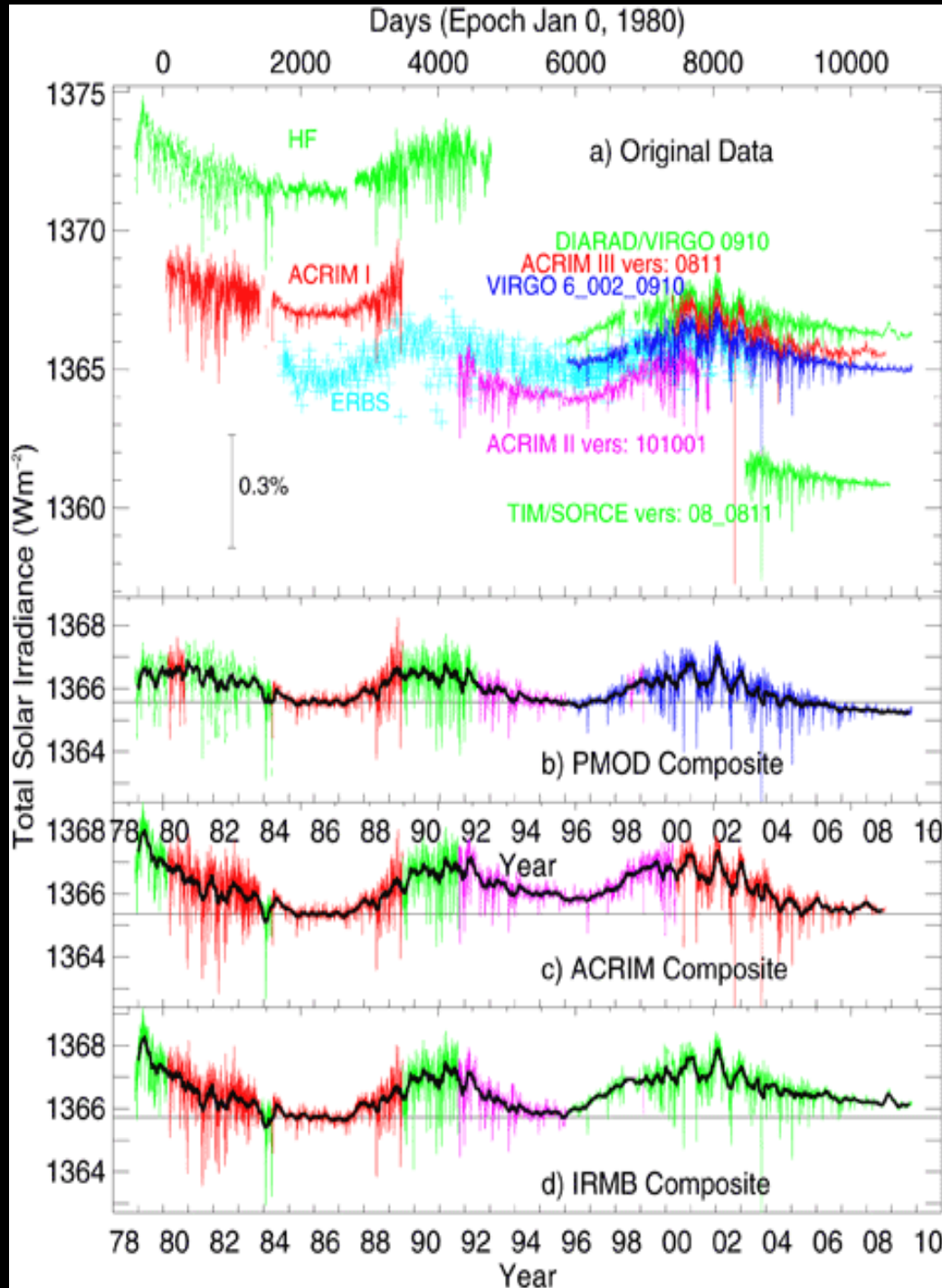


Figure 17: Sunspot activity (over decades, smoothed with a 12221 filter) throughout the Holocene, reconstructed from ^{14}C by Usoskin *et al.* (2007) using geomagnetic data by Yang *et al.* (2000). Blue and red areas denote grand minima and maxima, respectively.]

Jak plamy mają się do strumienia energii docierającej od Słońca?

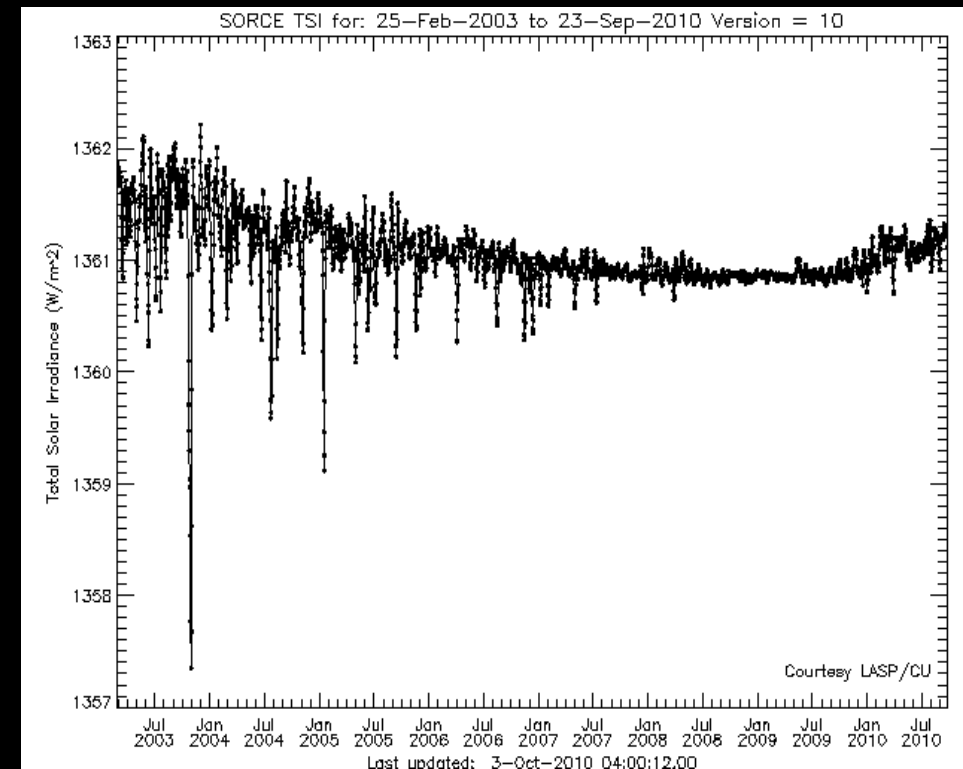


Mimo znacznych fluktuacji liczby plam na Słońcu strumień energii jaki dociera do Ziemi zmienia się nieznacznie.

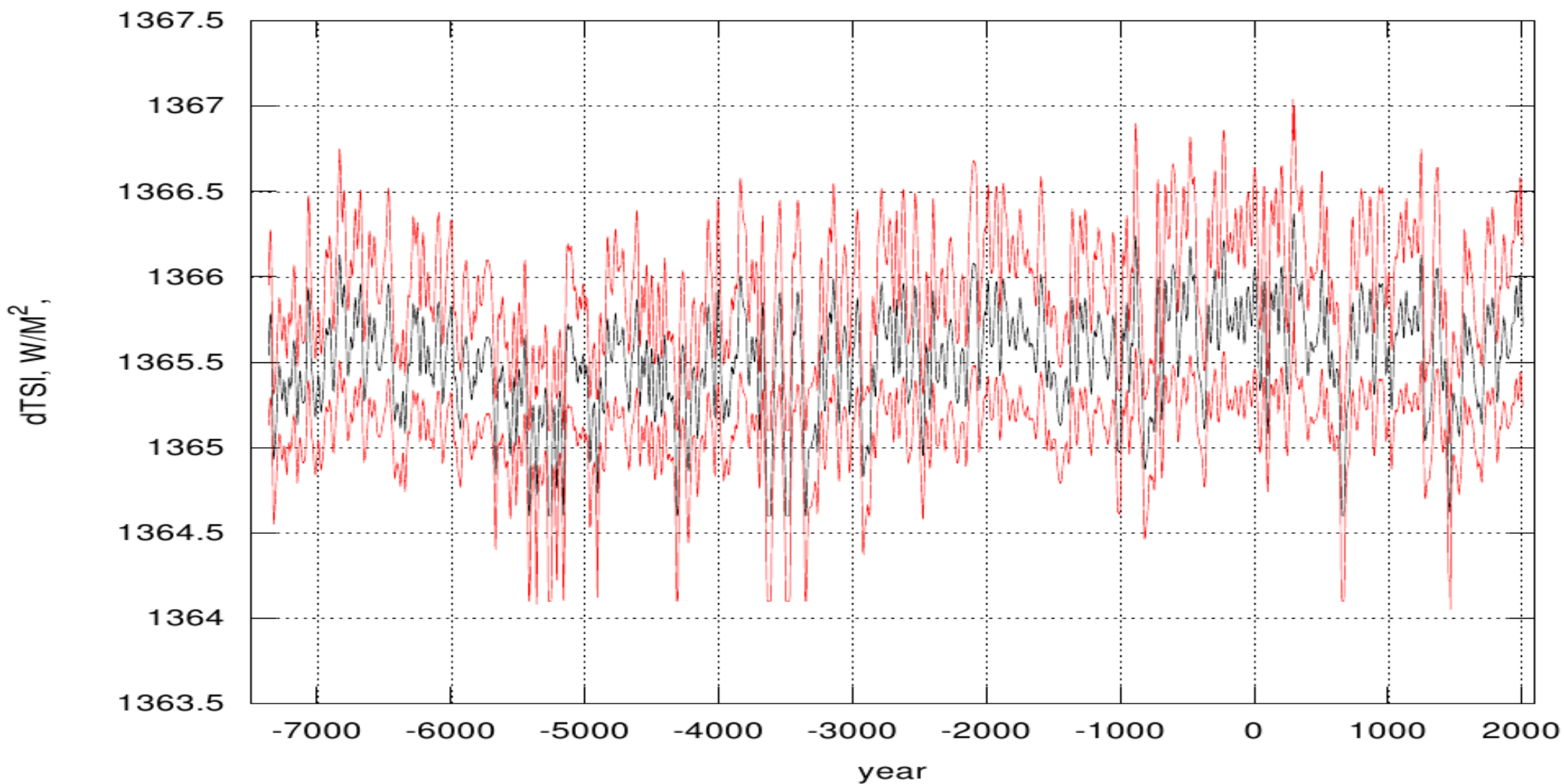
<http://www.pmodwrc.ch/pmod.php?topic=tsi/composite/SolarConstant>

The Solar Radiation and Climate Experiment (SORCE):

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



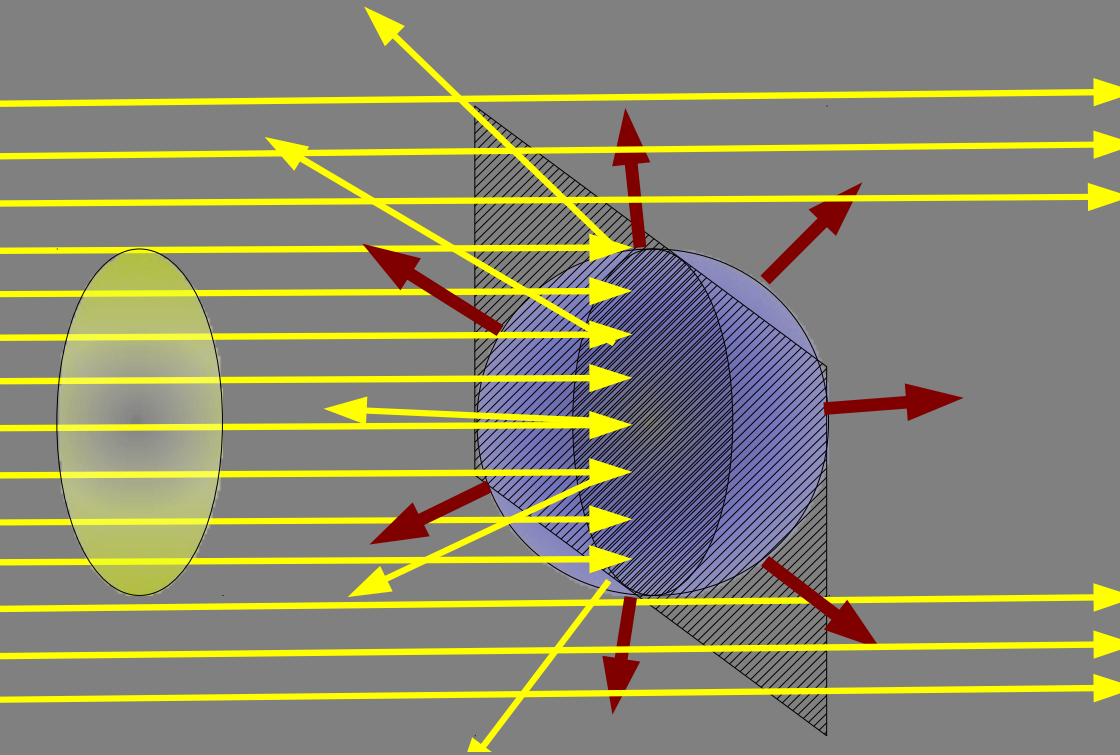
Rekonstrukcja (na podstawie badań izotopowych) zmian stałej słonecznej (strumienia energii słonecznej docierającej do powierzchni Ziemi) w holocenie.



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

LAST UPDATE: 11/2009 (Original Receipt by WDC Paleo)
IGBP PAGES/WDC 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:

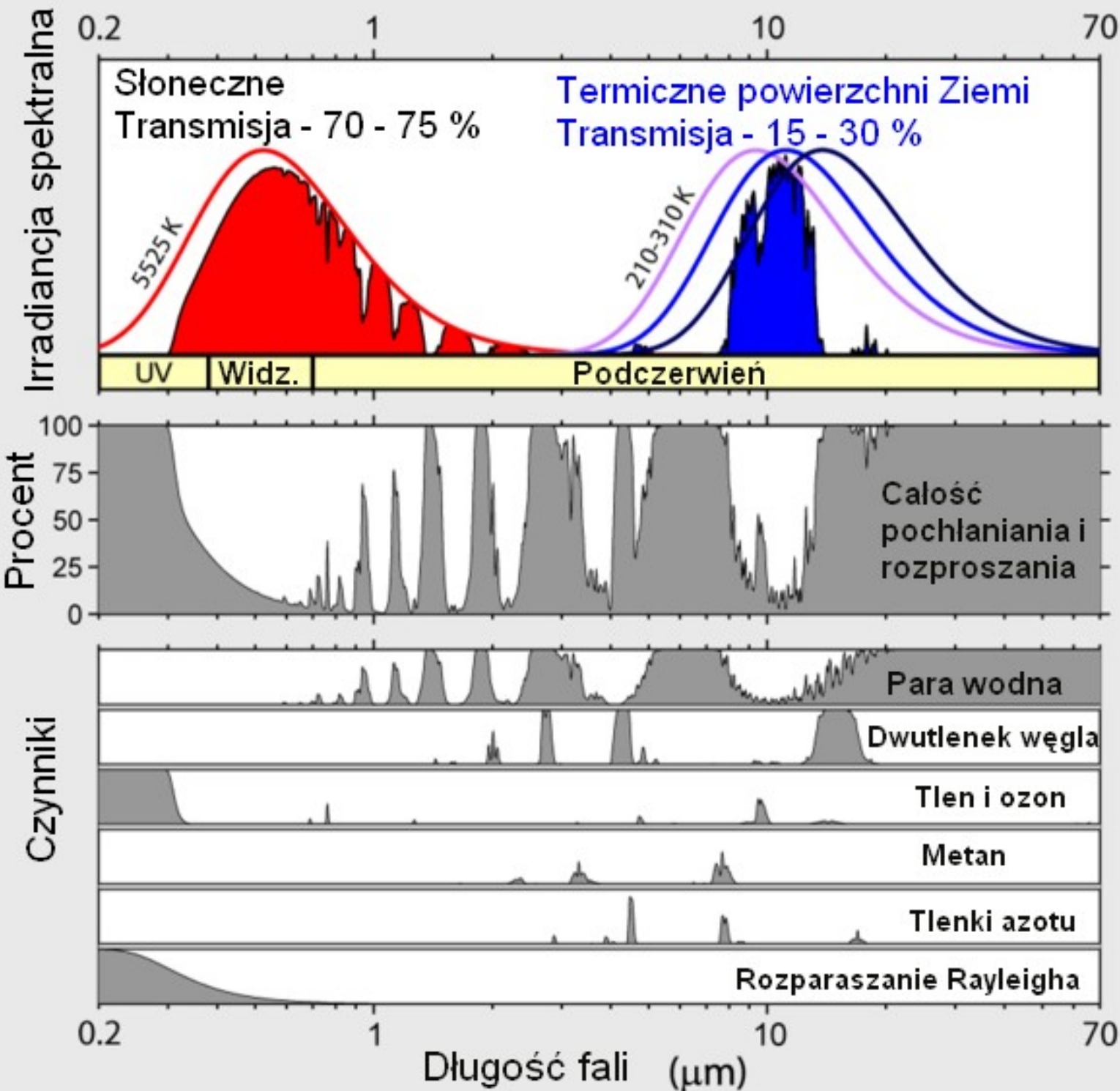
$$T_E = \sqrt[4]{\frac{(1-A)S}{4\sigma}}$$

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



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



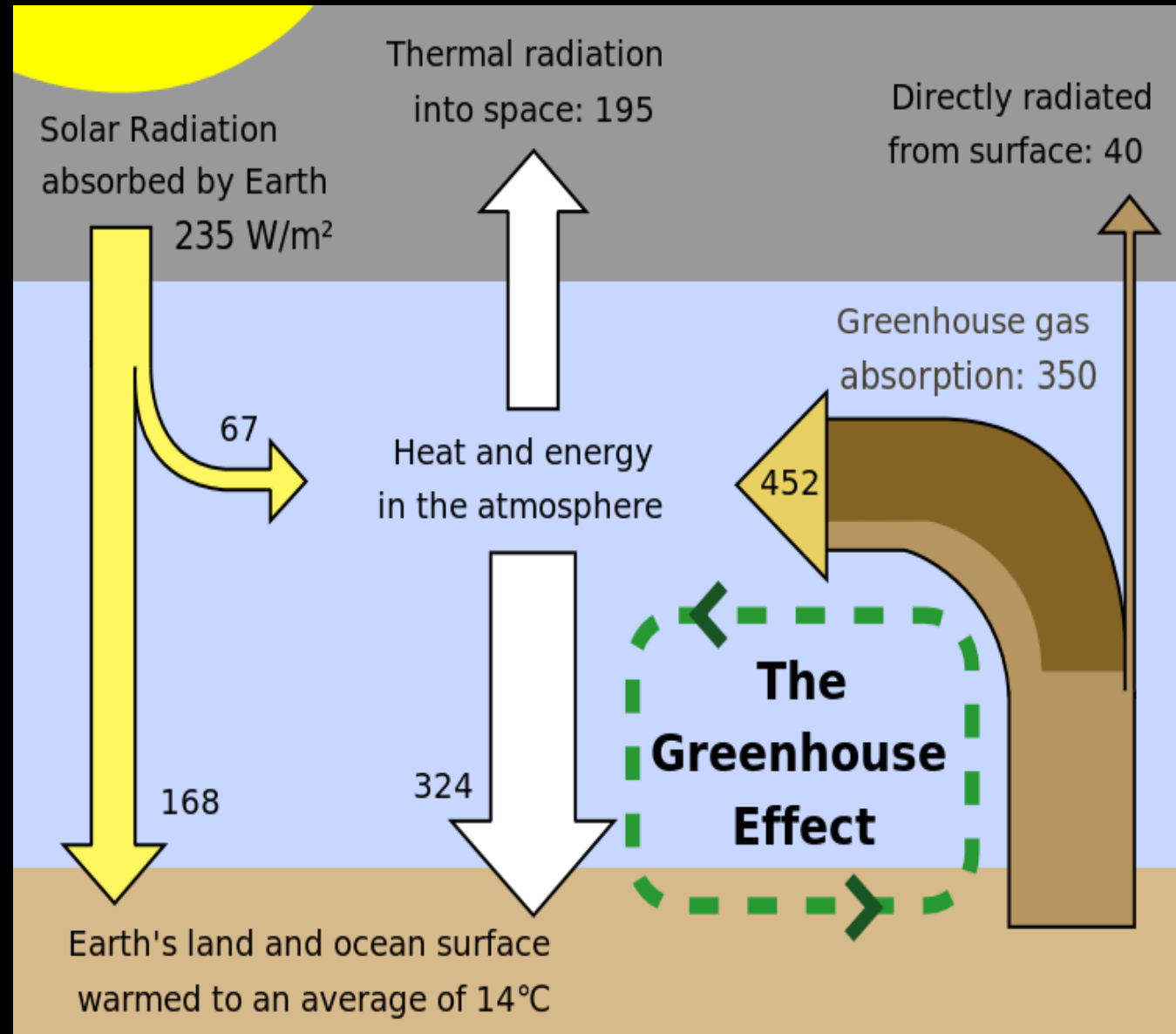
Promieniowanie słoneczne (krótkofalowe) i podczerwone (długofalowe) w atmosferze ziemskiej.

Pochłanianie i rozpraszanie promieniowania przez wybrane składniki atmosfery.

EFEKT CIEPLARNIANY

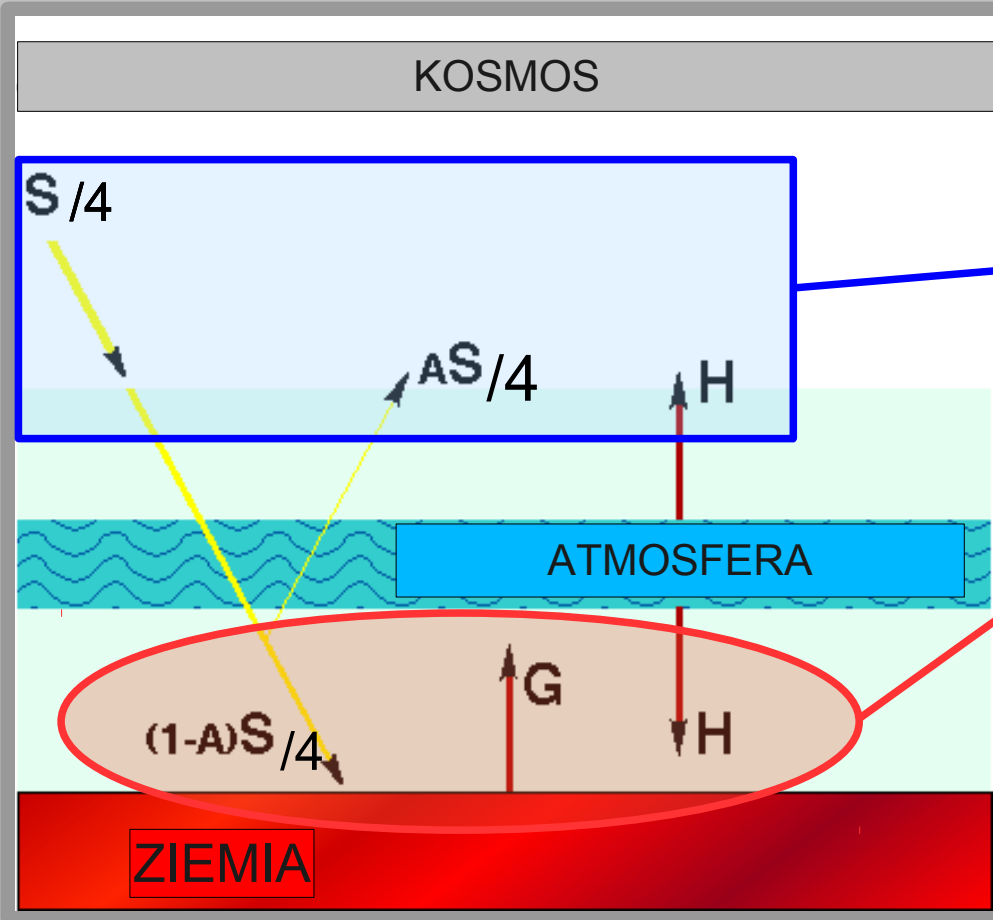
Efekt cieplarniany występuje, gdy atmosfera zawiera **gazy pochłaniające promieniowanie termiczne (podczerwone)**. Promieniowanie termiczne emitowane z powierzchni planety nie może wydostać się bezpośrednio w kosmos, bo **jest pochłonięte przez atmosferę**. Atmosfera ogrzewa się od tego pochłoniętego promieniowania i w **sama emituje promieniowanie termiczne: w kosmos i do powierzchni planety**. W związku z tym, do powierzchni planety dociera **więcej energii, niż gdyby nie było atmosfery**.

Uwaga – liczby przybliżone, są nowsze oszacowania!



POGLĄDOWY MODEL EFEKTU CIEPLARNIANEGO

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



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

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

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 więc: $T_G = \sqrt[4]{2} T_E$

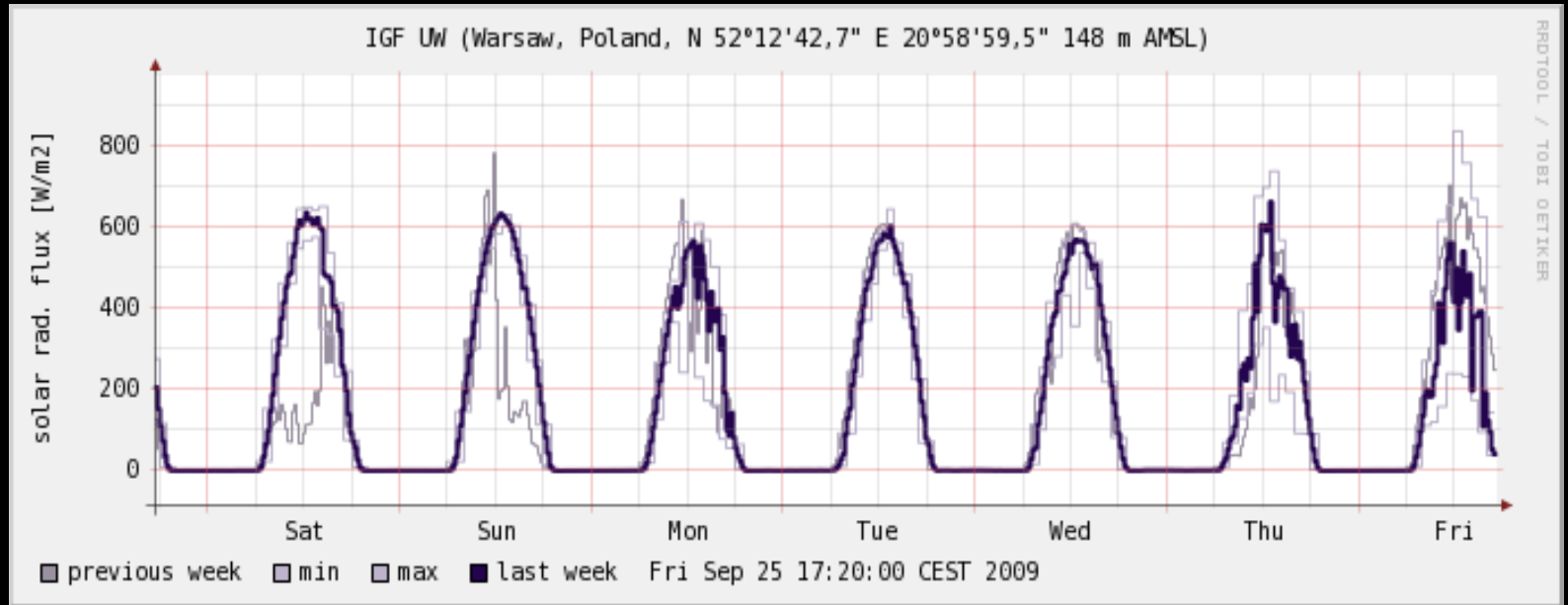
Dla N warstw absorbujących dostaniemy: $T_G = \sqrt[4]{N+1} T_E$

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

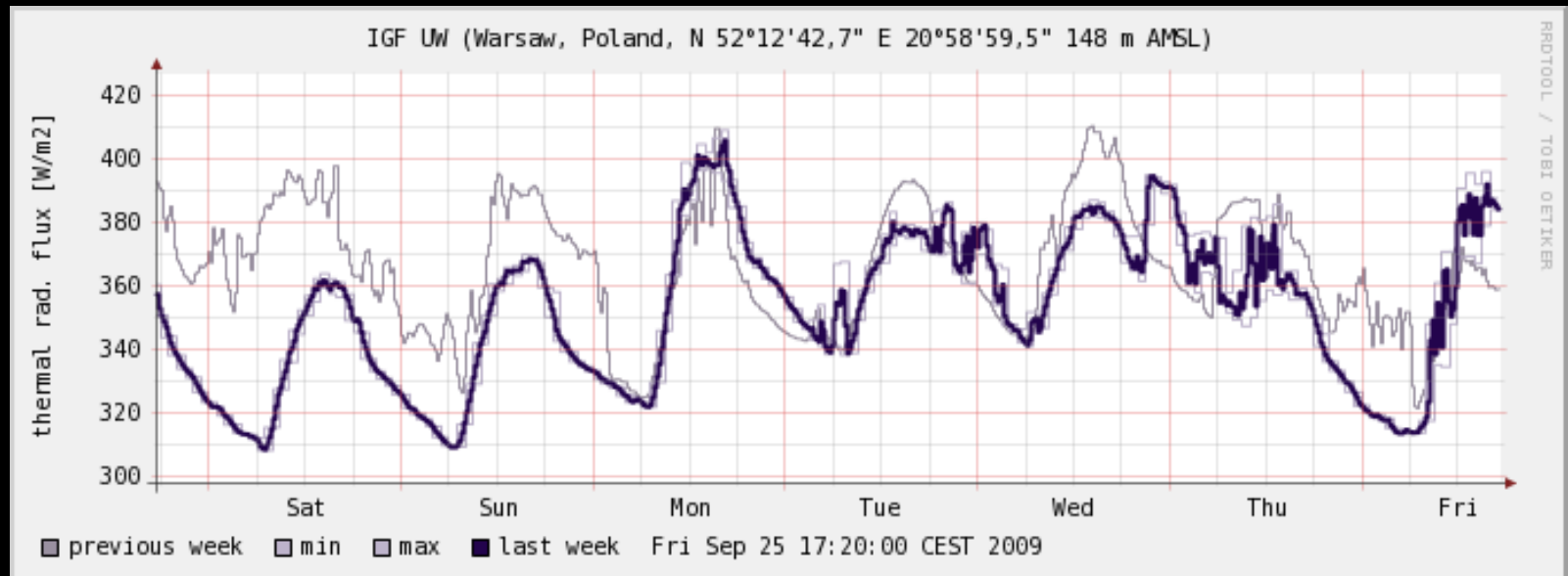
Energia słoneczna

Pomiary
strumienia
SW
(promieniowania
rótkofalowego)
przy powierzchni
Ziemi



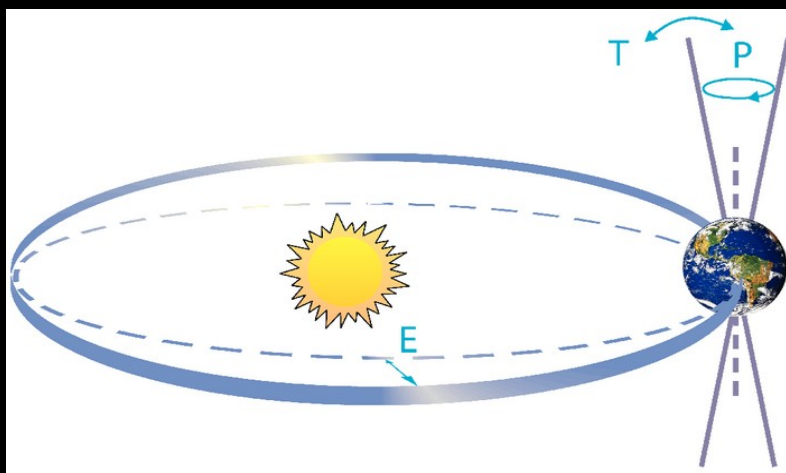
Energia promieniowania zwrotnego atmosfery – efekt cieplarniany

Pomiary
strumienia
LW
(promieniowania
podczerwonego)
przy powierzchni
Ziemi.



metobs.igf.fuw.edu.pl

Zmiany w dopływie energii słonecznej wskutek zmian orbitalnych



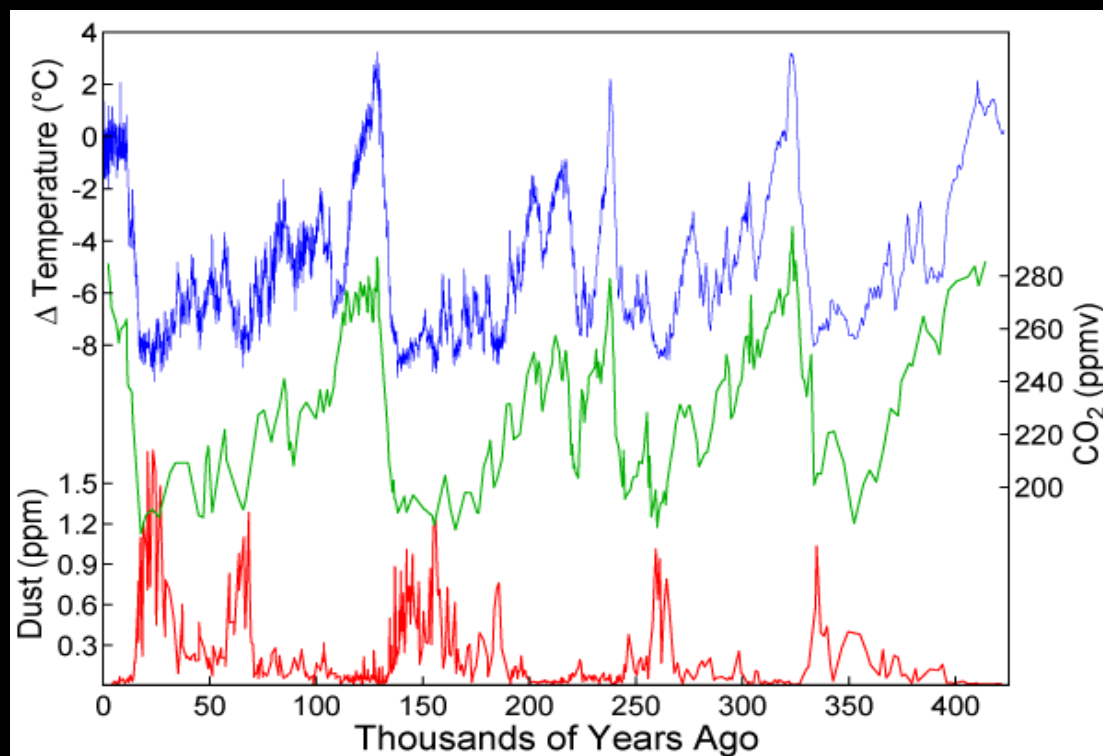
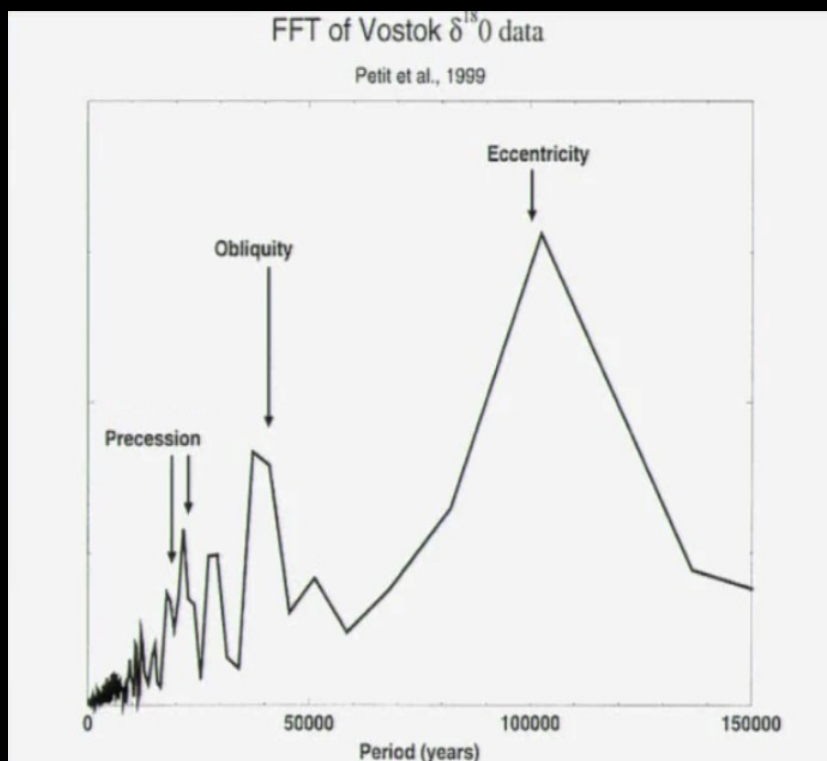
Cykle Milankovicha:

'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 łądów 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:

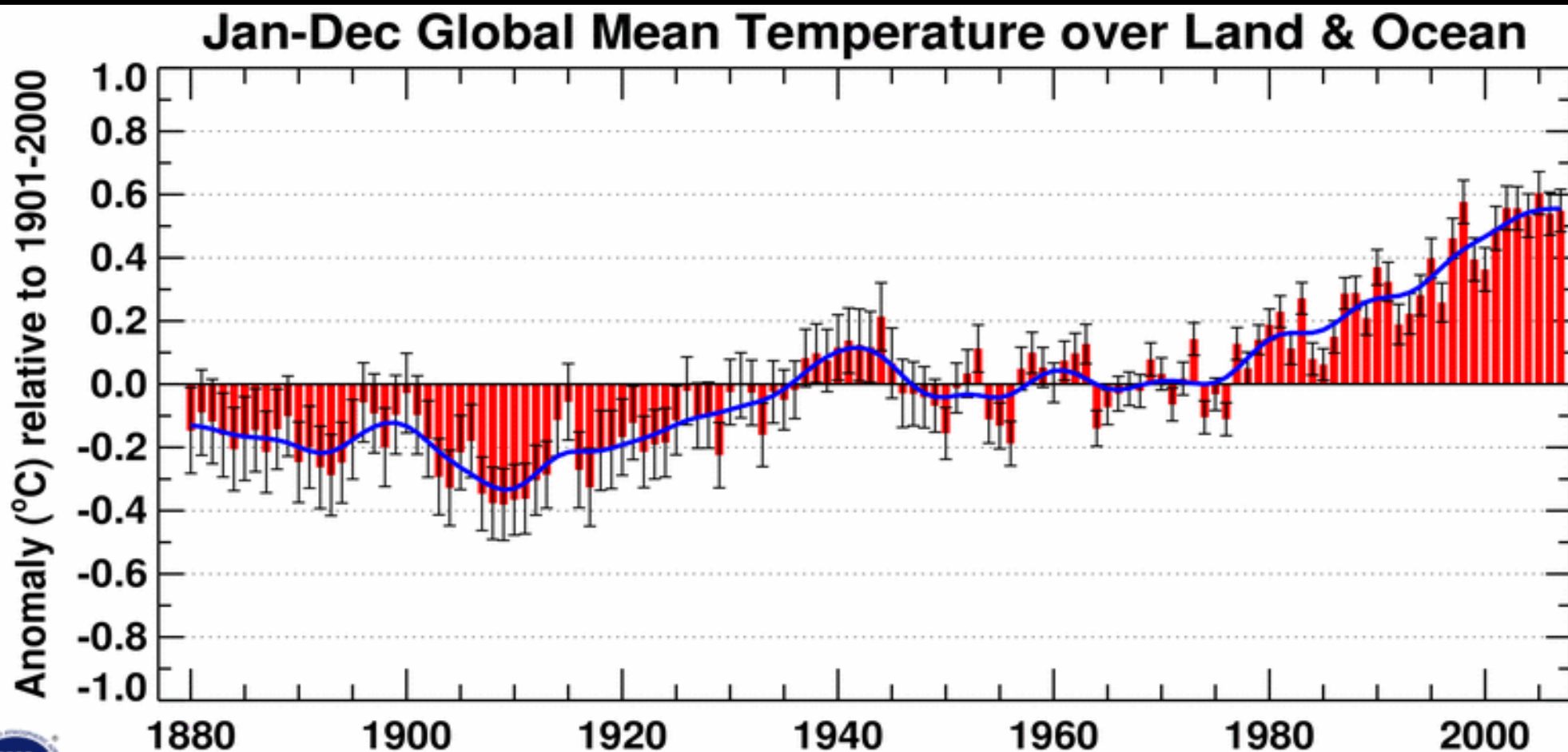
- 3) Za koniec epok lodowych odpowiada zmiana nachylenia osi / precesji przy odpowiednim stanie ekscentryczności → topnienie lodu na biegunach.
- 4) Zmiany w cyrkulacji oceanicznej i monsunowej powodują zwiększoną emisję CO₂ z oceanów, rośnie efekt cieplarniany.
(np. Huybers i Wunsch, 2005, Cheng i inni,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



Badając aktualną sytuację mamy do czynienia z przypadkiem w którym j 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!!!).

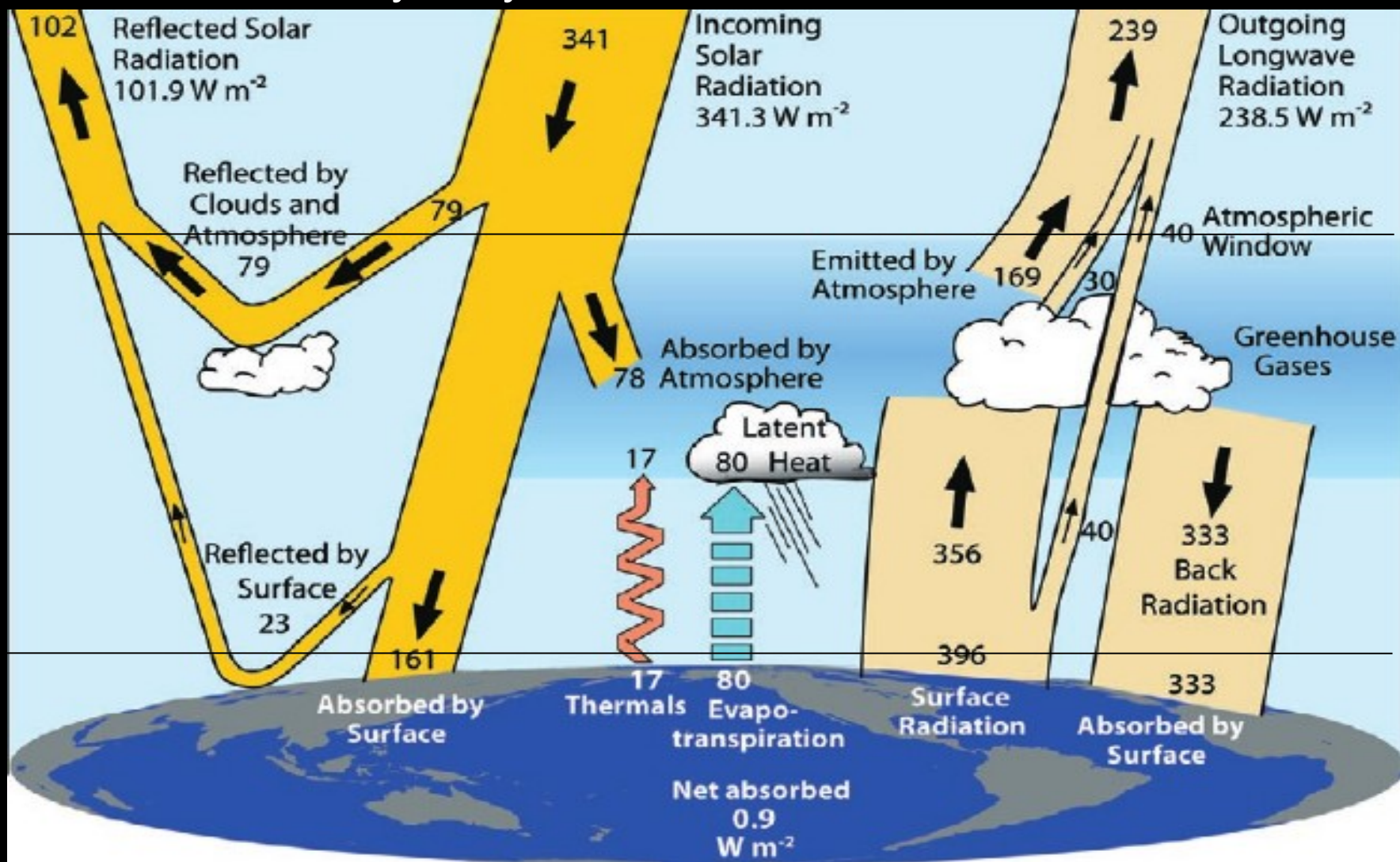
KLIMAT to skomplikowana MASZYNA CIEPLNA.

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.

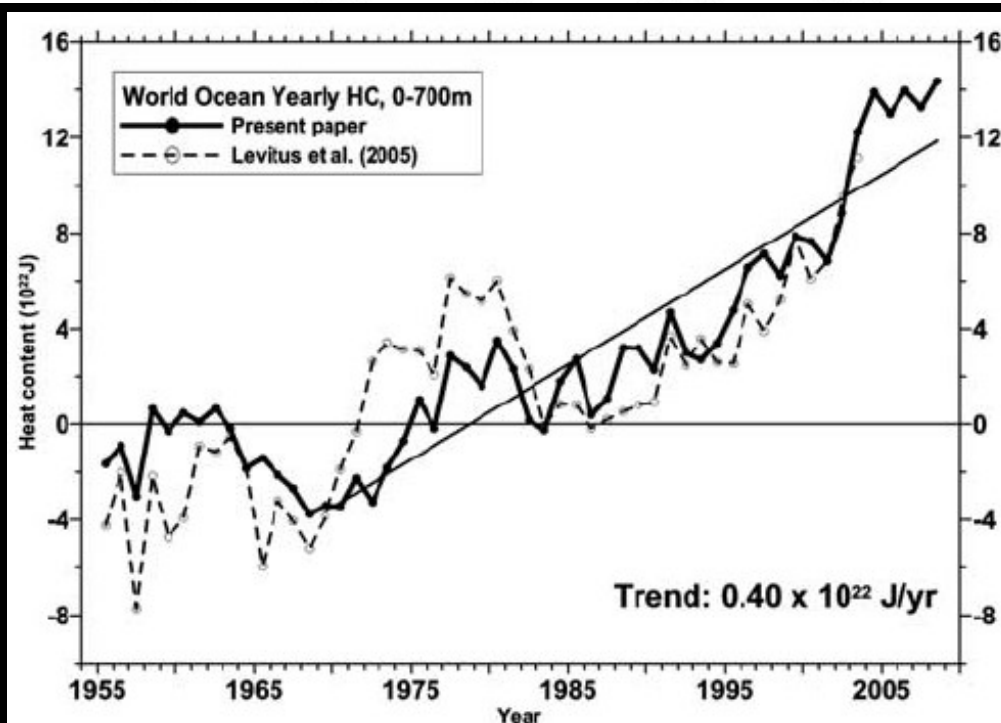
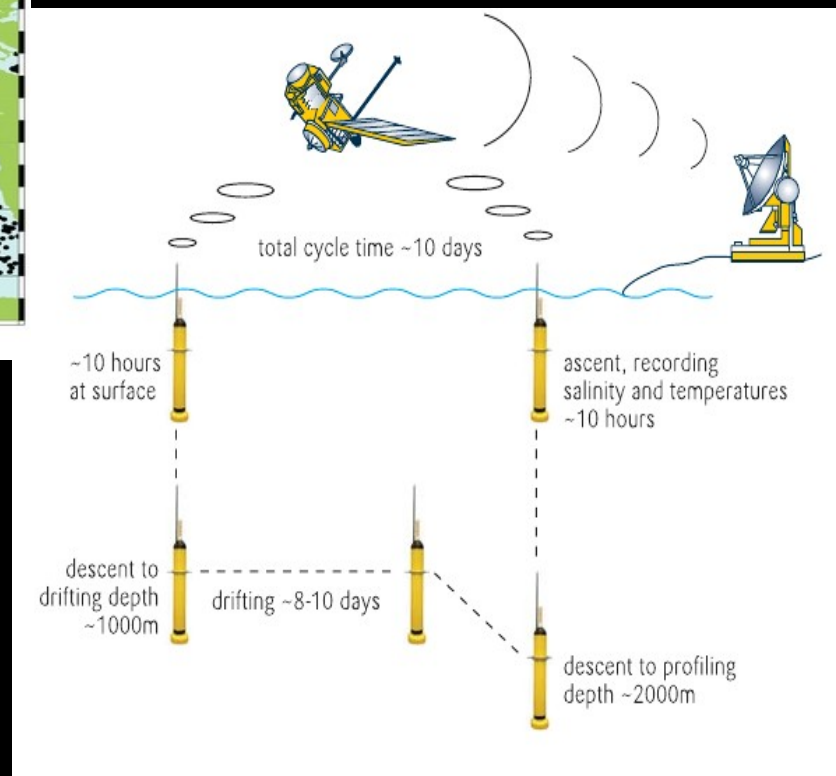
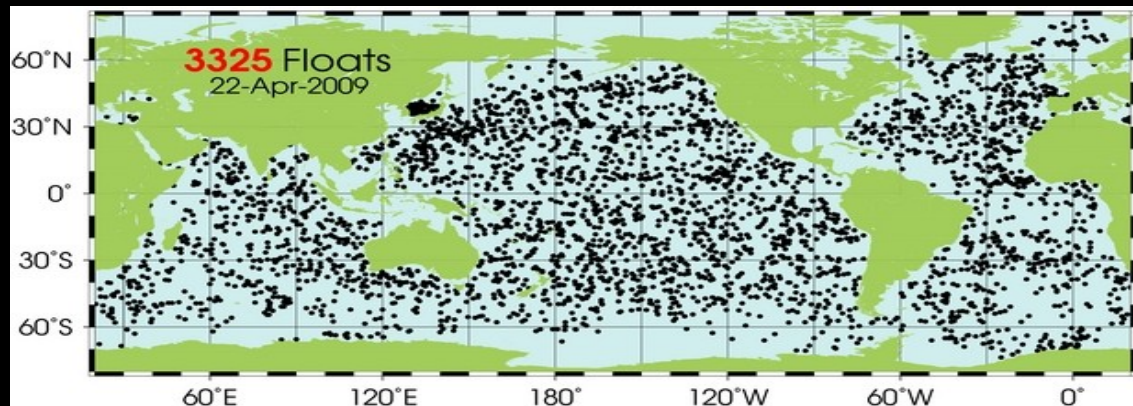
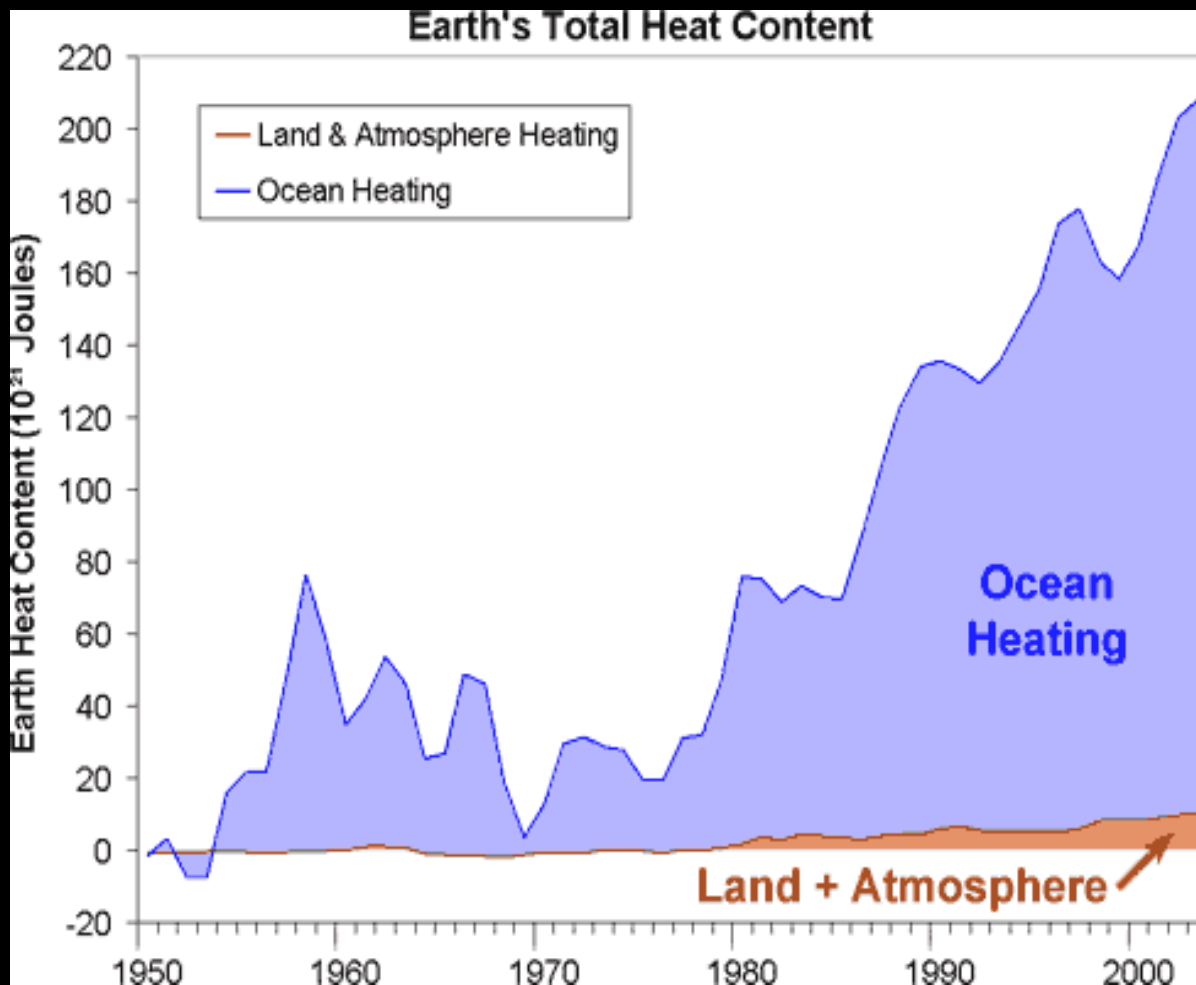


Figure 1. Time series of yearly ocean heat content (10^{22} J) for the 0–700 m layer from this study (solid) and from *Levitus et al.* [2005a] (dashed). Each yearly estimate is plotted at the midpoint of the year. Reference period is 1957–1990.

Rośnie ilość energii (ciepła) 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

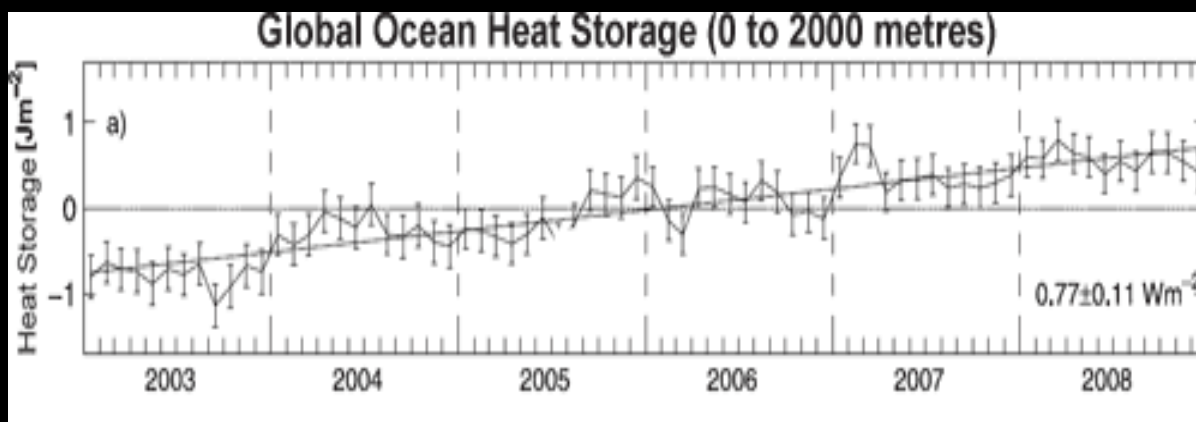


Za:

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

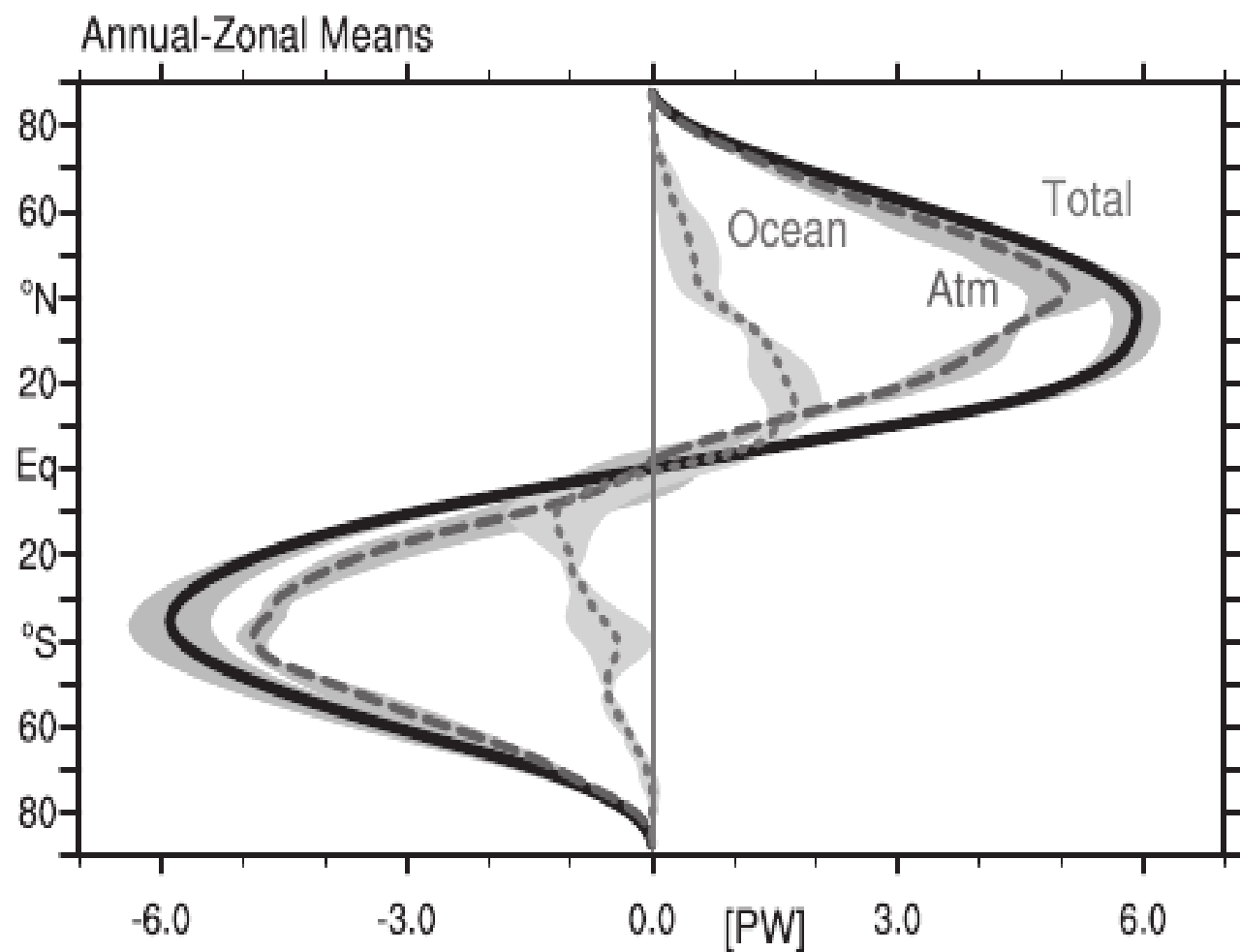
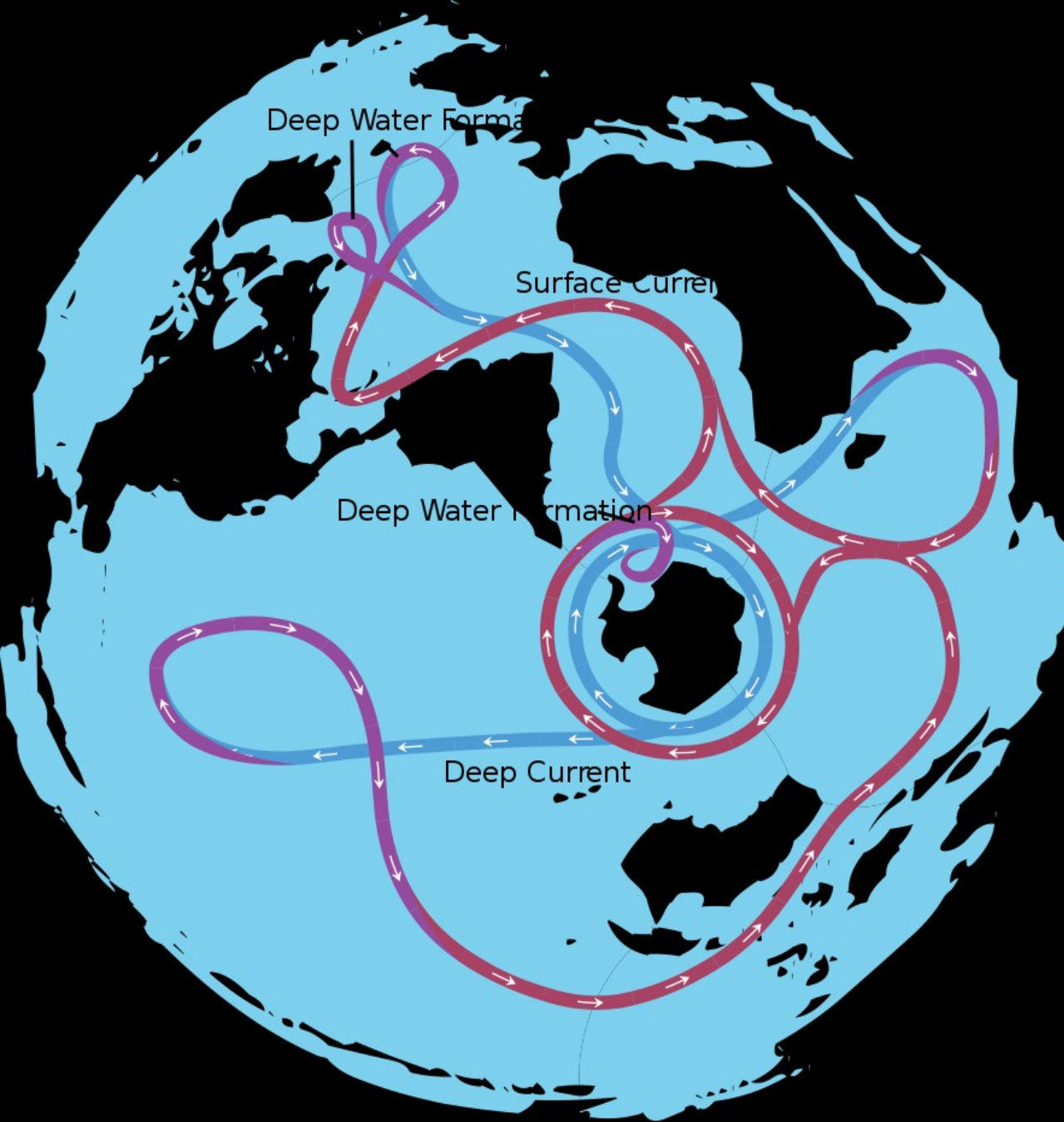


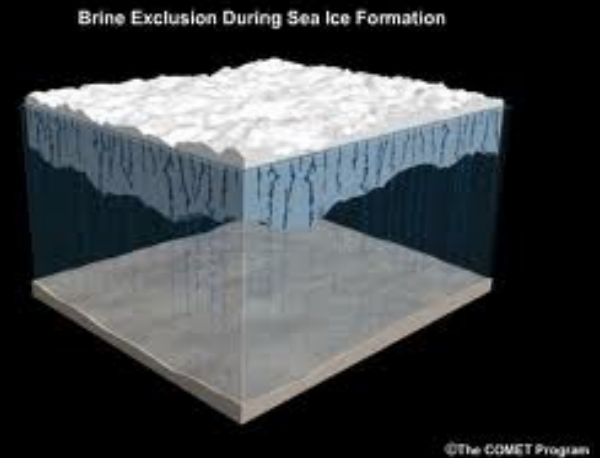
Figure 4: ERBE-period zonal mean meridional energy transport by total (solid) as inferred from ERBE R_T , the atmosphere (dashed) based on NRA, and by the ocean (dotted) as implied ERBE+NRA F_S and GODAS $\delta O_E/\delta t$ accompanied with the associated $\pm 2\sigma$ range (shaded). Adapted from FASULLO and TRENBERTH (2008b).

Południkowy transport ciepła w skali globu:

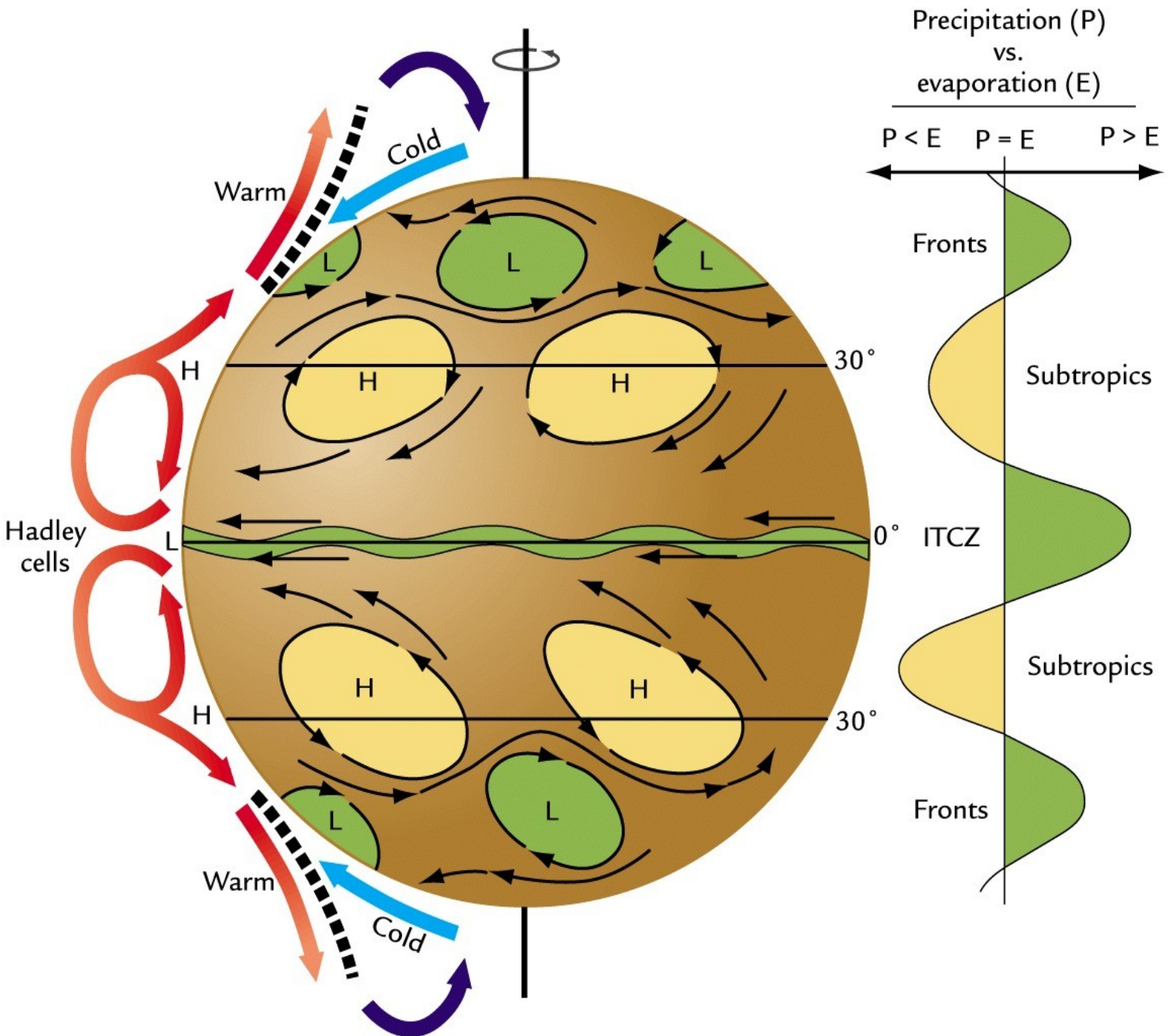
znaczenie oceanu i atmosfery.



Cyrkulacja termohalinowa: „wielka pętla”



Powstawanie solanki podczas zamarzania wody morskiej

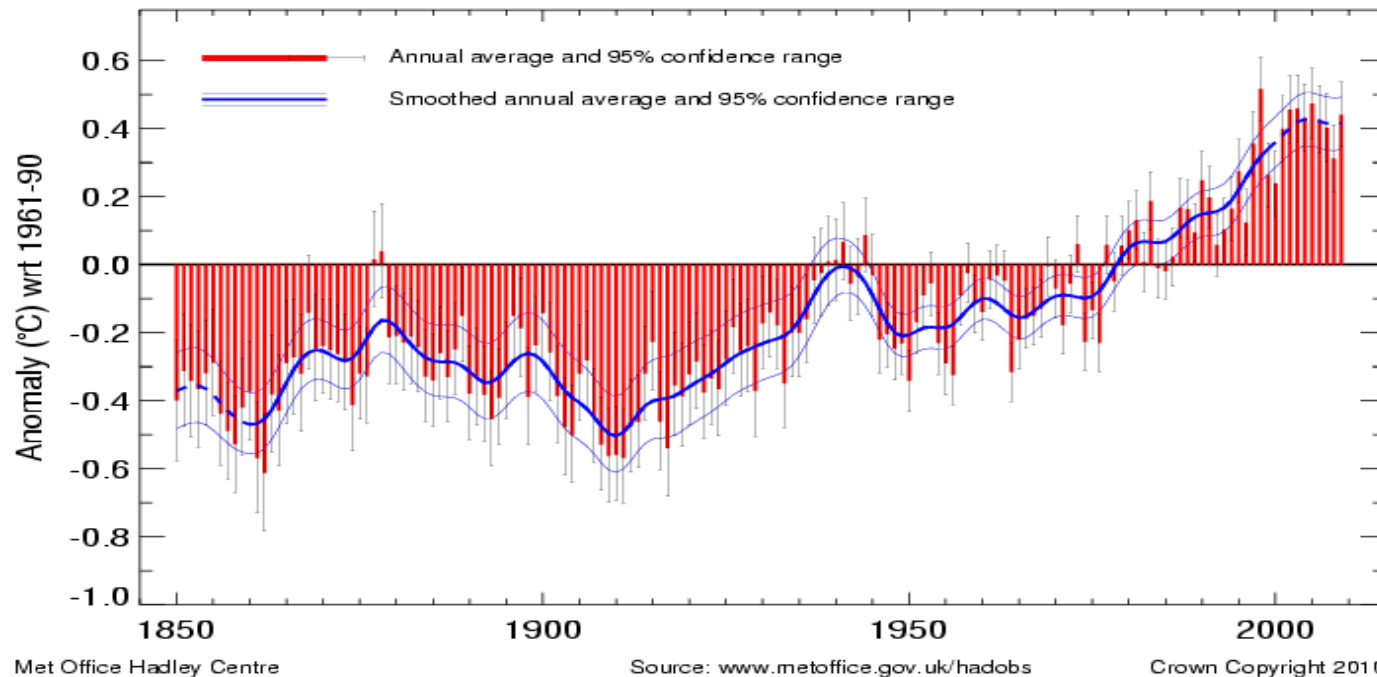


Ogólna cyrkulacja atmosfery: Efektywny transport ciepła od równika ku biegunom.



Global average temperature 1850-2009

Based on Brohan et al. 2006



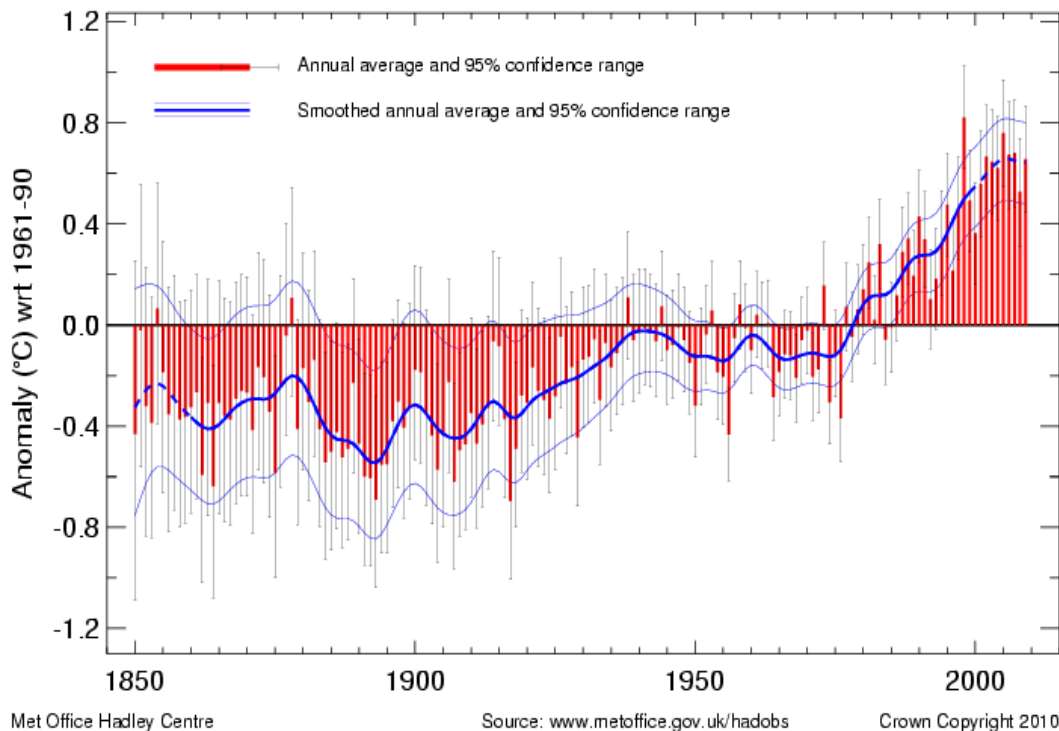
Wzrasta temperatura powierzchni ziemi i oceanu, rośnie temperatura przy powierzchniowych warstw atmosfery, tam też gromadzi się ciepło!

<http://hadobs.metoffice.com/hadcrut3/diagnostics>



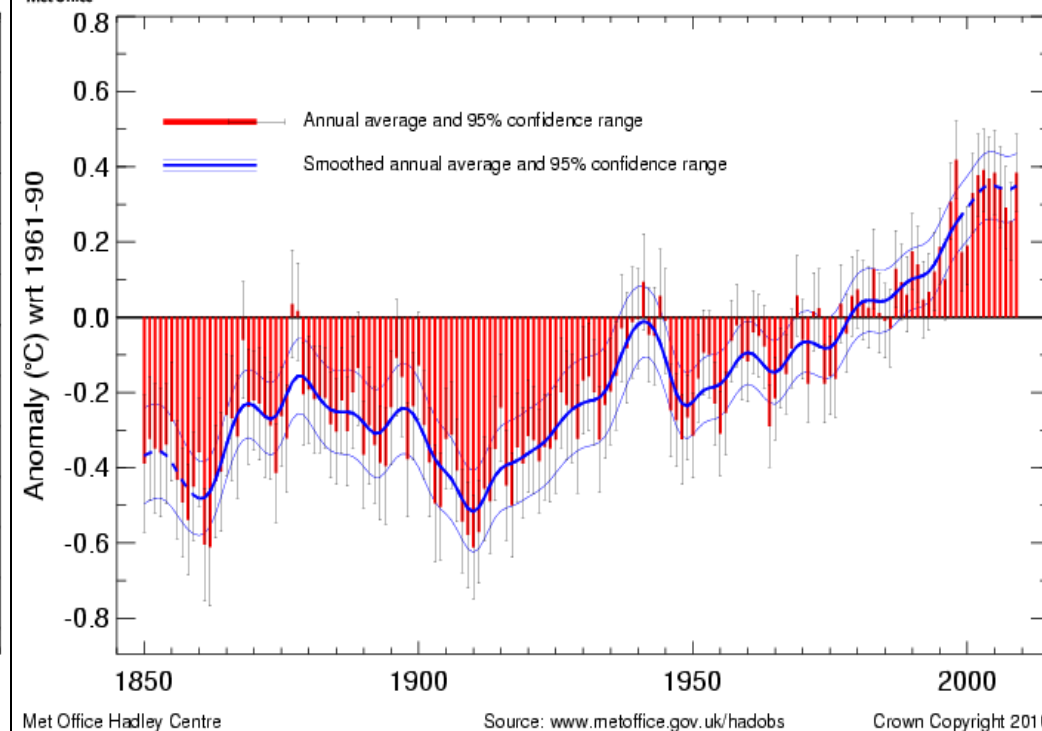
Global average land temperature 1850-2009

Based on Brohan et al. 2006



Global average sea-surface temperature 1850-2009

Based on Rayner et al. 2006



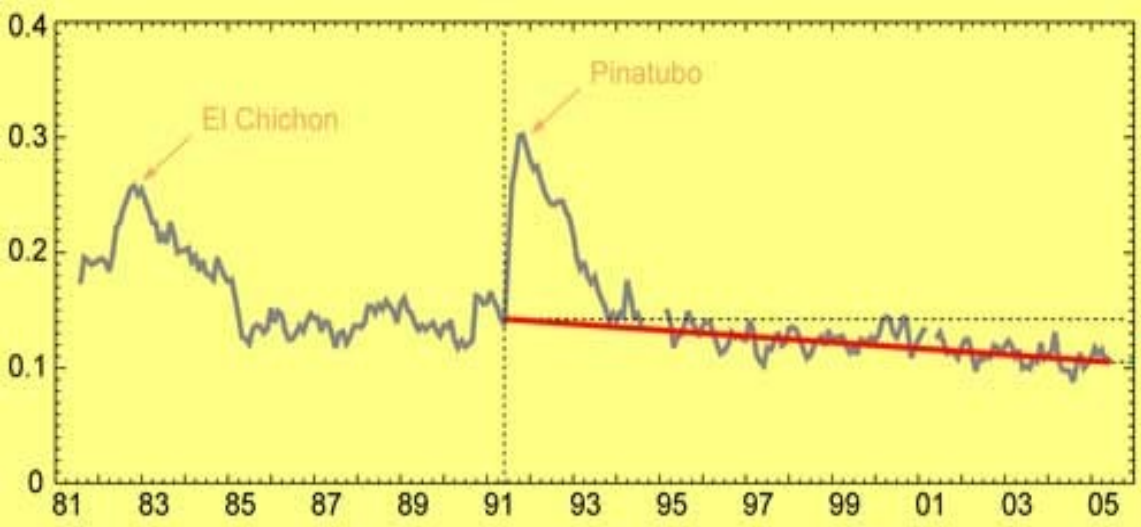
Z punktu widzenia fizyka to co obserwujemy w ostatnich latach to wzrost zawartości energii wewnętrznej w układzie Ziemia – Atmosfera wskutek procesu który zachodzi WEWNĄTRZ tego układu.

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 strumienie energii?



Albedo: efekty
aerozolu
atmosferycznego
(pyłów)

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

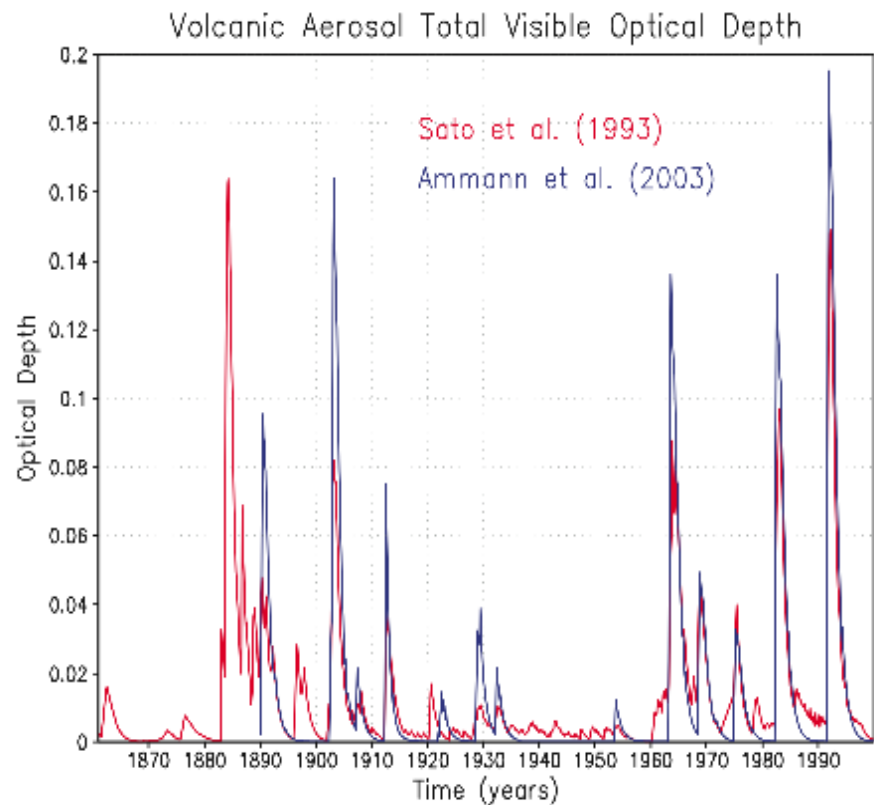
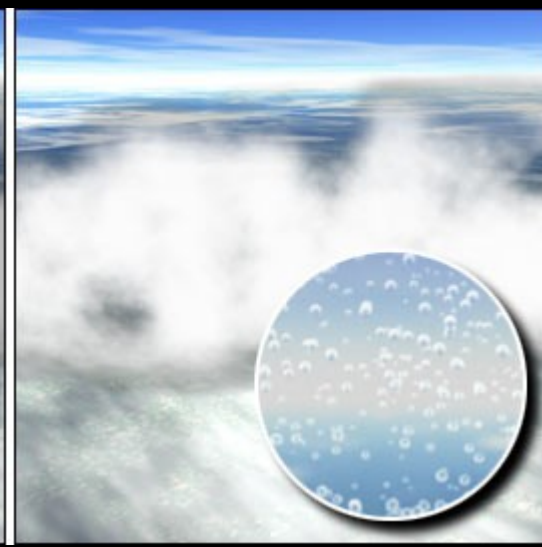
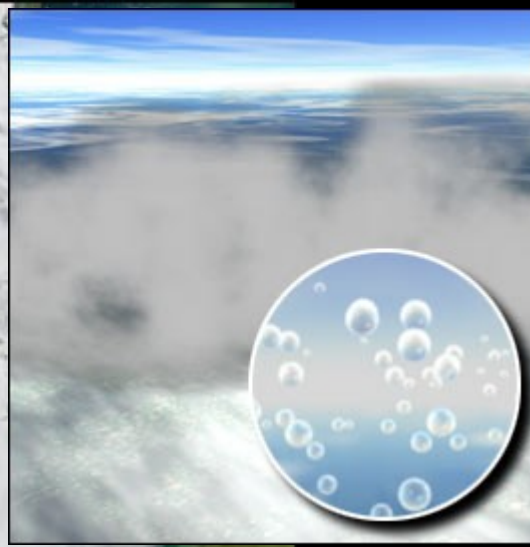
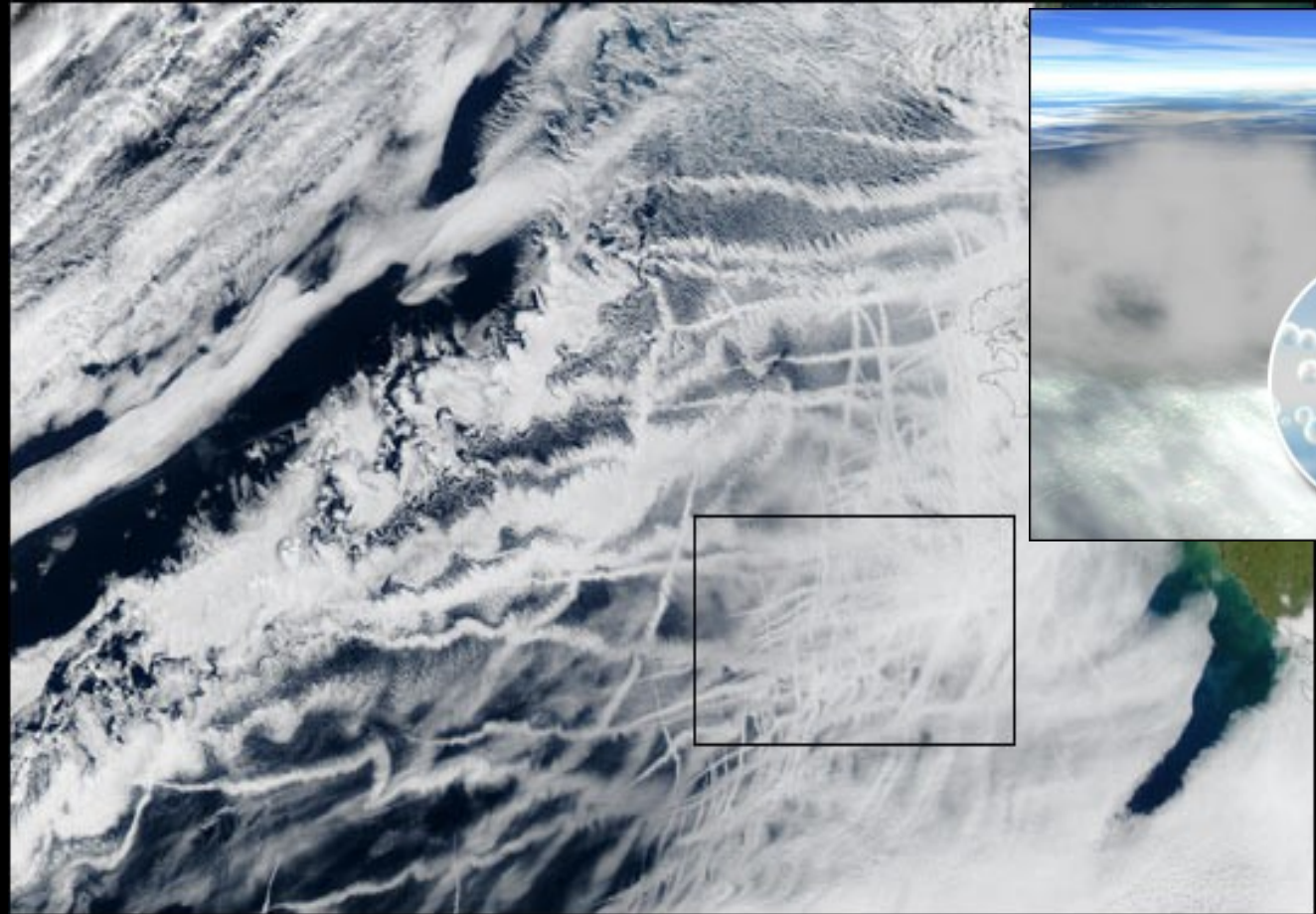


Figure 2.18



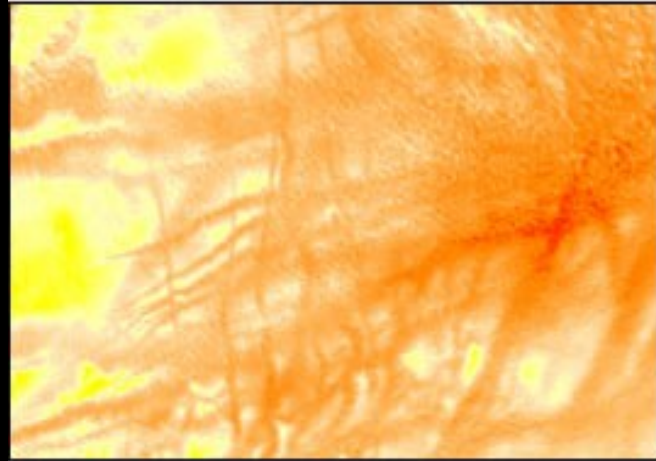
Wpływ aerozolu
na rozpraszanie
(odbijanie w
kosmos)
promieniowania
słonecznego,
tzw. bezpośredni
efekt
aerozolowy.

[NASA]



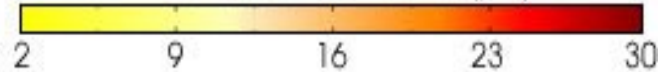
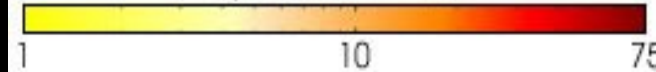
Wpływ aerozolu na budowę chmur (rozmiar kropelek) i w konsekwencji na ich własności radiacyjne: tzw. pośrednie efekty aerozolowe - pierwszy (albedo) drugi (czas trwania).

True Color

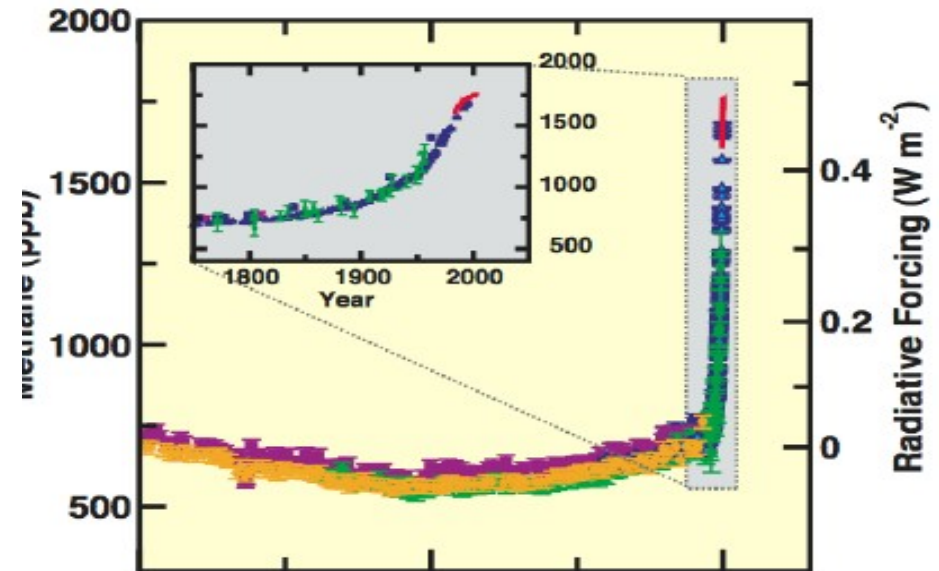
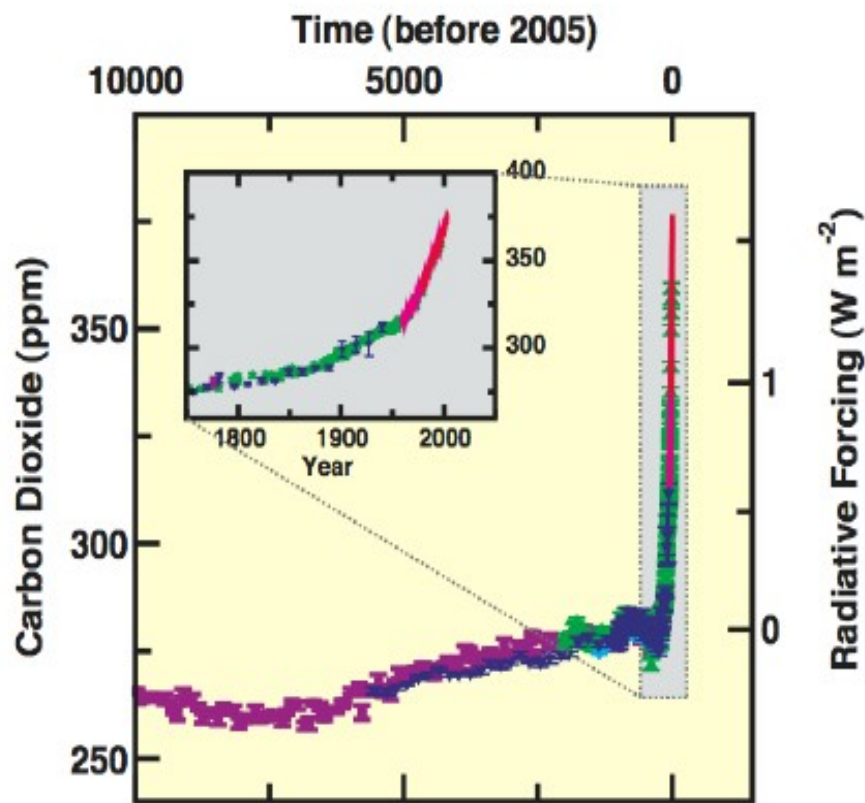


Optical Thickness

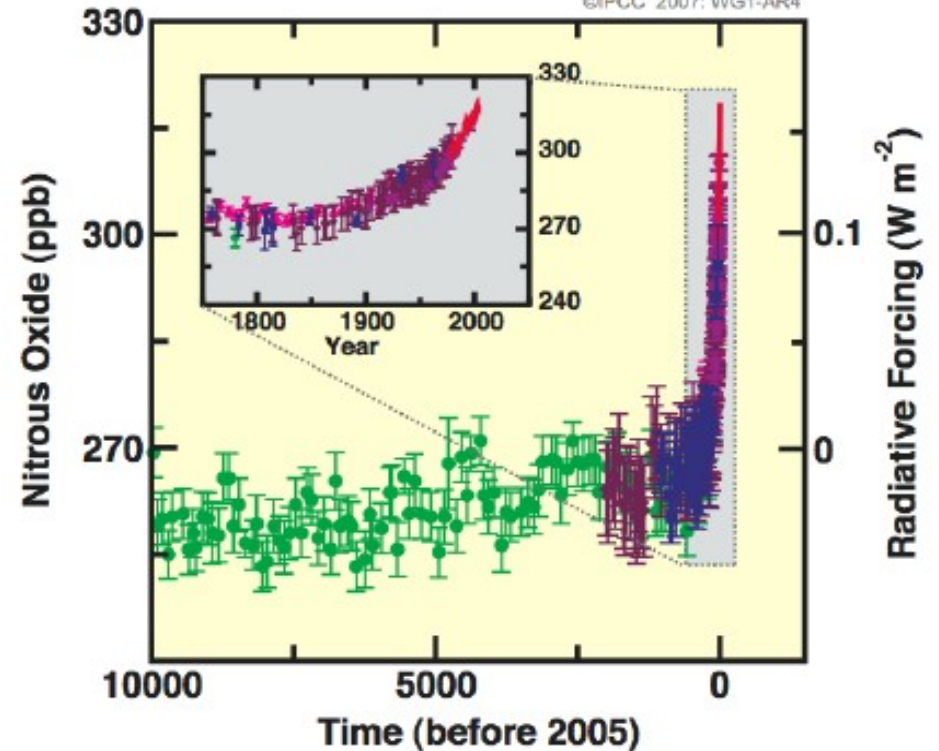
Effective Particle Radius (μm)



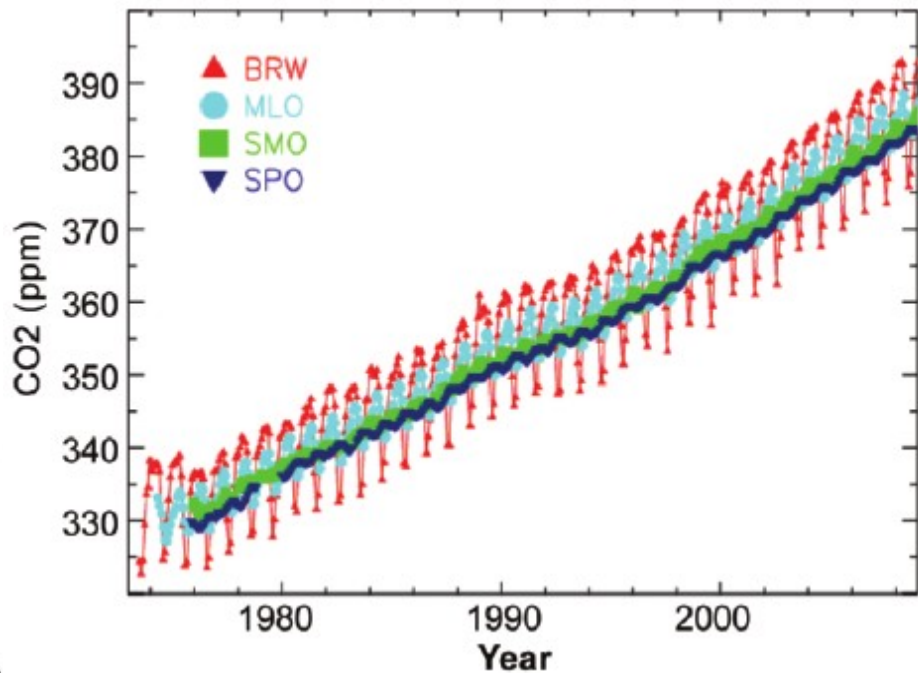
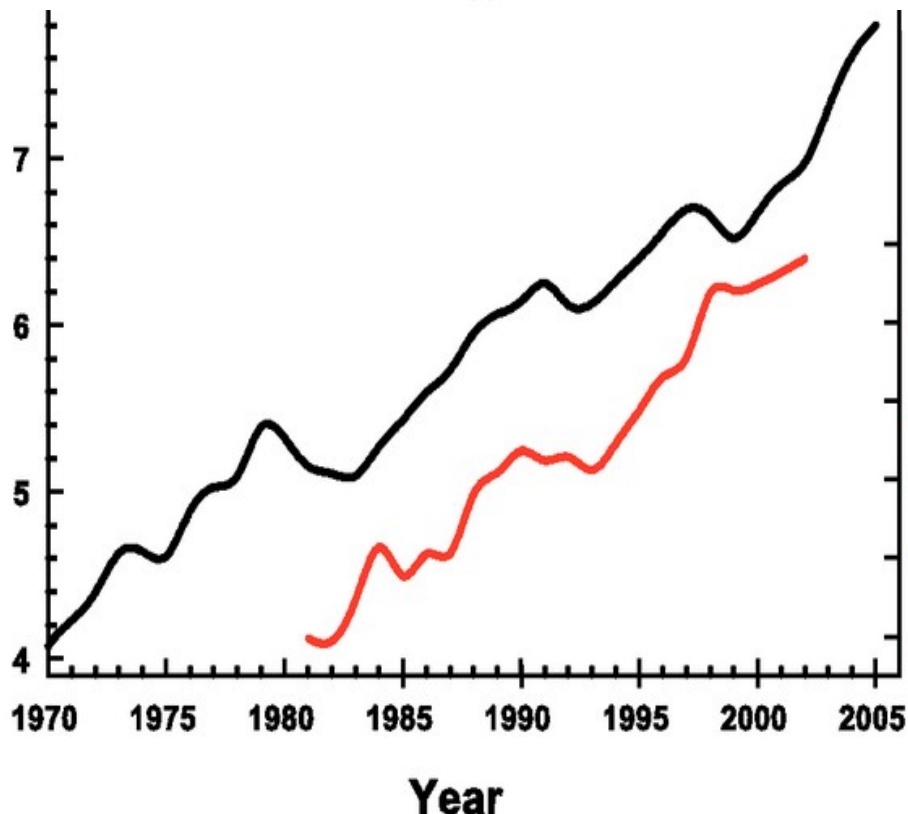
Zmiany w efekcie cieplarnianym



©IPCC 2007: WG1-AR4



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

(a)**CO₂ mixing ratio [ppm]****(b)****Global emissions GtC yr⁻¹**

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.

BAMS, 2009: „State of the climate in 2008”,
IPCC 2007

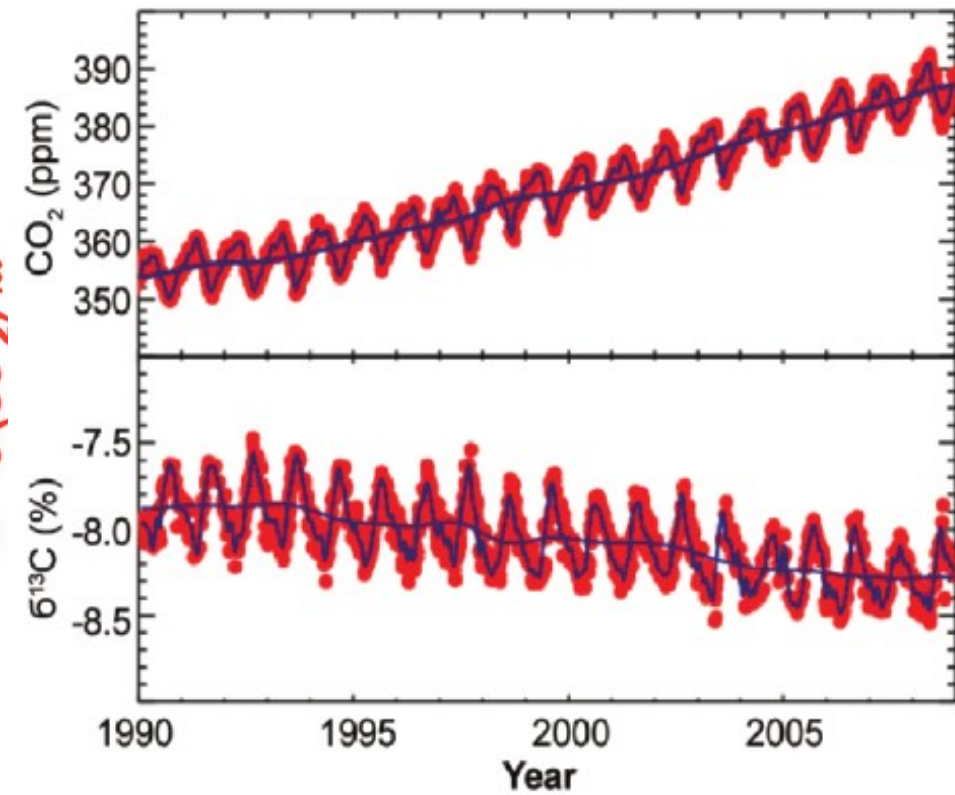


TABLE 2.5. Mixing ratios, radiative efficiencies and lifetimes of chemicals considered in the AGGI.

Industrial Designation or Common Name	Chemical Formula	AGGI	ODGI	Radiative Efficiency (W m ⁻² ppb ⁻¹) *	Mean surface mixing ratio mid-2009 [change from 2008 to 2009] ^a	Lifetime
Carbon Dioxide	CO ₂	Y	N	1.41x10 ⁻⁵	386.3[1.5]	NA
Methane	CH ₄	Y	N	3.7x10 ⁻⁴	1.79 [6.5x10 ⁻³]	9.0
Nitrous oxide	N ₂ O	Y	N	3.03x10 ⁻³	322.5[0.6]	114
Chlorofluorocarbons						
CFC-11	CCl ₃ F	Y	Y	0.25	243.3[-1.8]	45
CFC-12	CCl ₂ F ₂	Y	Y	0.32	532.6[-3.0]	100
CFC-113	CCl ₂ FCClF ₂	Y	Y	0.30	75.9[-0.5]	85
Hydrochlorofluorocarbons						
HCFC-22	CHClF ₂	Y	Y	0.20	198.4[8.7]	12.0
HCFC-141b	CH ₂ CClF	Y	Y	0.14	19.8[0.6]	9.3
HCFC-142b	CH ₃ CClF ₂	Y	Y	0.20	19.4[1.1]	17.9
Hydrofluorocarbons						
HFC-134a	CH ₂ FCF ₃	Y	N	0.16	52.5[4.8]	14
HFC-152a	CH ₃ CHF ₂	N	N	0.09	5.9[0.3]	1.4
Chlorocarbons						
Methyl Chloroform	CH ₃ CCl ₃	Y	Y	0.06	9.2[-1.6]	5.0
Carbon Tetrachloride	CCl ₄	Y	Y	0.13	89.4[-1.4]	26
Methyl Chloride	CH ₃ Cl	N	Y	0.01	542[-2]	1.0
Bromocarbons						
Methyl Bromide	CH ₃ Br	N	Y	0.01	7.3[-0.0-2]	0.7
Halon 1211	CBrClF ₂	Y	Y	0.30	4.0[-0.05]	16.0
Halon 1301	CBrF ₃	Y	Y	0.32	3.1[0.02]	65
Halon 2402	CBrF ₂ CBrF	N	Y	0.33	0.45[-0.01]	20
Fully fluorinated species						
Sulfur Hexafluoride	SF ₆	Y	N	0.52	6.76[0.26]	3,200

NA = Not applicable; the lifetime of CO₂ cannot be expressed as a single number (Archer and Brovkin 2008).

* Radiative forcings and lifetimes are taken from Daniel et al. (2007) and Clerbaux and Cunnold et al. (2007).

^a Mixing ratios are measured global surface means determined from NOAA global cooperative sampling network (Hofmann et al. 2006). Changes indicated in brackets are simply the difference between the 2009 and 2008 annual global surface mean mixing ratios. Units are ppm for CO₂, ppb for CH₄ and N₂O, and ppt for all others.

Gazy
cieplarniane i
ich wlasnosci.

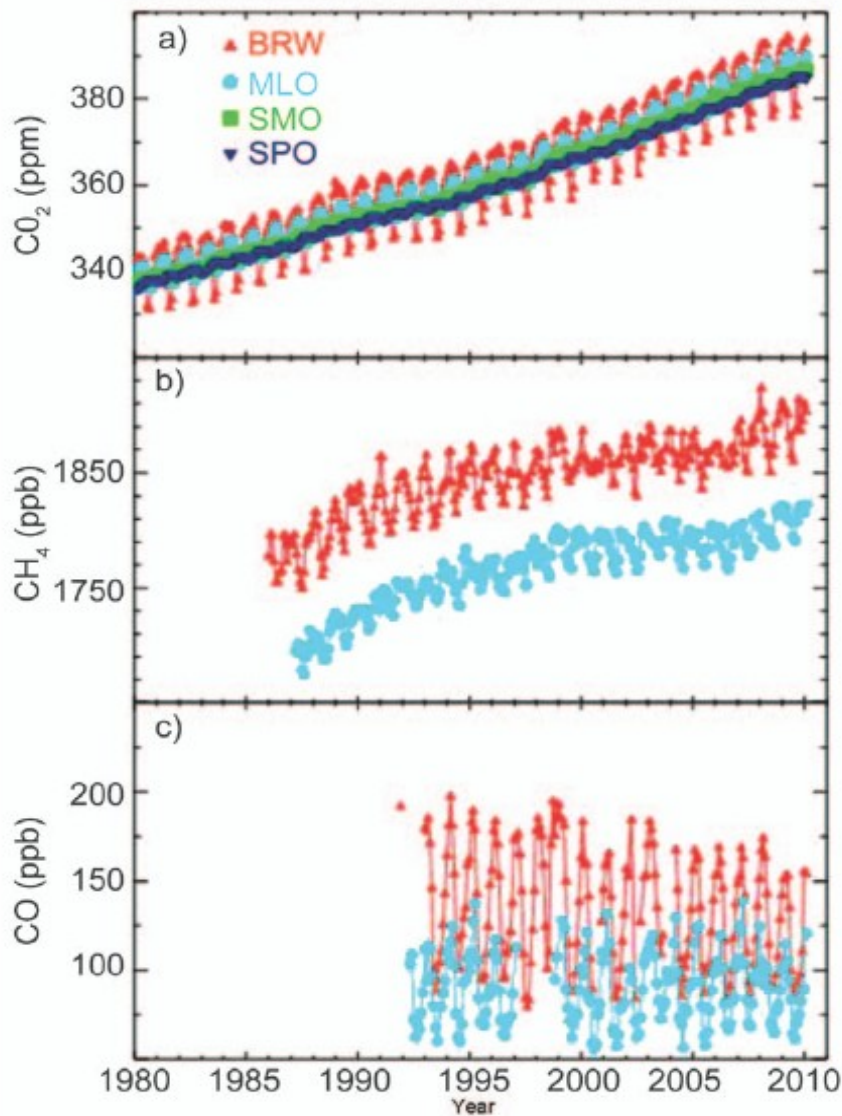


FIG. 2.35. Monthly mean mole fractions determined from NOAA/ESRL Observatories at Barrow, Alaska (BRW); Mauna Loa, Hawaii (MLO); American Samoa (SMO); and South Pole (SPO) for (a) CO_2 , (b) CH_4 , and (c) CO . 2009 results are preliminary. Monthly means are courtesy of Kirk Thoning (CO_2), Ed Dlugokencky (CH_4), and Paul Novelli (CO), all from NOAA/ESRL. Additional plots can be found at <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/iadv/> and http://www.esrl.noaa.gov/gmd/Photo_Gallery/GMD_Figures/ccgg_figures/.

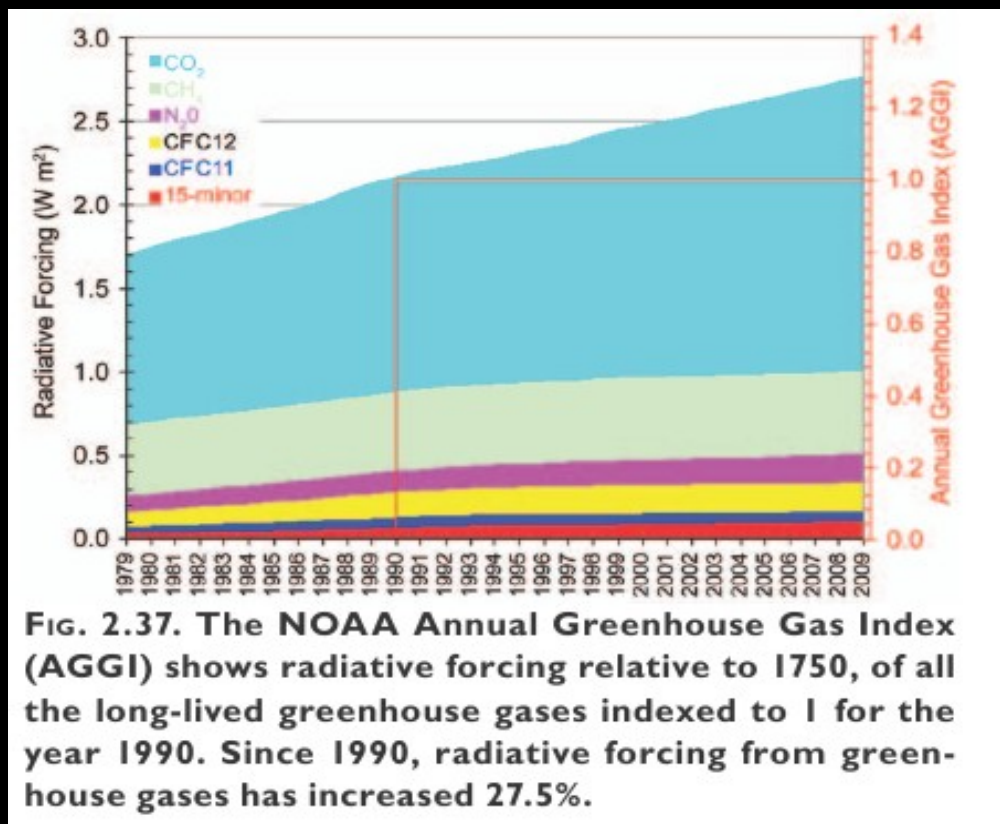
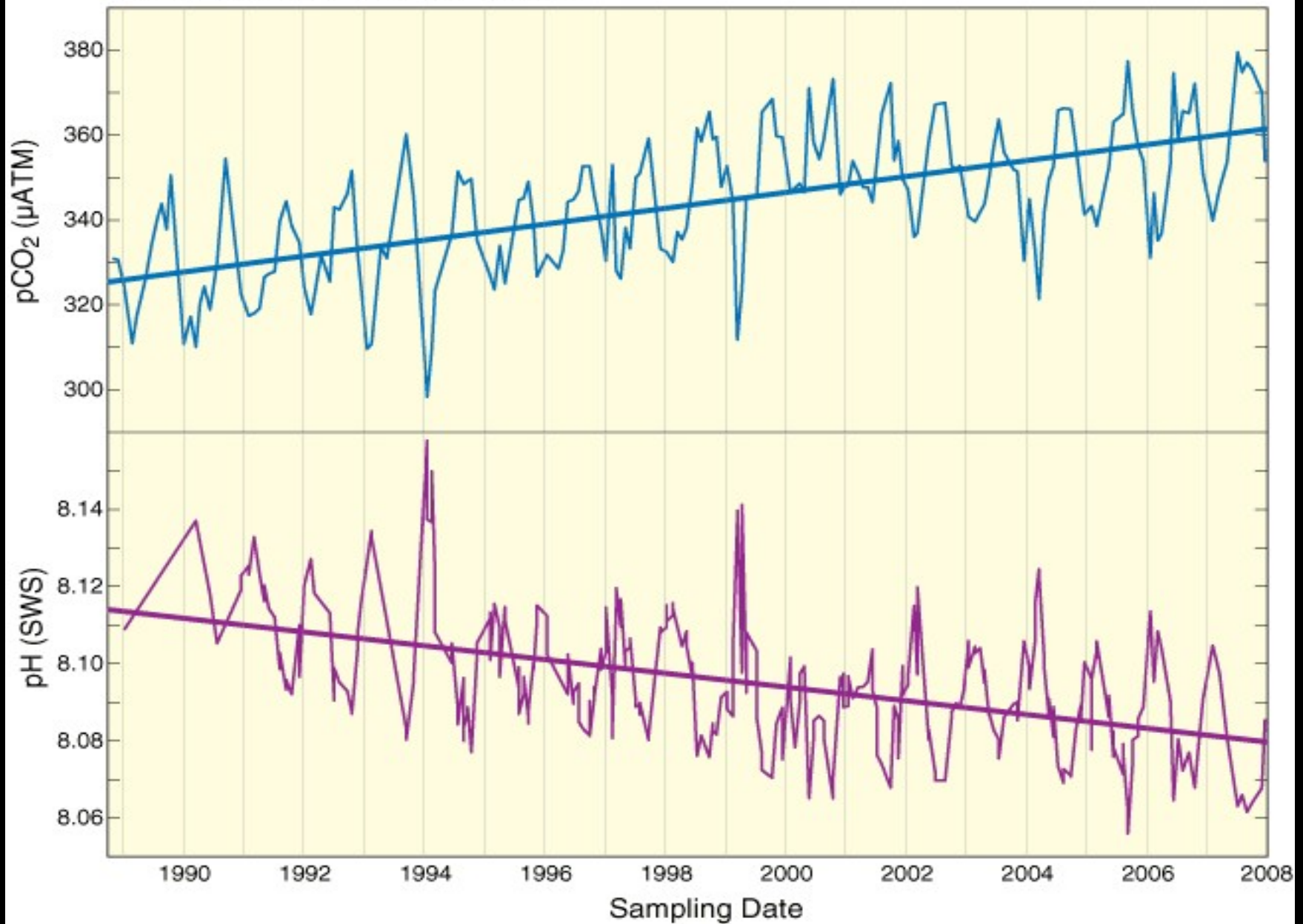


FIG. 2.37. The NOAA Annual Greenhouse Gas Index (AGGI) shows radiative forcing relative to 1750, of all the long-lived greenhouse gases indexed to 1 for the year 1990. Since 1990, radiative forcing from greenhouse gases has increased 27.5%.

<http://www.ncdc.noaa.gov/bams-state-of-the-climate/2009.php>

Wzrost koncentracji gazów cieplarnianych w atmosferze i wymuszanie radiacyjne.

The Station ALOHA Curve



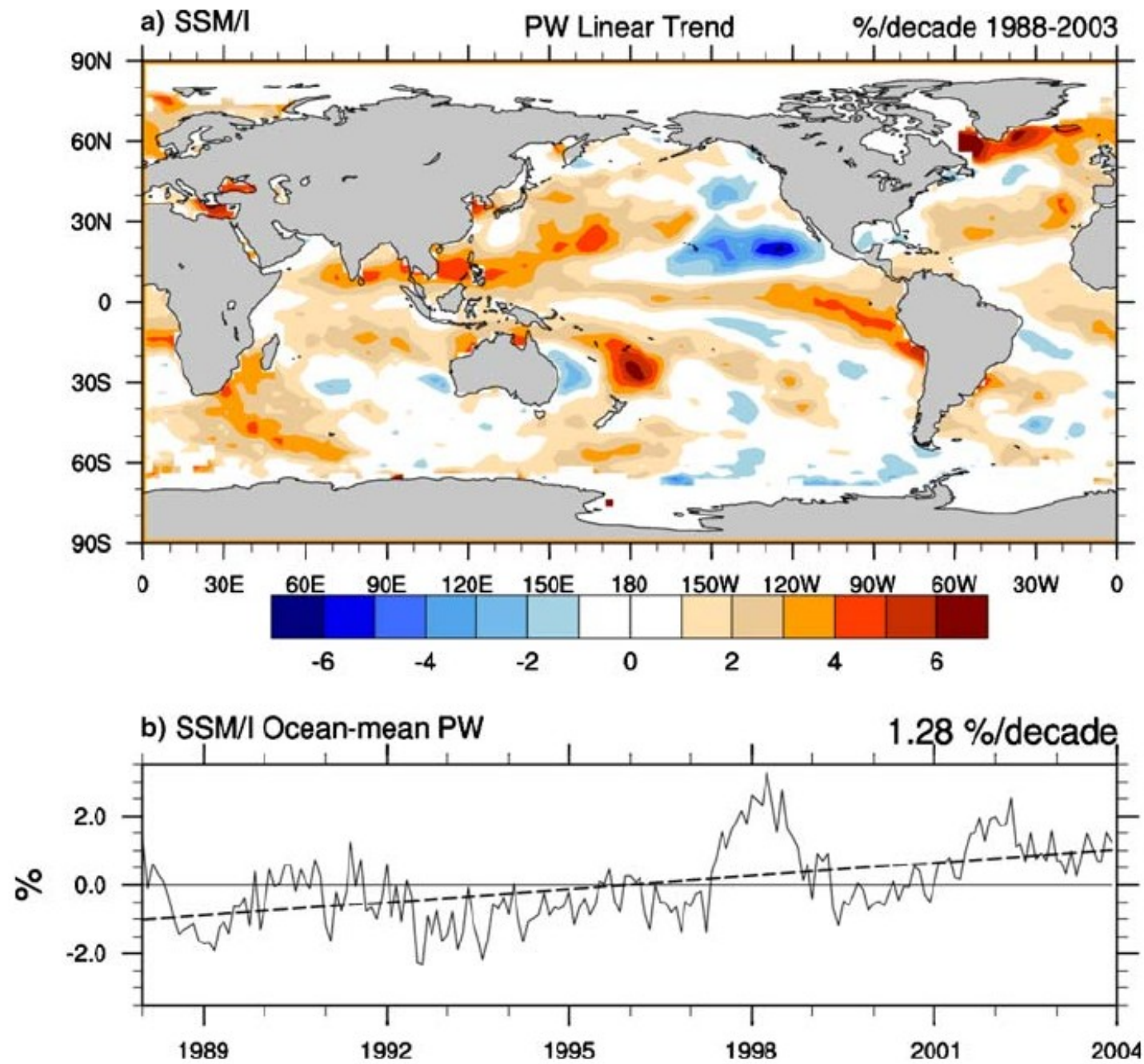
Zakwaszenie oceanu.

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

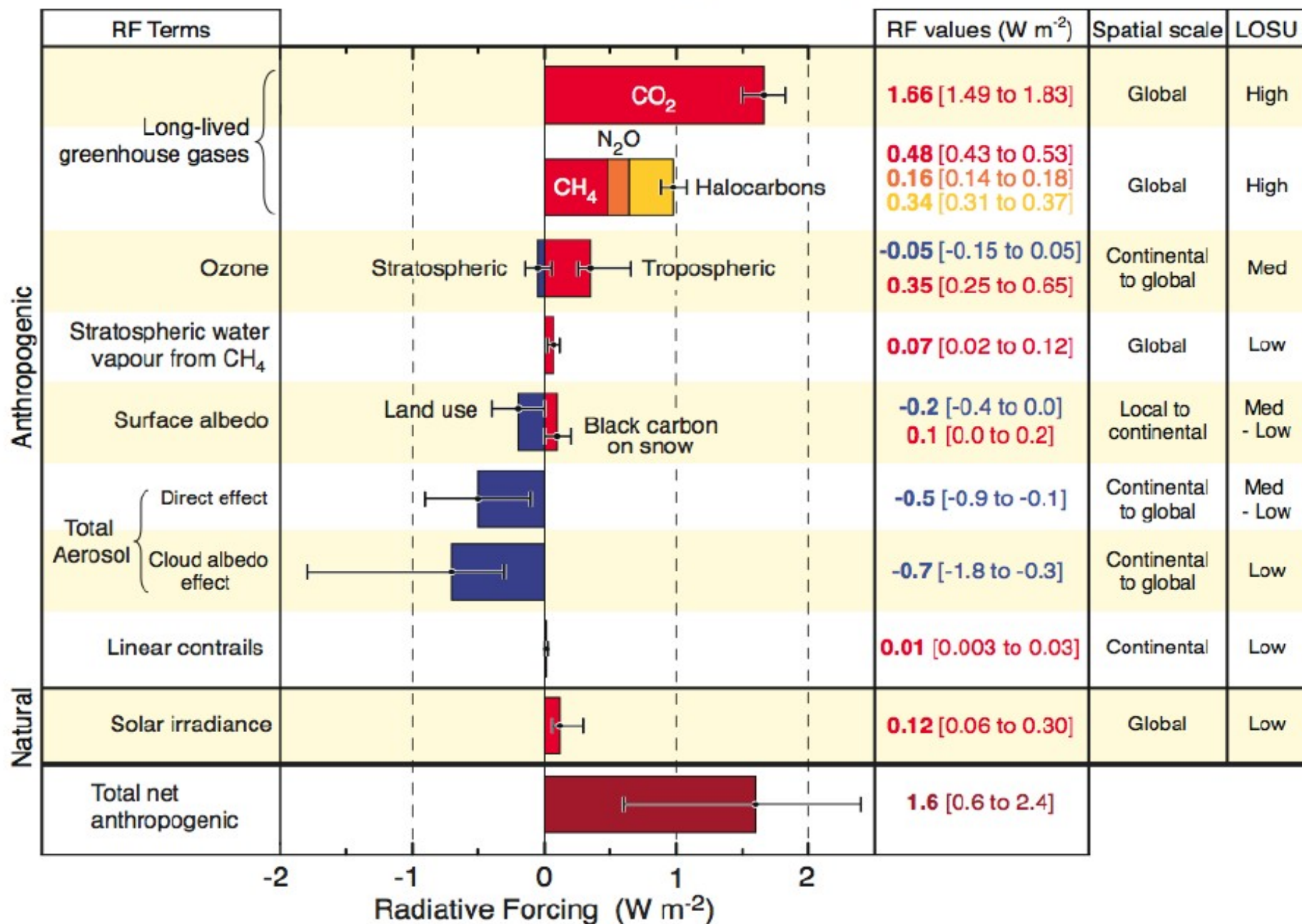
Fig. 11 Linear trend in precipitable water for 1988–2003 in % per decade and the time series for the integral over the global ocean, which has a linear trend of 1.3 mm per decade

Zmiany zawartości pary wodnej w atmosferze na podstawie pomiarów satelitarnych.

Zmiany w zawartości pary wodnej są SKUTKIEM wzrostu koncentracji długo żyjących gazów cieplarnianych.



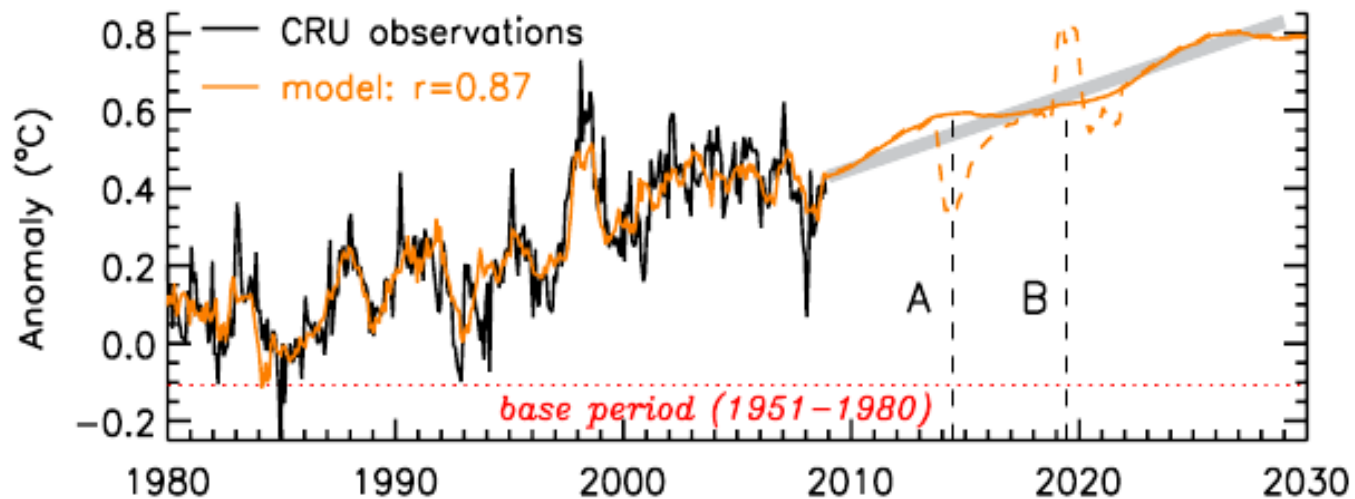
Radiative Forcing Components



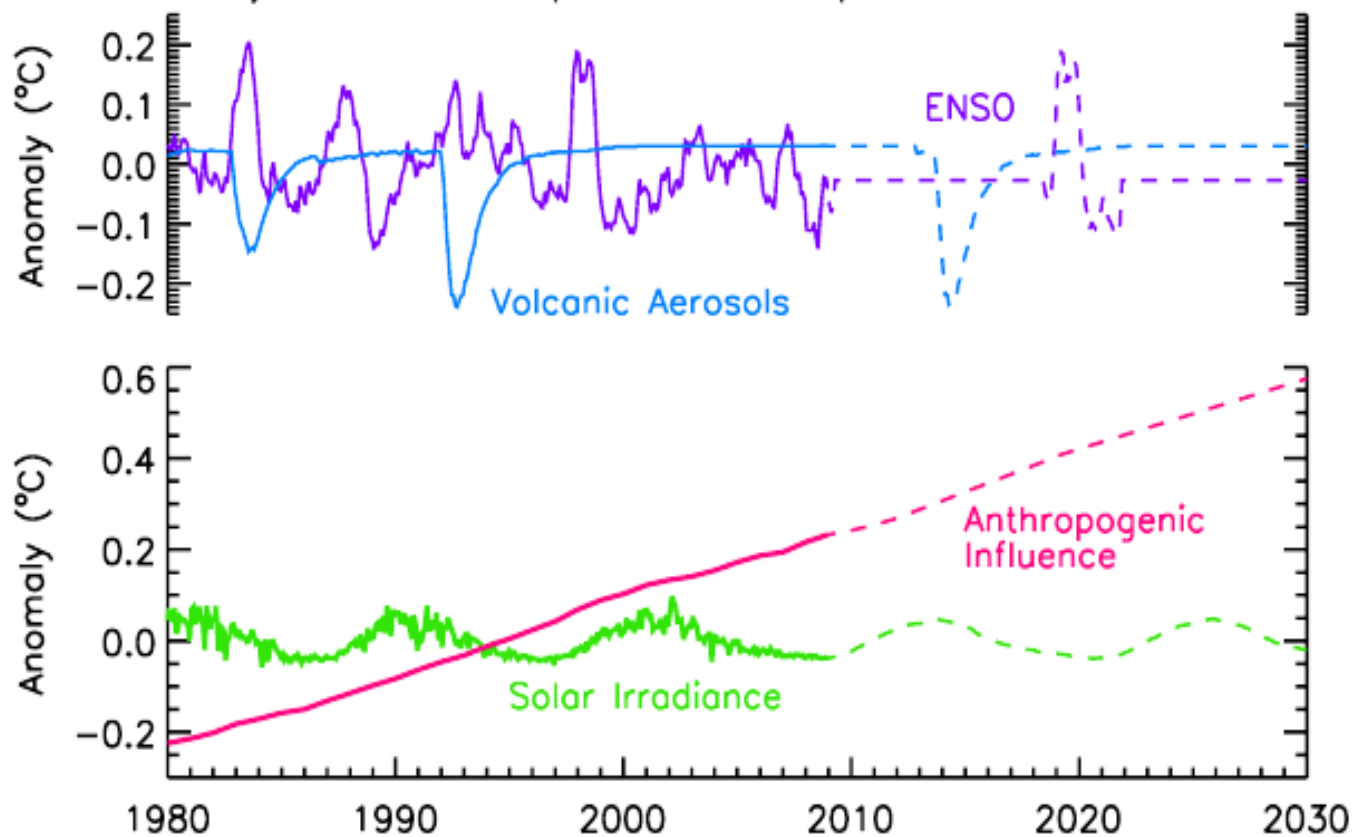
©IPCC 2007: WG1-AR4

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

a) Global Surface Temperature



b) Surface Temperature Components



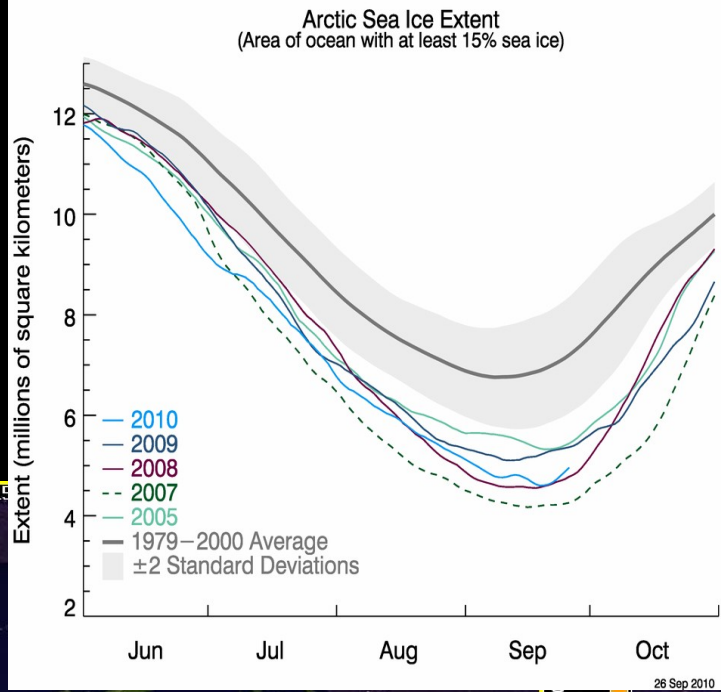
Wpływ różnych czynników na średnią globalną (średnie miesięczne) temperaturę powietrza przy powierzchni Ziemi w latach 1980-2008

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

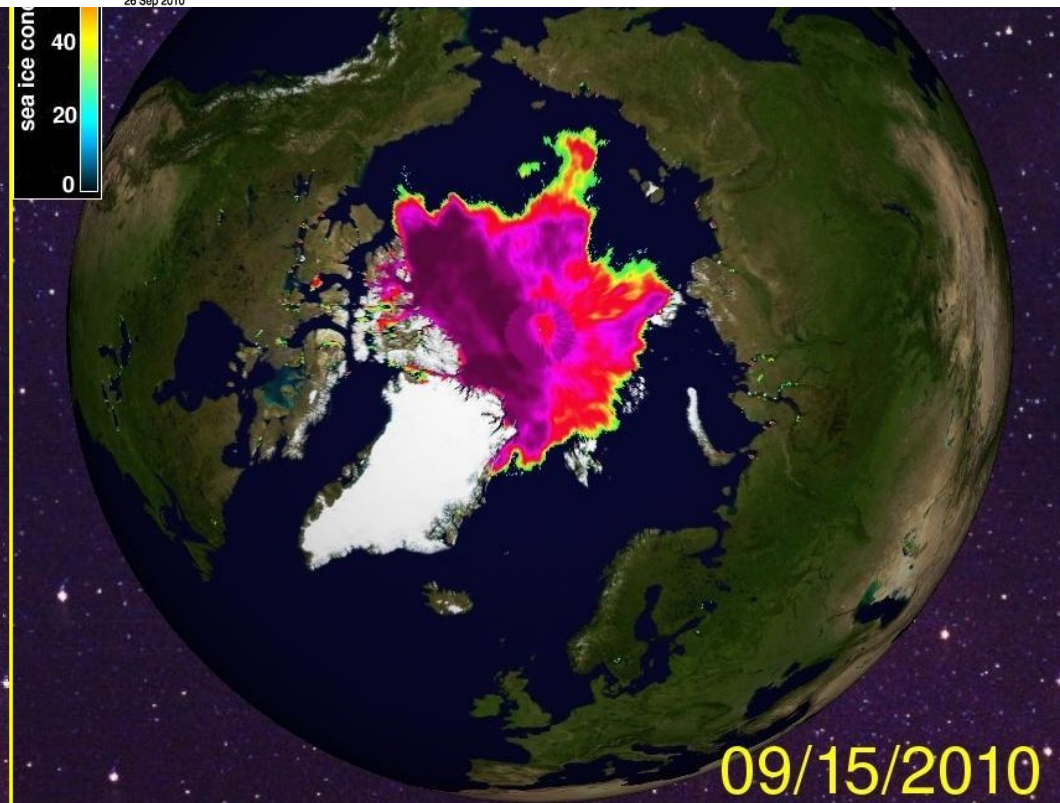
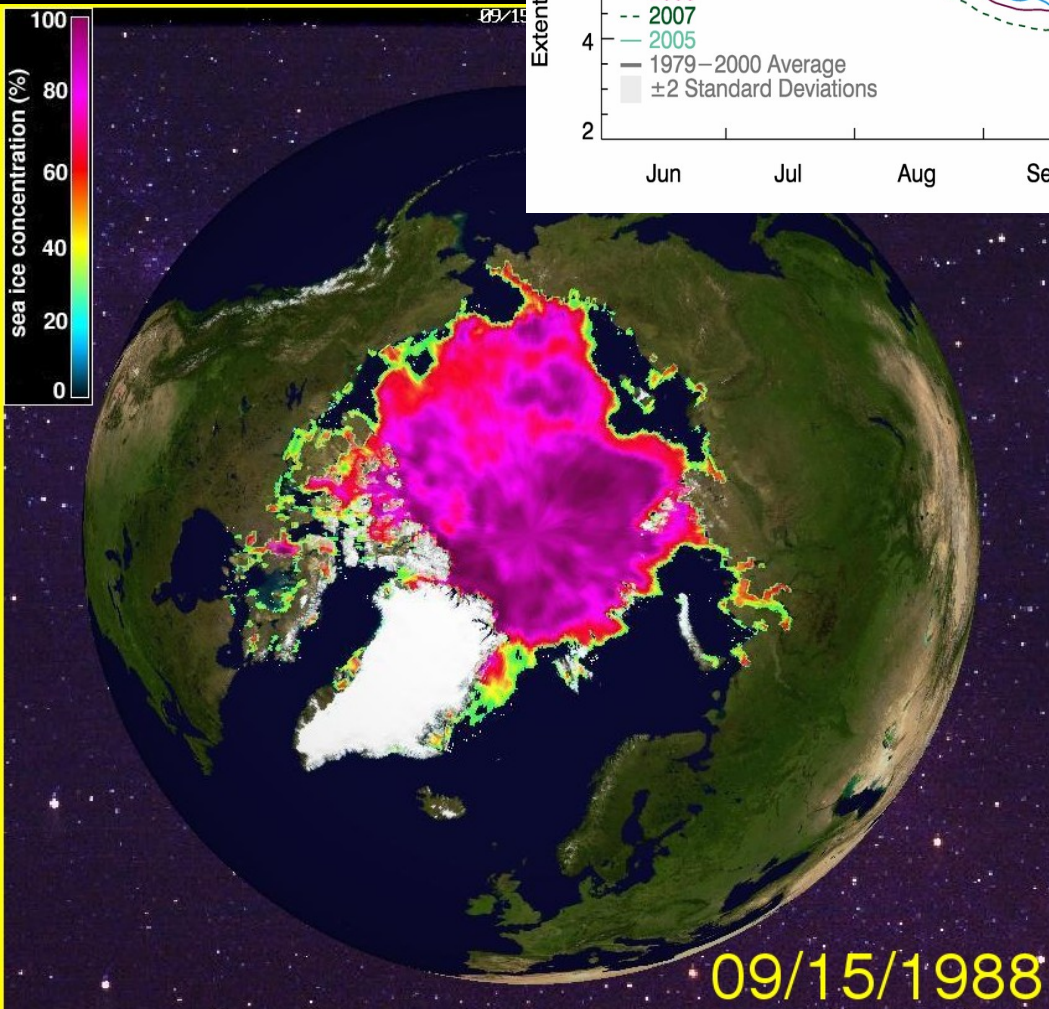
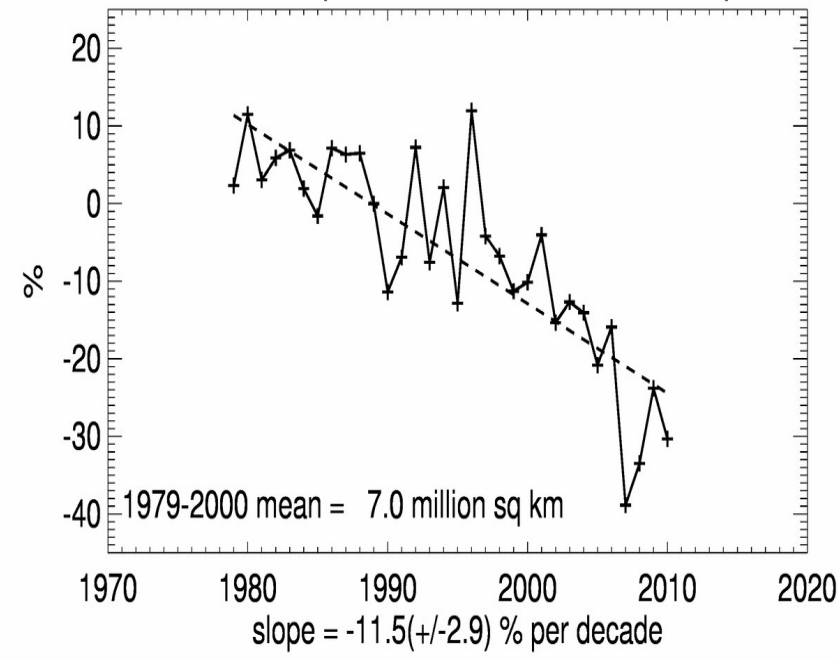
Niektóre skutki i sprzężenia: lód w Arktyce:

<http://nsidc.org/>,

<http://igloo.atmos.uiuc.edu>



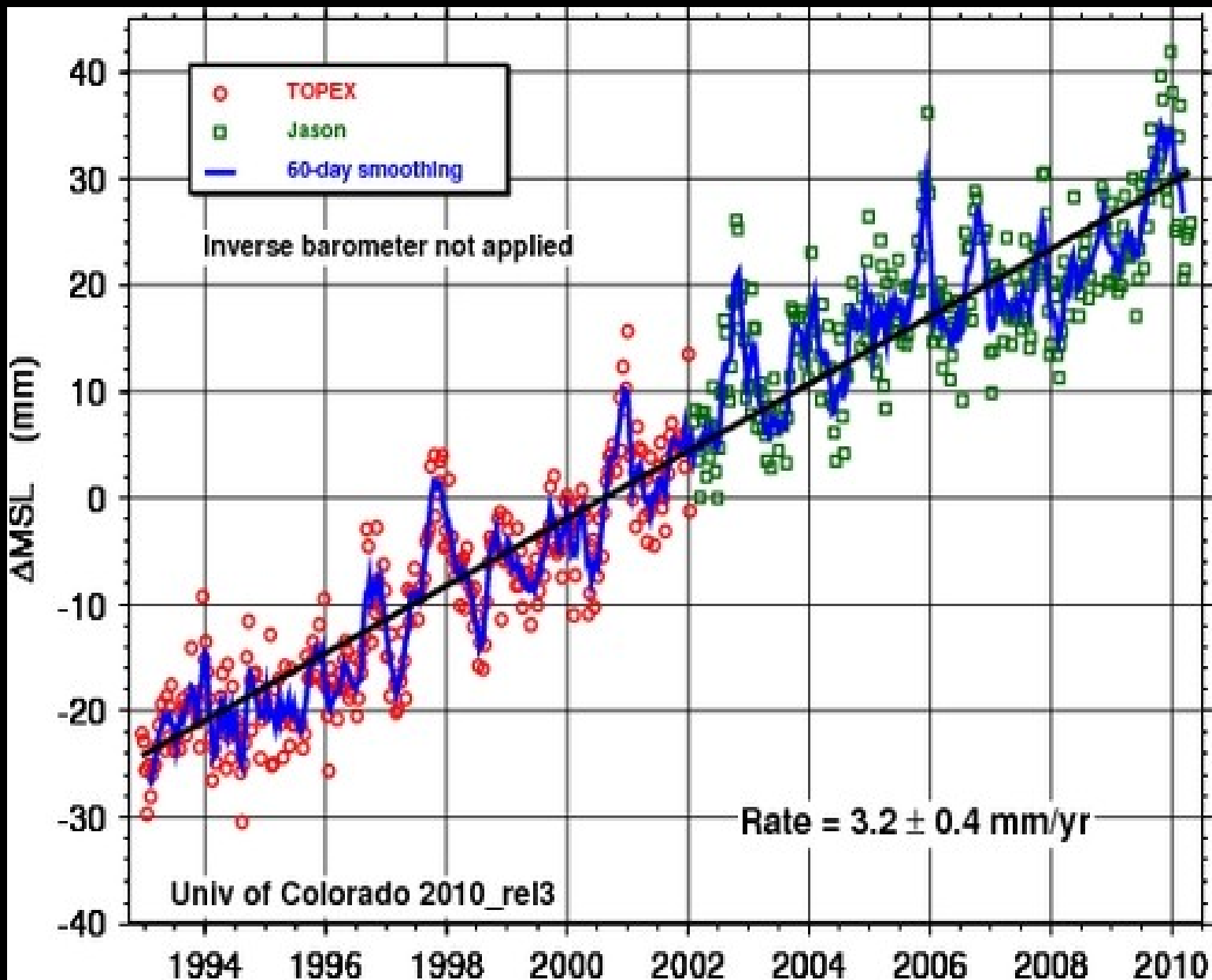
Northern Hemisphere Extent Anomalies Sep 2010



Poziom morza –
aktualnie wzrost o
3.4mm/rok

(U of Colorado)

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



Podsumowanie części 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.

Zmiany te mają wpływ NIE TYLKO na strumienie energii promieniowania, ale także na redystrybucje 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:

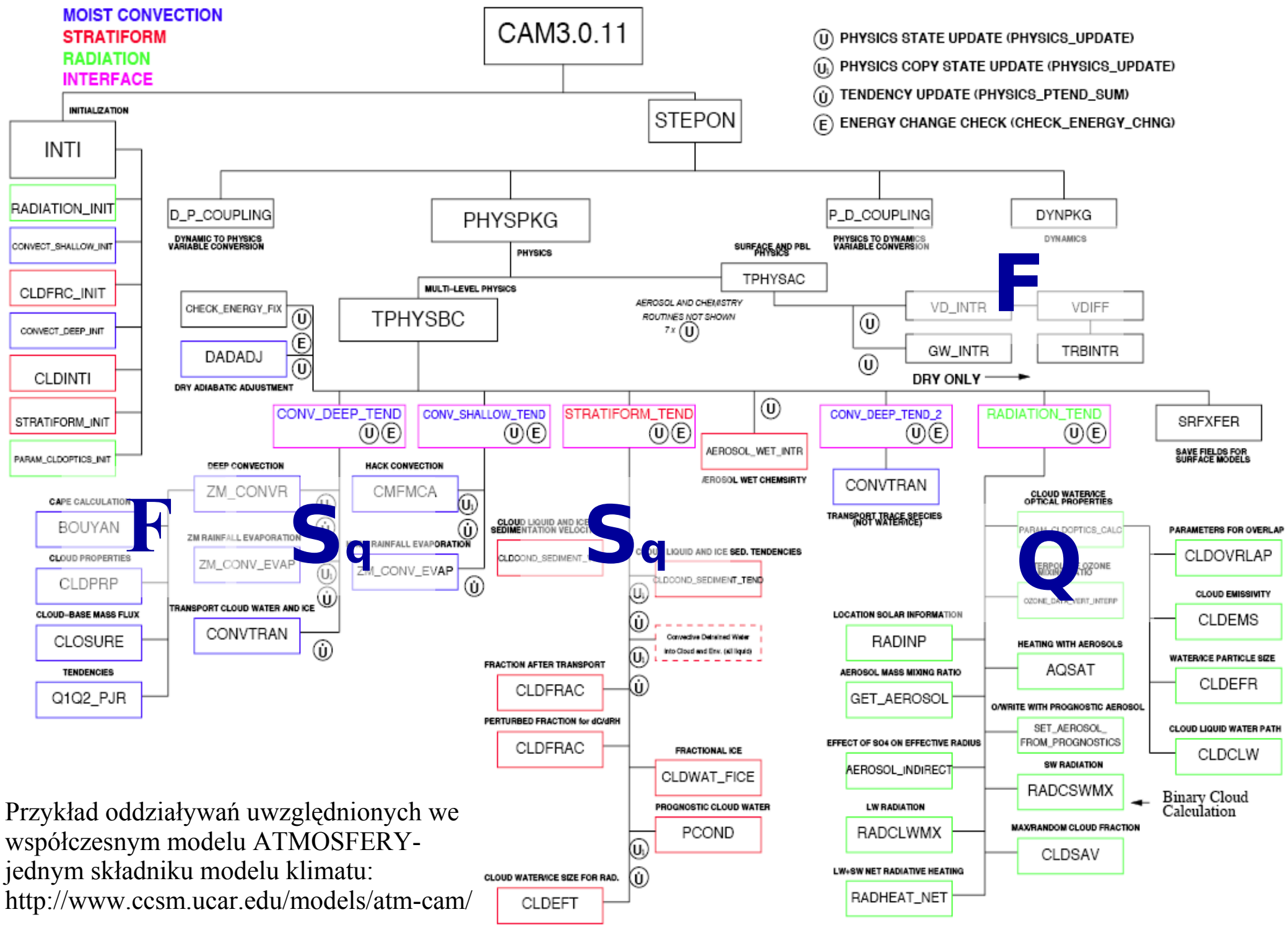


równania hydrodynamiki
równania termodynamiki
prawa transferu radiacyjnego
własności składników atmosfery
promieniowanie słoneczne
oddziaływanie z podłożem
+ przemiany chemiczne

układ równań modelu

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

wirtualna rzeczywistość, w której
możemy symulować mechanizmy
klimatyczne



Przykład oddziaływań uwzględnionych we współczesnym modelu ATMOSFERY-
 jednym składniku modelu klimatu:
<http://www.cesm.ucar.edu/models/atm-cam/>

Wiele modeli klimatu OTWARTYCH:

The screenshot shows a Mozilla Firefox browser window displaying the website for the Community Earth System Model (CESM). The browser's address bar shows the URL <http://www.cesm.ucar.edu/models/atm-cam/>. The website's navigation menu includes links for UCAR, NCAR, CESM, Administration, Working Groups, Models, Events, News, and Publications. The main content area features a search bar and a large header for the Community Earth System Model. Below the header, there are two main columns of content. The left column is titled 'CCSM3.0 COMMUNITY ATMOSPHERE MODEL (CAM)' and contains sections for 'Introduction', 'What's New?', and 'Getting Started'. The right column is titled 'CESM PROJECT' and contains a description of the model, sponsorship information, a 'DOCUMENTATION' section with links to various guides and codes, and a 'Detailed Design' section with links to design documents. The browser's status bar at the bottom indicates 'Zakończono'.

Community Earth System Model

CCSM3.0 COMMUNITY ATMOSPHERE MODEL (CAM)

Introduction

The Community Atmosphere Model (CAM) is the latest in a series of global atmosphere models developed at NCAR for the weather and climate research communities. CAM also serves as the atmospheric component of the Community Climate System Model (CCSM).

The information on this page deals specifically with running CAM as a standalone model. Information about running CAM as the atmospheric component of the CCSM is found in the [CCSM release](#).

What's New?

- 14 April 2005 -- *Release Announcement*. CAM-3.1 is mainly a software engineering release. It reproduces the CAM-3.0 climate in configurations for which [control simulations](#) have been provided. The main reason for this release is to provide parameterization developers with code that contains updated physics interfaces in the context of a model with a validated climate. However due to a severe staffing shortage, we are not able to provide updated documentation with this release. See the release notes for details. [[release notes](#)]
- 27 September 2004 -- *Release Announcement*. CAM-3.0.p1 is the first patched version of CAM-3.0 which includes minor bug fixes and portability enhancements. Simulations produced by this release will be bit for bit identical to simulations produced using CAM-3.0 in all configurations for which [control simulations](#) have been provided. See the release notes for details. [[release notes](#)]
- [News Archive](#)

Getting Started

Downloads are available for all the scripts, source code and input datasets needed to build and run the standalone version of CAM. This includes the source code for the land model and slab ocean model that may be used in conjunction with standalone CAM. In addition, a diagnostics package using NCL scripts is available to process model output.

CESM PROJECT

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.

CESM is sponsored by the National Science Foundation (NSF) and the U.S. Department of Energy (DOE). Administration of the CESM is maintained by the Climate and Global Dynamics Division (CGD) at the National Center for Atmospheric Research (NCAR).

DOCUMENTATION

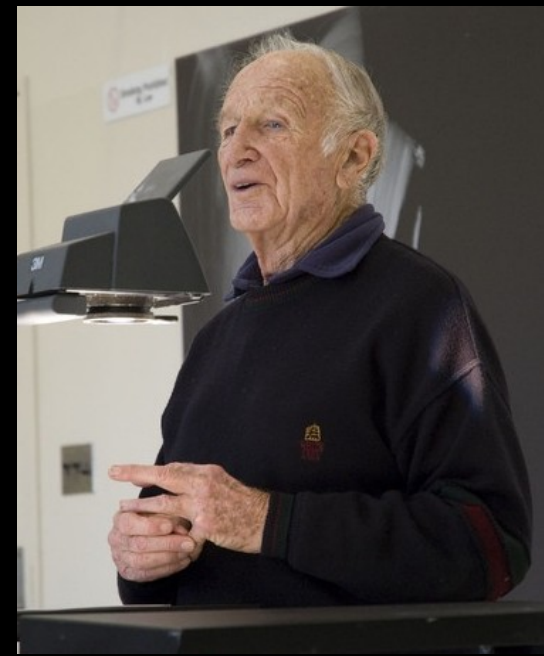
- CAM 3.0 Users Guide [[html](#)] [[pdf](#)] [[ps](#)]
- Scientific Description of CAM 3.0 [[html](#)] [[pdf](#)] [[ps](#)]
- CAM 3.0 Source Code [[html](#)]
- Single Column Model (SCAM)
- Documentation for older releases [[CAM 2.0](#)] [[CCM3](#)]

Detailed Design

- Time Manager Module: Requirements and Interface Design [[html](#)] [[pdf](#)] [[ps](#)]
- DRAFT Interface to Column Physics and Chemistry Packages [[html](#)] [[pdf](#)] [[ps](#)]

Edward N. Lorenz (1917-2008):

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



Wybrane prace:

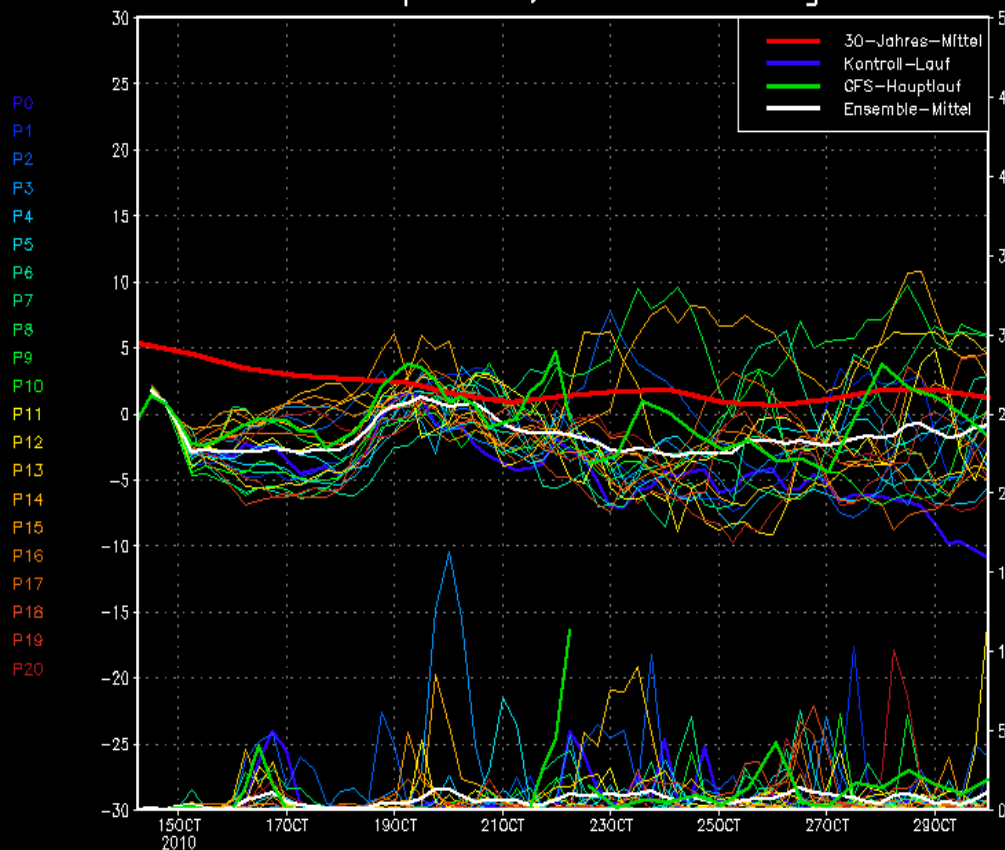
„Deterministic nonperiodic flow”, 1963 (atraktor Lorenza, efekt motyla)

„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 :)

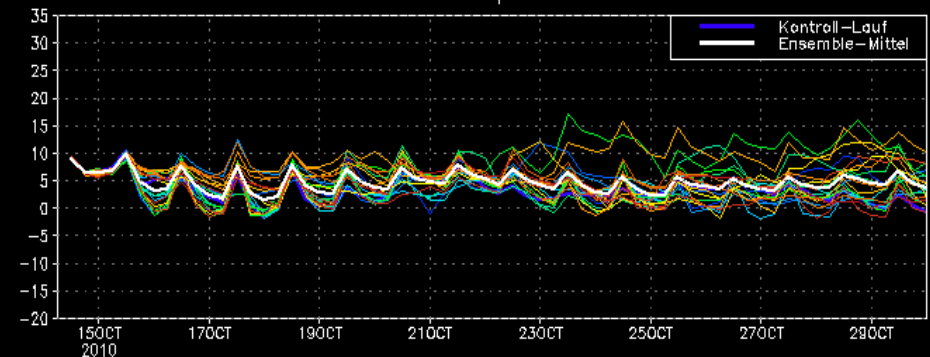
Warschau Lat: 52 Lon: 21 Thu,14OCT2010 06Z
850 hPa Temp. in °C, 6h-Niederschlag in mm



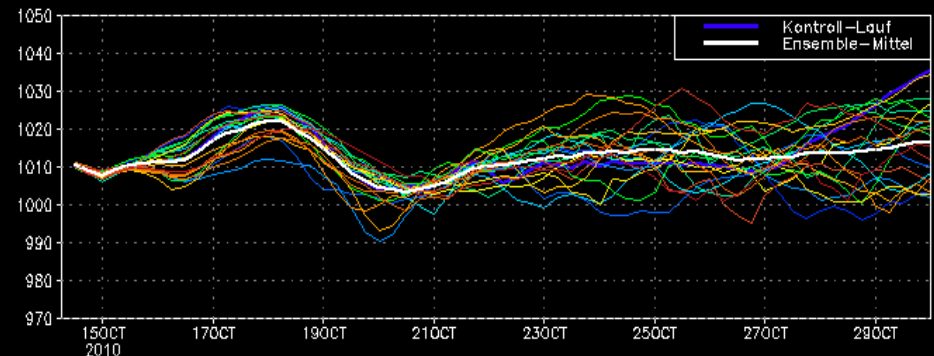
Daten: Ensembles des GFS von NCEP

Wetterzentrale

Warschau Lat: 52 Lon: 21 Thu,14OCT2010 06Z
2m Temp. in °C



Bodendruck in hPa



Daten: Ensembles des GFS von NCEP

Wetterzentrale

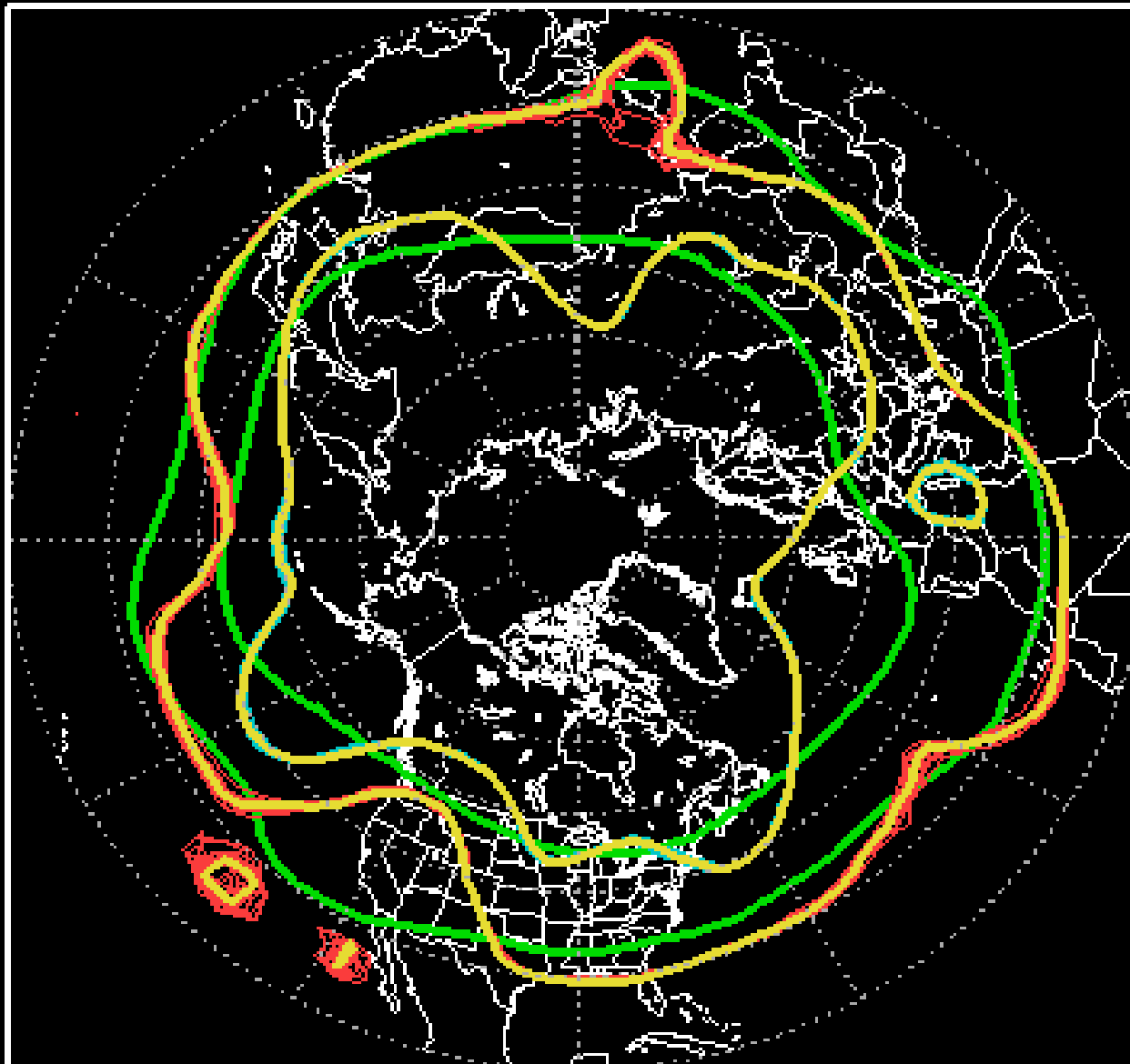
Przewidywalność pogody:

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

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)

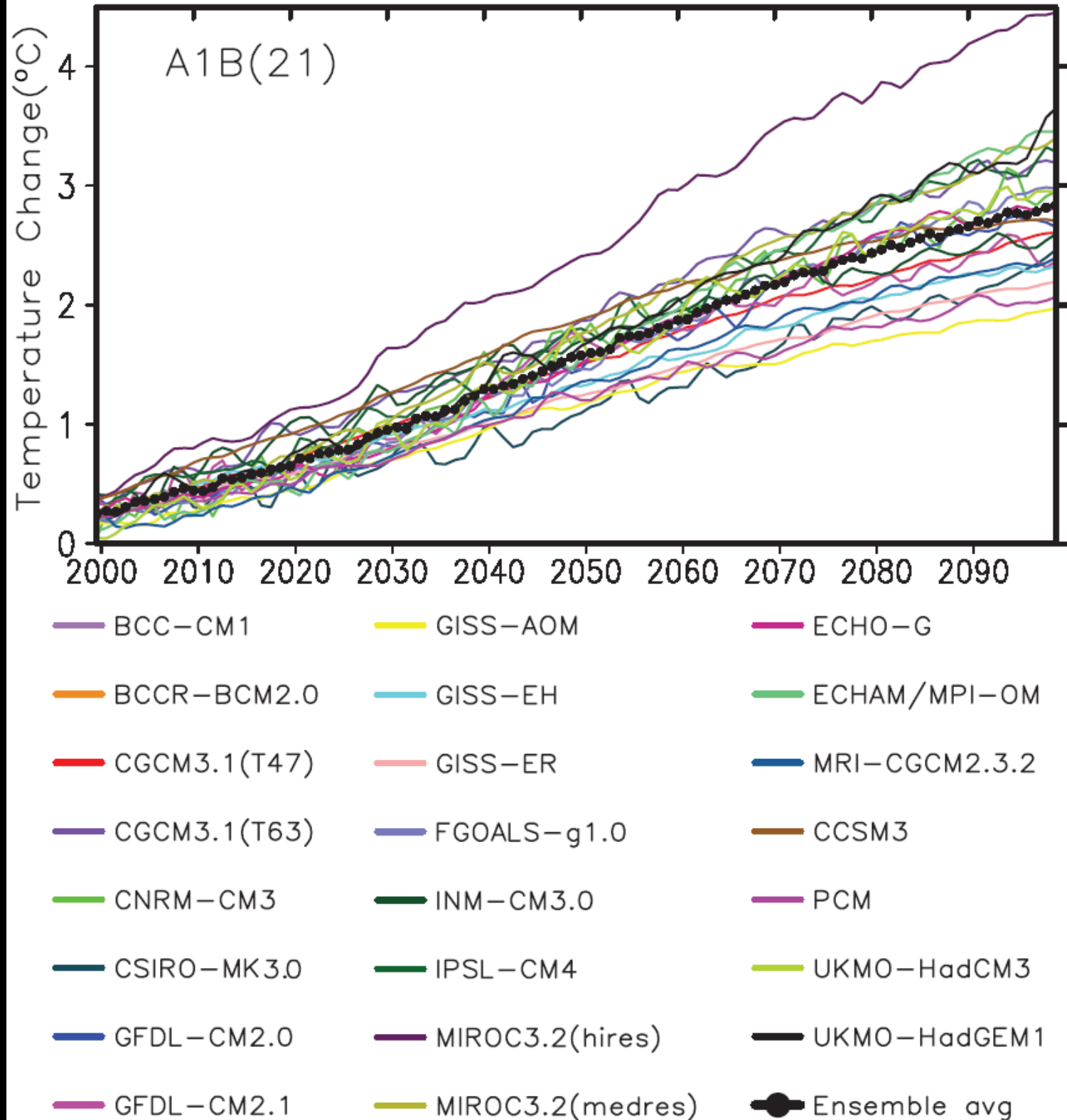
5640m 5620m Cntrl 00z Cntrl 12z CLIM

<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.

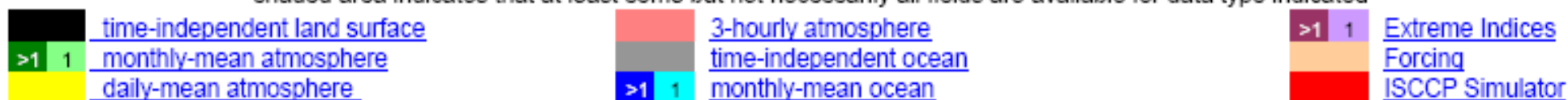


http://www.windows.ucar.edu/earth/climate/images/ipcc_many_models_sm.gif

Data Availability Summary

(as of 27 February 2008)

shaded area indicates that at least some but not necessarily all fields are available for data type indicated

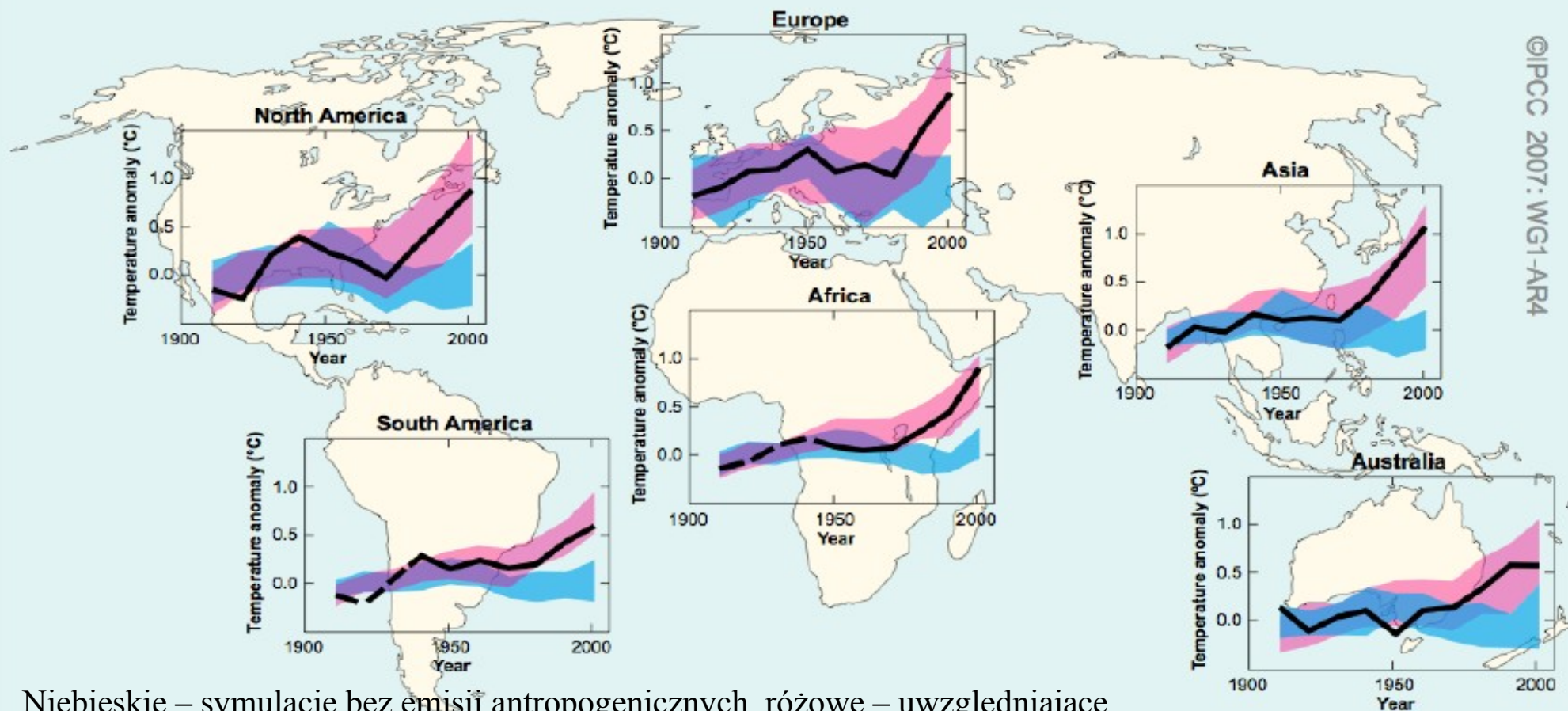


	Piontrl	PDentrl	20C3M	Commit	SRESA2	SRESA1B	SRESB1	1%to2x	1%to4x	Slab cntl	2xCO2	AMIP
BCC-CM1, China												
BCCR-BCM2.0, Norway												
CCSM3, USA												
CGCM3.1(T47), Canada												
CGCM3.1(T83), Canada												
CNRM-CM3, France												
CSIRO-Mk3.0, Australia												
CSIRO-Mk3.5, Australia												
ECHAM5/MPI-OM, Germany												
ECHO-G, Germany/Korea												
FGOALS-g1.0, China												
GFDL-CM2.0, USA												
GFDL-CM2.1, USA												
GISS-AOM, USA												
GISS-EH, USA												
GISS-ER, USA												
INGV-SXG, Italy												
INM-CM3.0, Russia												
IPSL-CM4, France												
MIROC3.2(hires), Japan												
MIROC3.2(medres), Japan												
MRI-CGCM2.3.2, Japan												
PCM, USA												
UKMO-HadCM3, UK												
UKMO-HadGEM1, UK												

Wyniki symulacji klimatycznych – dostępne dla każdego!

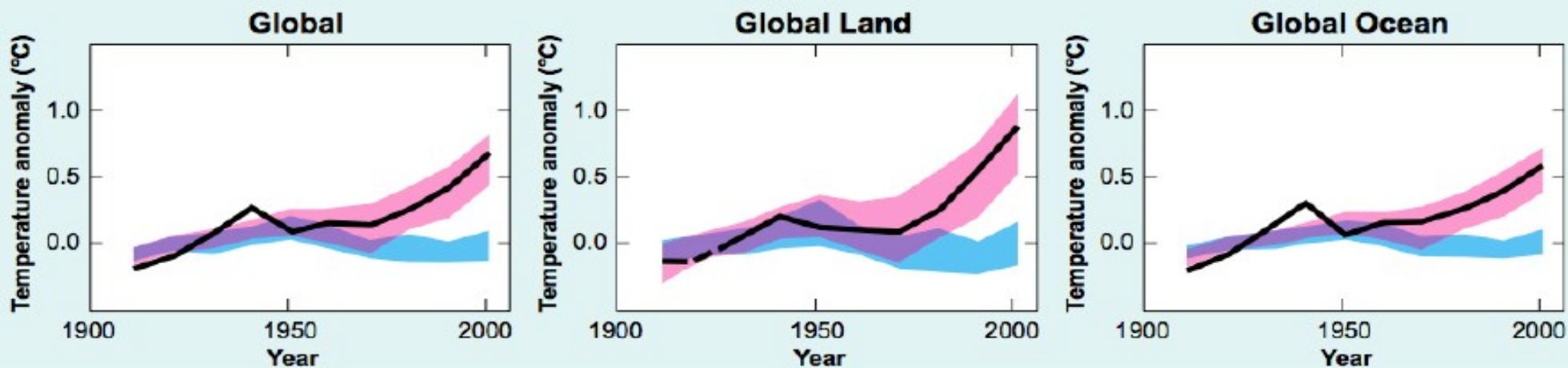
<http://www-pcmdi.llnl.gov/projects/cmip/>

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

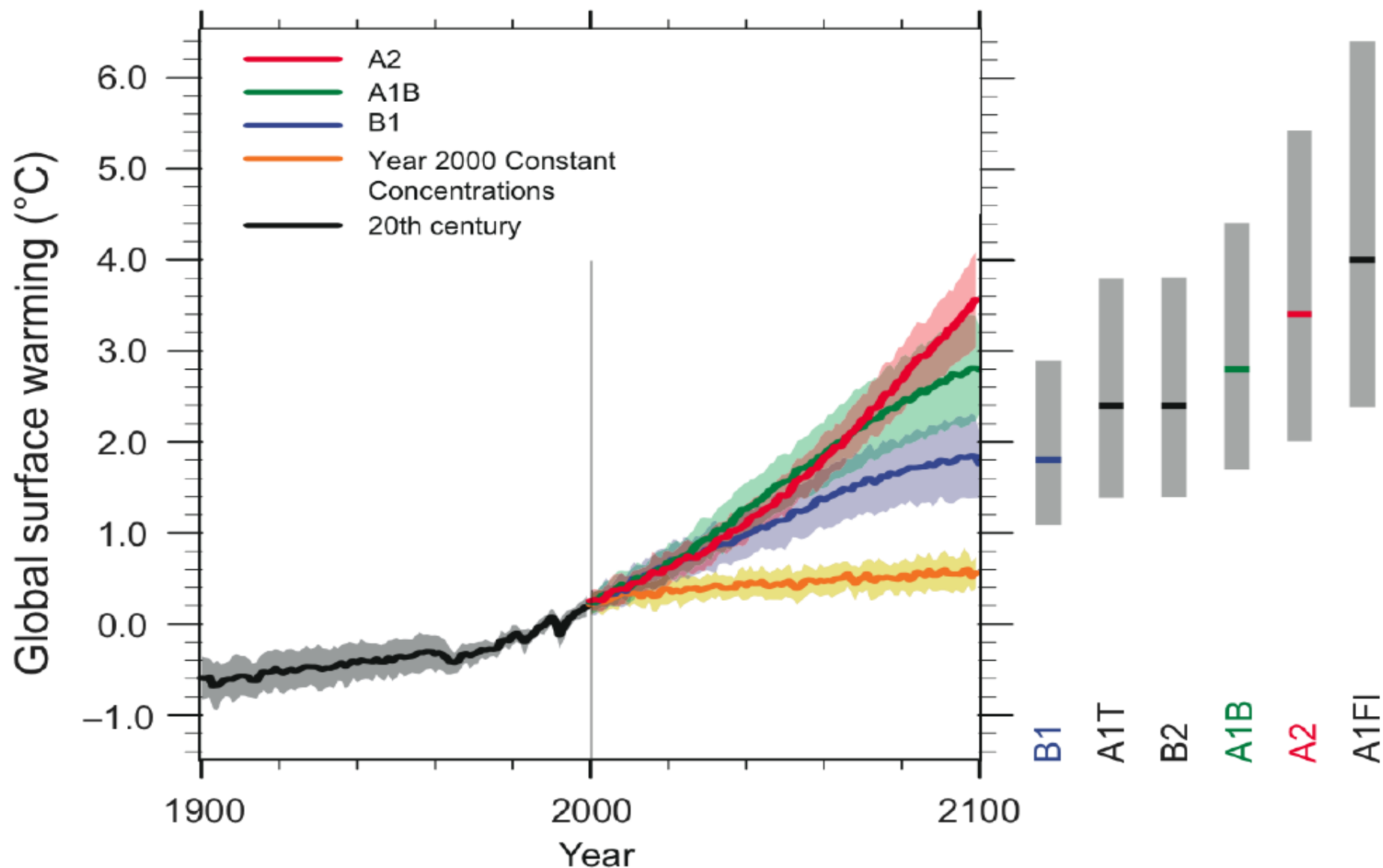
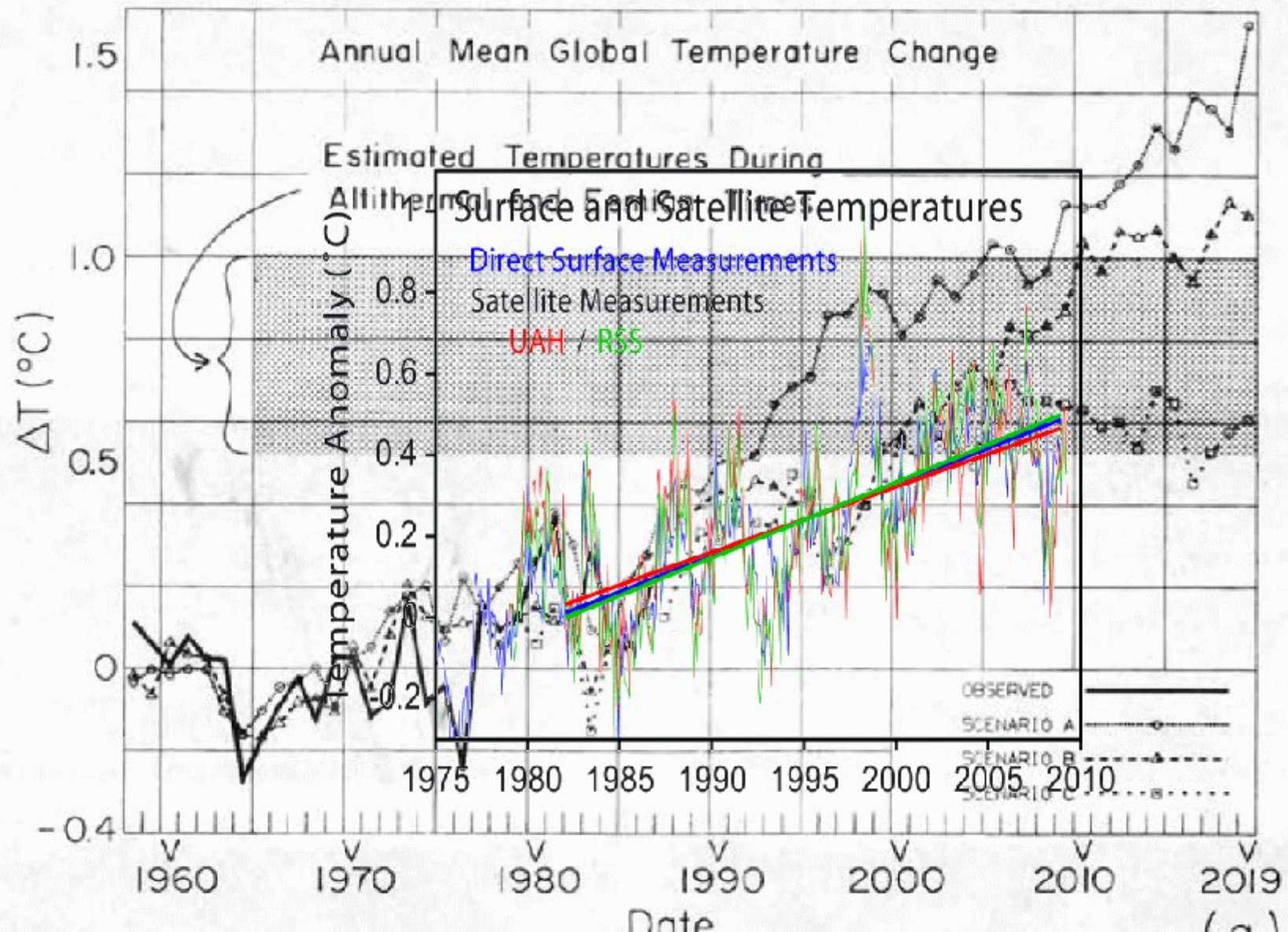


FIGURE SPM-5. Solid lines are multi-model global averages of surface warming (relative to 1980-99) for the scenarios A2, A1B and B1, shown as continuations of the 20th century simulations. Shading denotes the plus/minus one standard deviation range of individual model annual averages. The orange line 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}



Hansen et al., 1988 vs. późniejsze obserwacje (z Wikimedia Commons)

http://edgcm.columbia.edu/

Często odwiedzane ▾ Centrum Otwartej i ...

EdGCM

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



NEWS SOFTWARE COMMUNITY SUPPORT

The Project
The People
Climate News

http://mitgcm.org/

Często odwiedzane ▾ Centrum Otwartej i ...

MITgcm

Log in Site Comments

Spotlight on...



Modele klimatu:
do pobrania!!!

MITgcm | M.I.T General Circulation Model News and Information

Links

- Source code
- Testing
- Documentation
- Contact Us

News Links

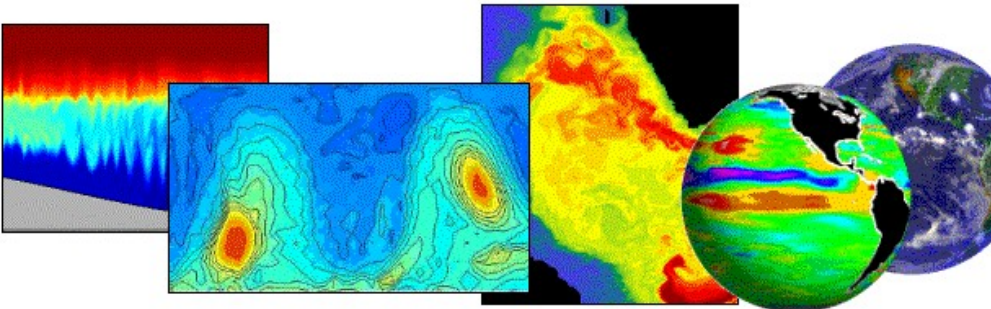
- About News and Features
- Latest News and Features

News Stories

News Categories

» SIDEBAR «

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!

Welcome to Climateprediction.net | Climateprediction.net - Mozilla Firefox

Plik Edycja Widok Historia Zakładki Narzędzia Pomoc

← → ↻ × 🏠 <http://climateprediction.net/node/218> ☆ climateprediction.net

Modele Numeryczne Climateprediction.net - Wi... Welcome to Climatepredict...



climateprediction.net

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

Search this site

Home News About Support Experiments Climate Science

Recent updates

- Technical co-ordinator vacancy
2010-10-07 🌩️
- Server outage
2010-10-07 🌩️
- Database re-activated
2010-09-04 🌩️
- Database maintenance
2010-09-01 🌩️
- Climateprediction.net logo mug available
2010-07-09 🌩️

Experiment status

Summary

Welcome to Climateprediction.net

in Welcome

Co to jest climateprediction.net?

Climateprediction.net jest projektem przetwarzania rozproszonego do opracowania prognoz dotyczących prognozy klimatu na Ziemi do roku 2100 oraz do badania dokładności modeli klimatycznych. Aby tego dokonać, potrzebujemy ludzi na całym świecie aby udostępniili nam czas na ich komputerach – czas, gdy ich włączone komputery nie są w pełni wykorzystywane.

[Przeczytaj więcej o eksperymentach.](#)

Co musimy zrobić?

Musimy uruchomić model klimatu na Twoim komputerze. Model będzie uruchamiany automatycznie jako proces w tle przy każdym uruchomieniu komputera i nie powinien wpływać na inne zadania, dla których komputer jest wykorzystywany. Gdy model działa, można oglądać pogodę i unikatową wersję świata. Wyniki są przesyłane do nas za pomocą Internetu, i będzie je można zobaczyć jako podsumowanie na tej stronie. Climateprediction.net używa tego samego oprogramowania BOINC jak wiele innych projektów przetwarzania rozproszonego, i jeśli chcesz, możesz brać udział w więcej niż jednym projekcie.

[Przeczytaj więcej o BOINC.](#)

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

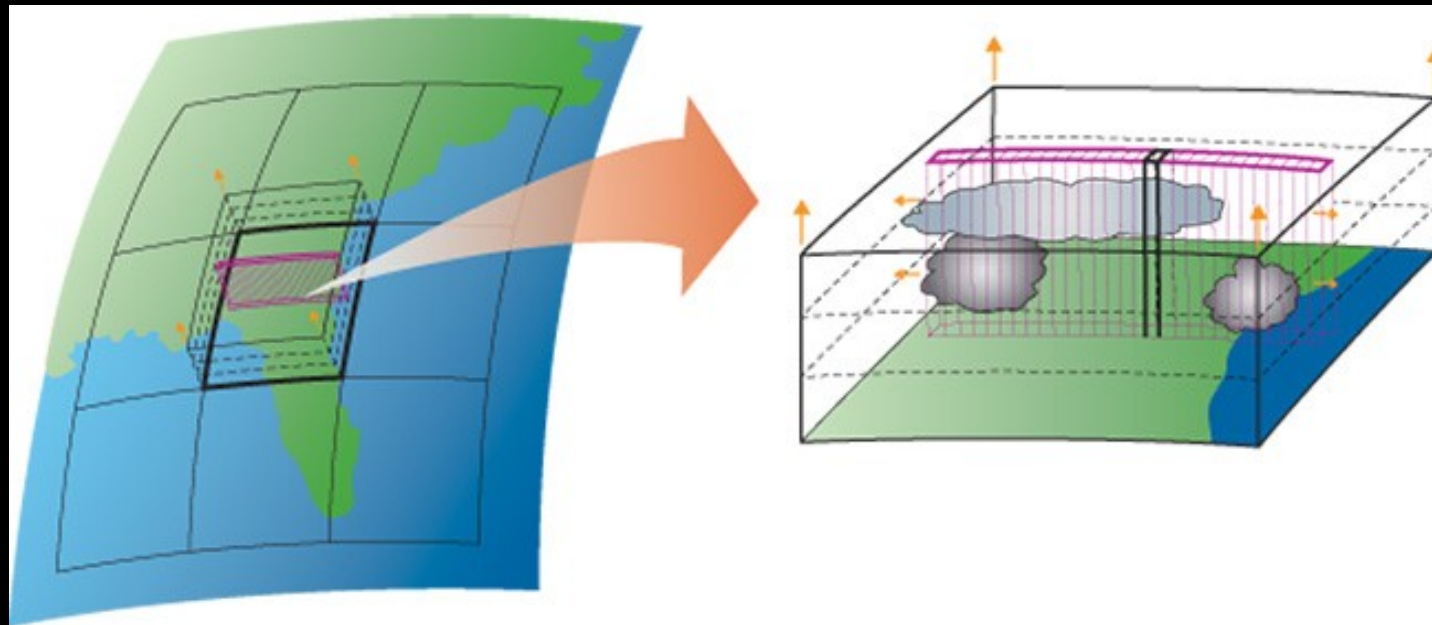
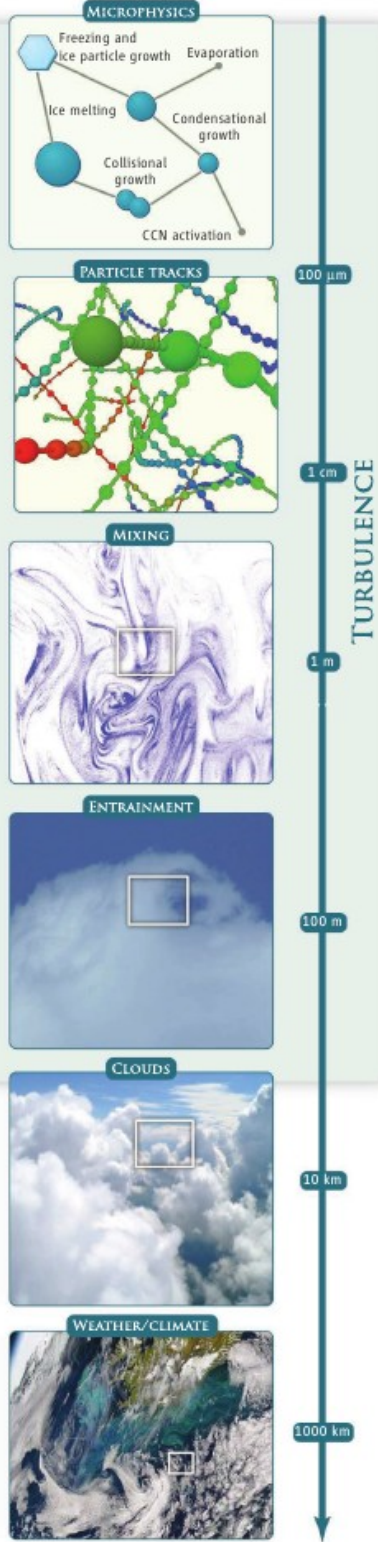
Dlaczego możemy (w ograniczonym stopniu) ufać prognozom klimatu:

- 1) modele bazują na podstawowych powszechnych prawach fizyki: zasadach zachowania energii, pędu, momentu pędu, masy....
- 2) w „wirtualnej rzeczywistości” modeli wielkości fizyczne i ich statystki 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)	Cray XT5-HE Jaguar (04-2010)	petascale computers
wydajność	500 FLOPS	10^{12} FLOPS	$2 * 10^{15}$ FLOPS	dużo* 10^{15} FLOPS
pamięć	10 słów (40B)	400 GB	~100 000 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.....

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/>