GLOBALNE OCIEPLENIE OKIEM FIZYKA

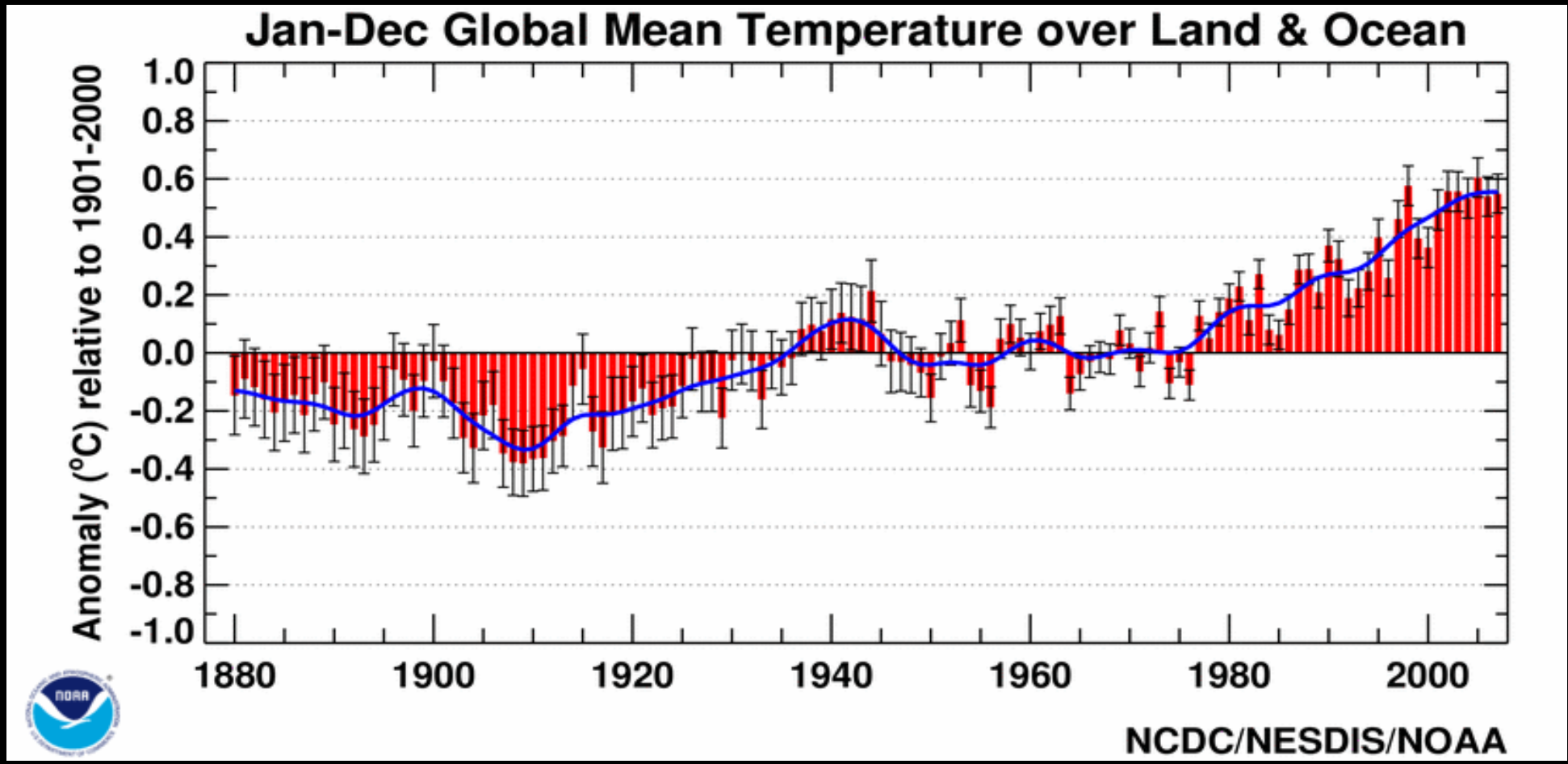
Szymon Malinowski

Instytut Geofizyki
Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

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.



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 równowagi bilans jest zachowany – ZIEMIA pochłania tyle samo co emituje, temperatura jest stała. Ale czy mamy stan równowagi?

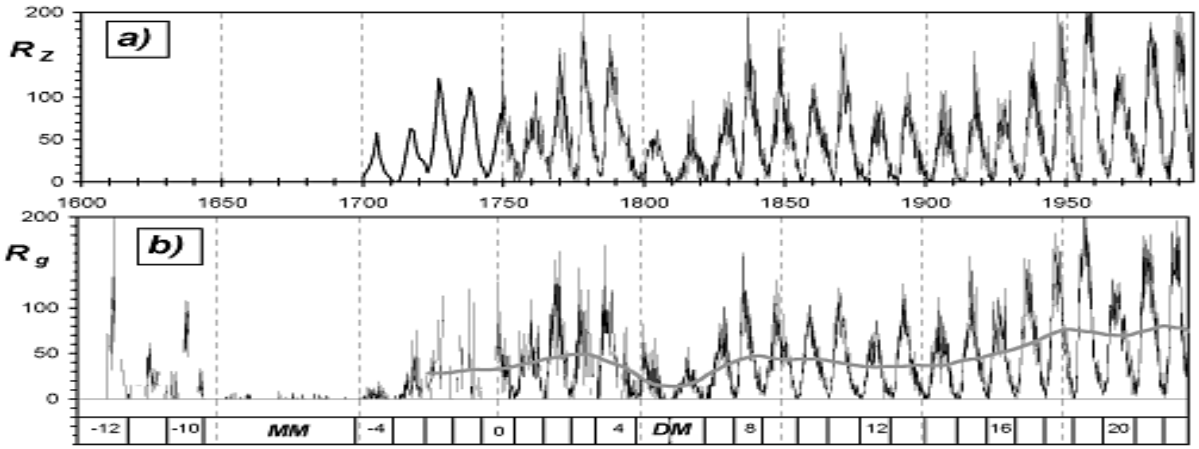


Figure 1: Sunspot numbers since 1610. a) Monthly (since 1749) and yearly (1700 – 1749) Wolf sunspot number series. b) Monthly group sunspot number series. The grey line presents the 11-year running mean after the Maunder minimum. Standard (Zürich) cycle numbering as well as the Maunder minimum (MM) and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

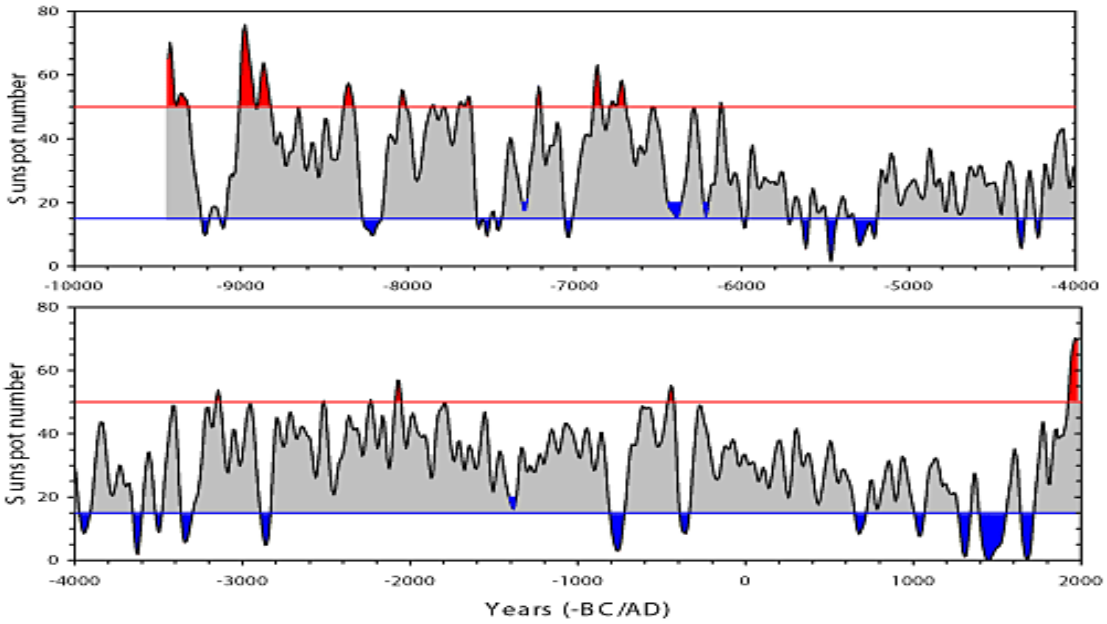
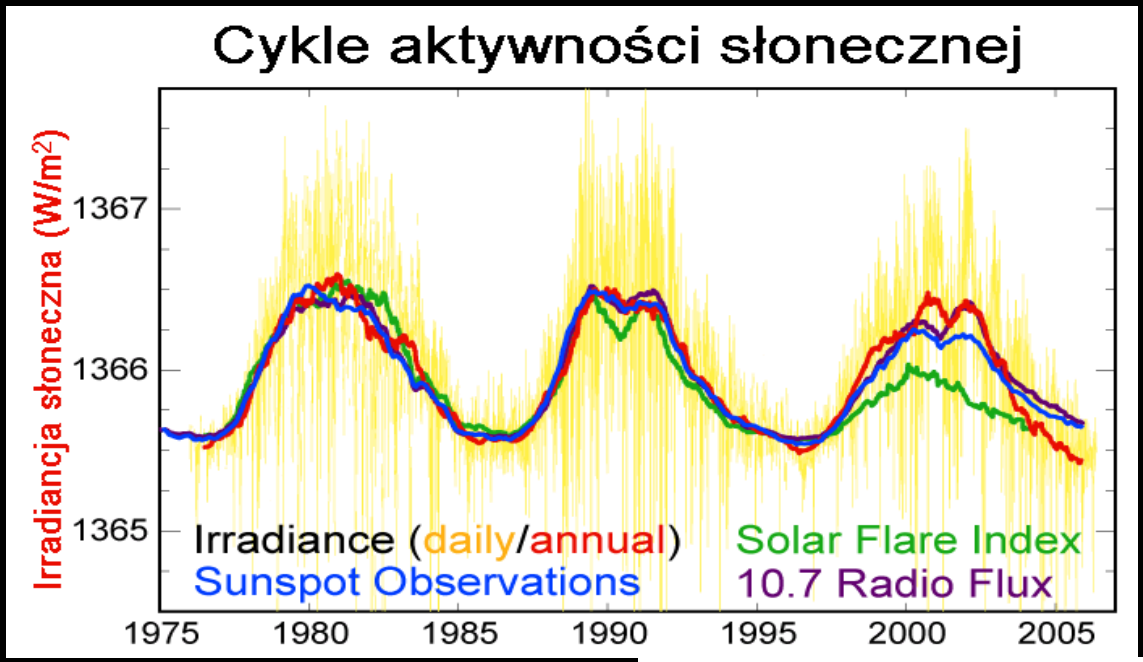


Figure 17: Sunspot activity (over decades, smoothed with a 12221 filter) throughout the Holocene, reconstructed from ^{14}C by Usoskin *et al.* (2007) using geomagnetic data by Yang *et al.* (2000). Blue and red areas denote grand minima and maxima, respectively.

PLAMY NA SŁOŃCU

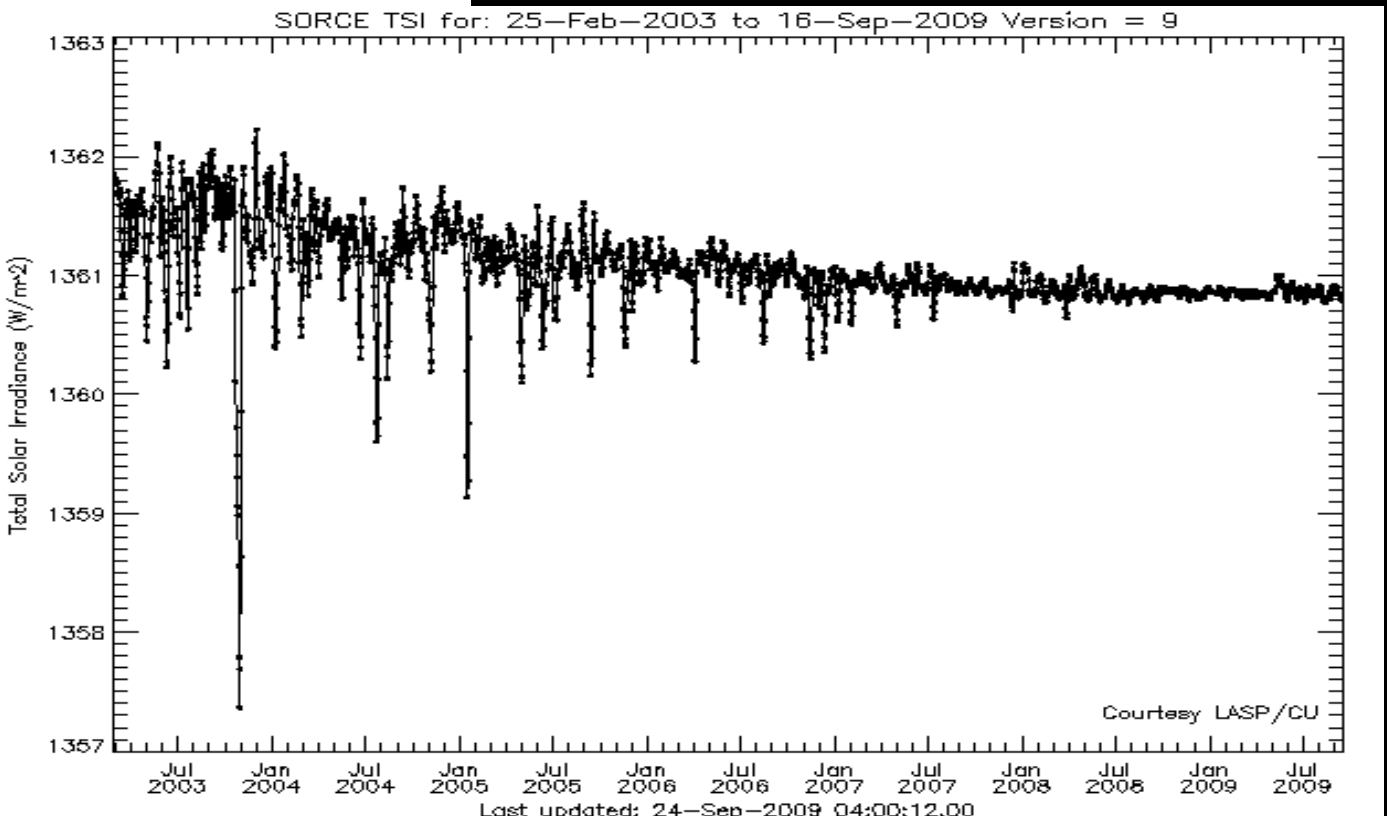
I.G. Usoskin "A History of Solar Activity over Millennia" Publication URI: http://www.livingreviews.org/lrsp

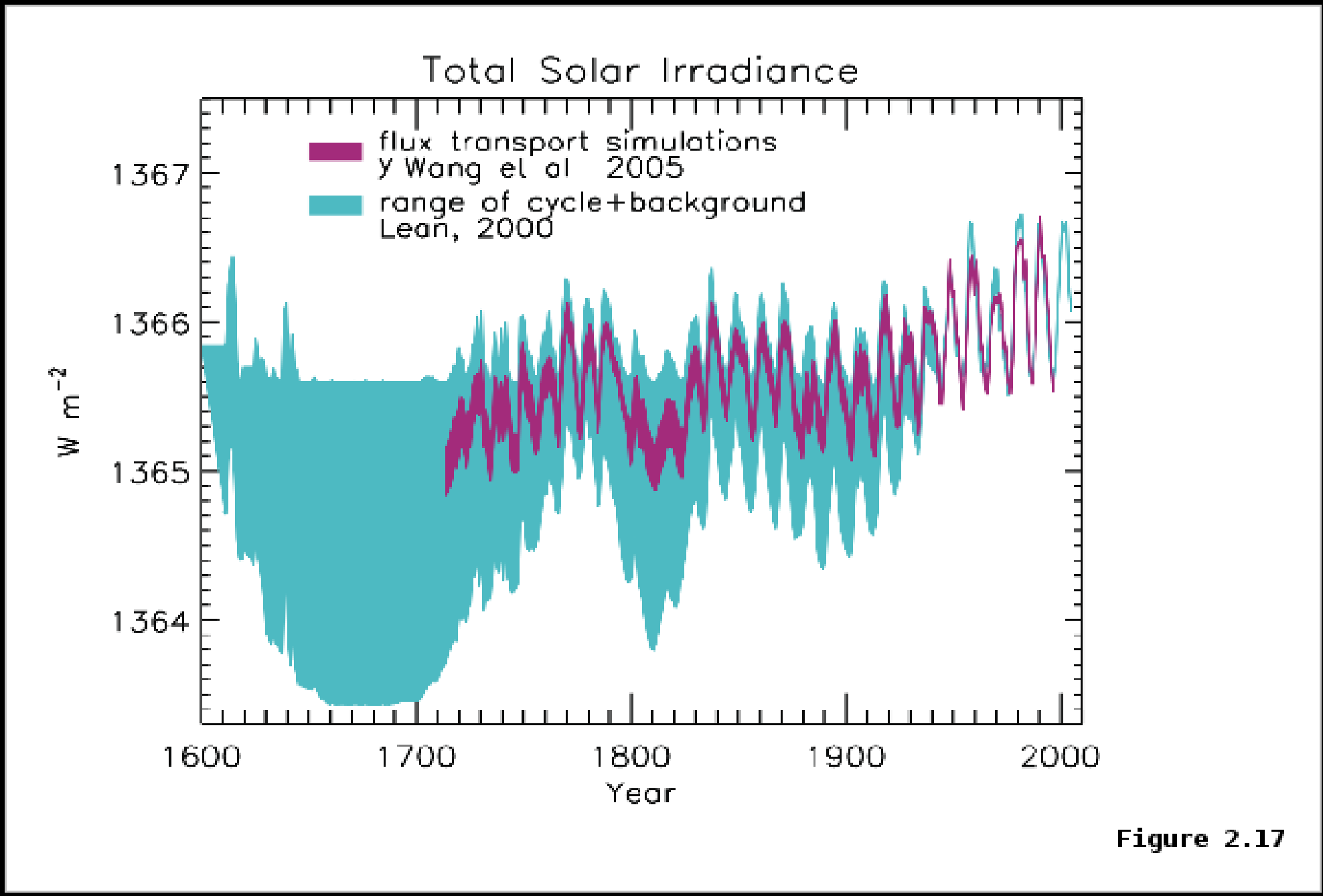
Ale: jak plamy mają się do ilości energii jaka dociera od Słońca?



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

The Solar Radiation and Climate Experiment (SORCE): http://lasp.colorado.edu/sorce/index.htm

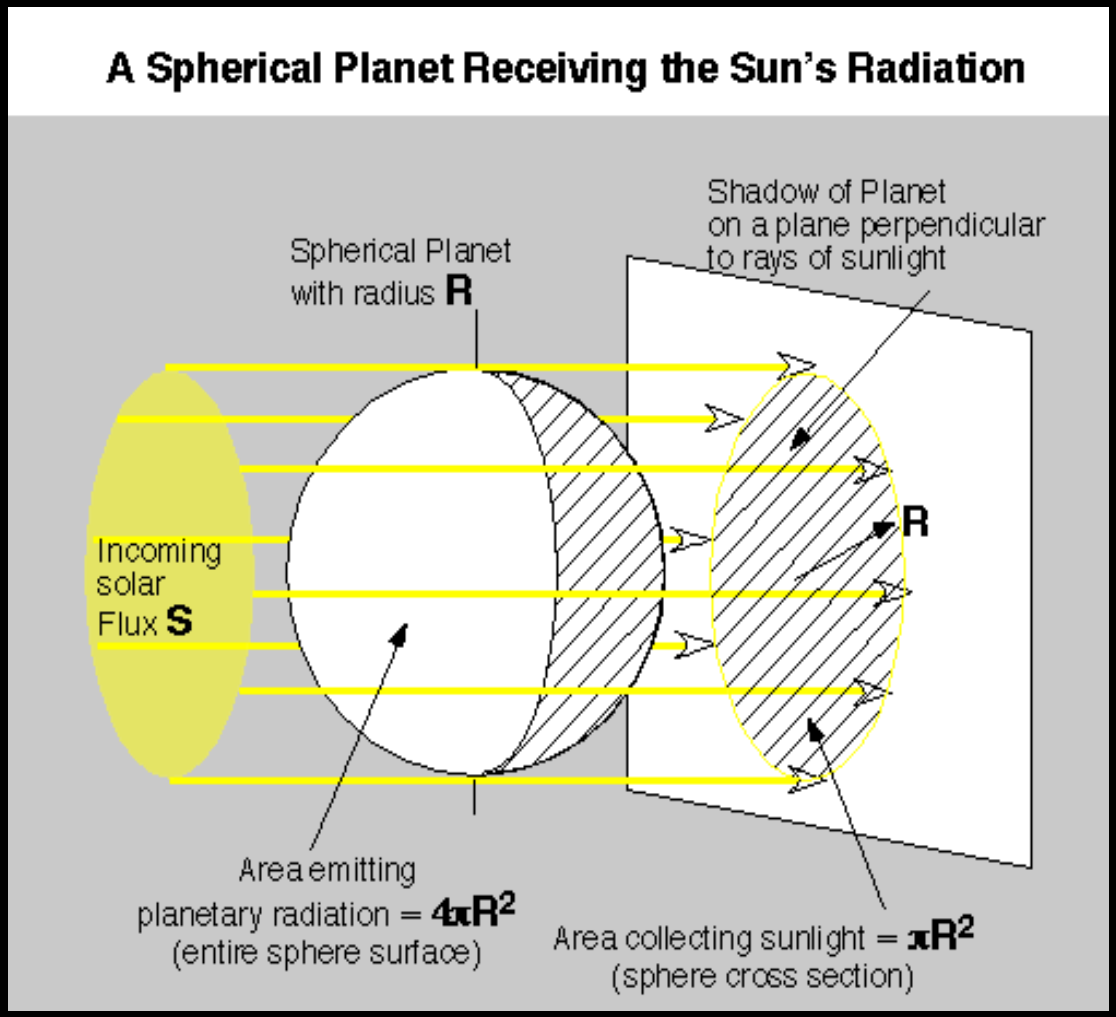




Rekonstrukcja zmian stałej słonecznej w ciągu ostatnich 400 lat.

IPCC, 2007.

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



Temperatura efektywna planety:

- planeta o promieniu R oświetlona strumieniem promieniowania S W/m^2;

- 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:

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

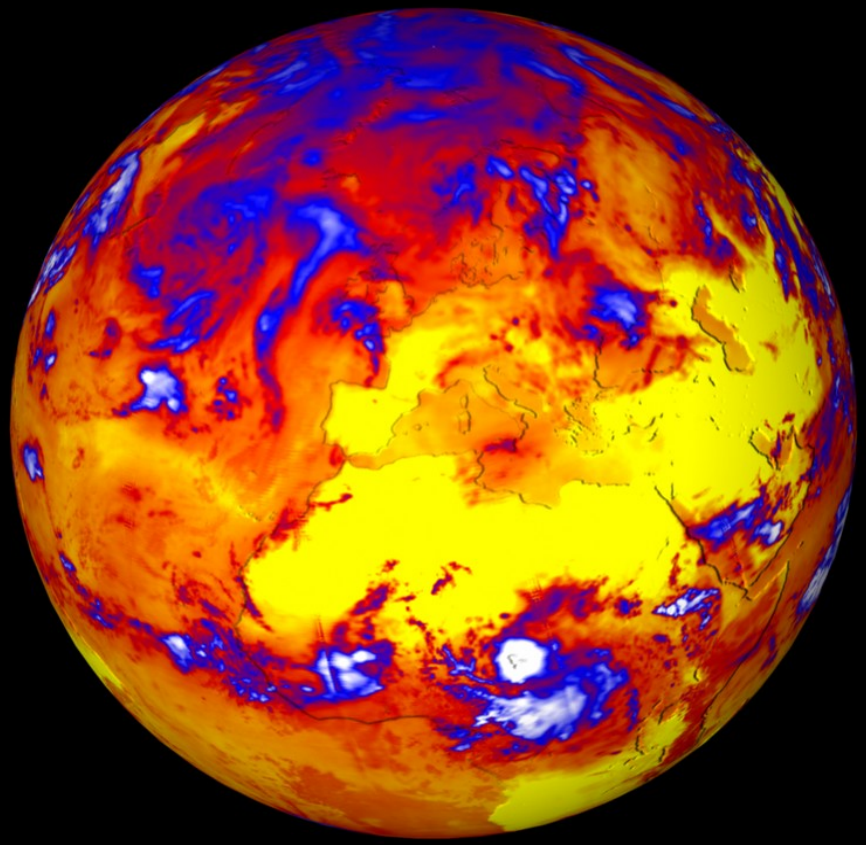
Co dla S=1366±1 W/m^2 oraz A=0.3 daje T_E=255.98±0.06K

Jednostka powierzchni każdego z tych ciał średnio otrzymuje od Słońca tyle samo energii,
natomiast warunki na powierzchni są diametralnie różne!

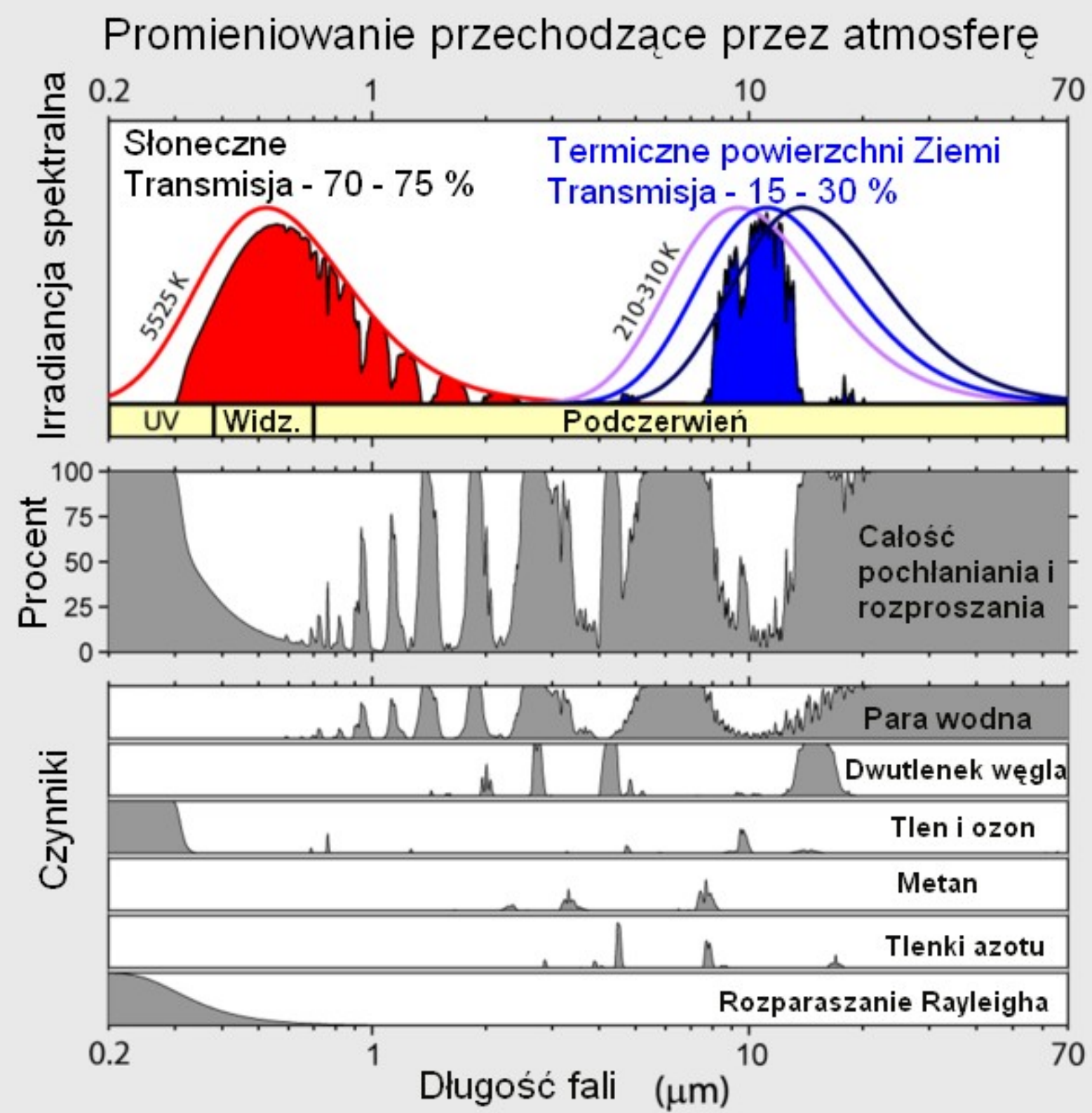
NASA

Ziemia odbija część promieniowania słonecznego,

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



earthobservatory.nasa.gov

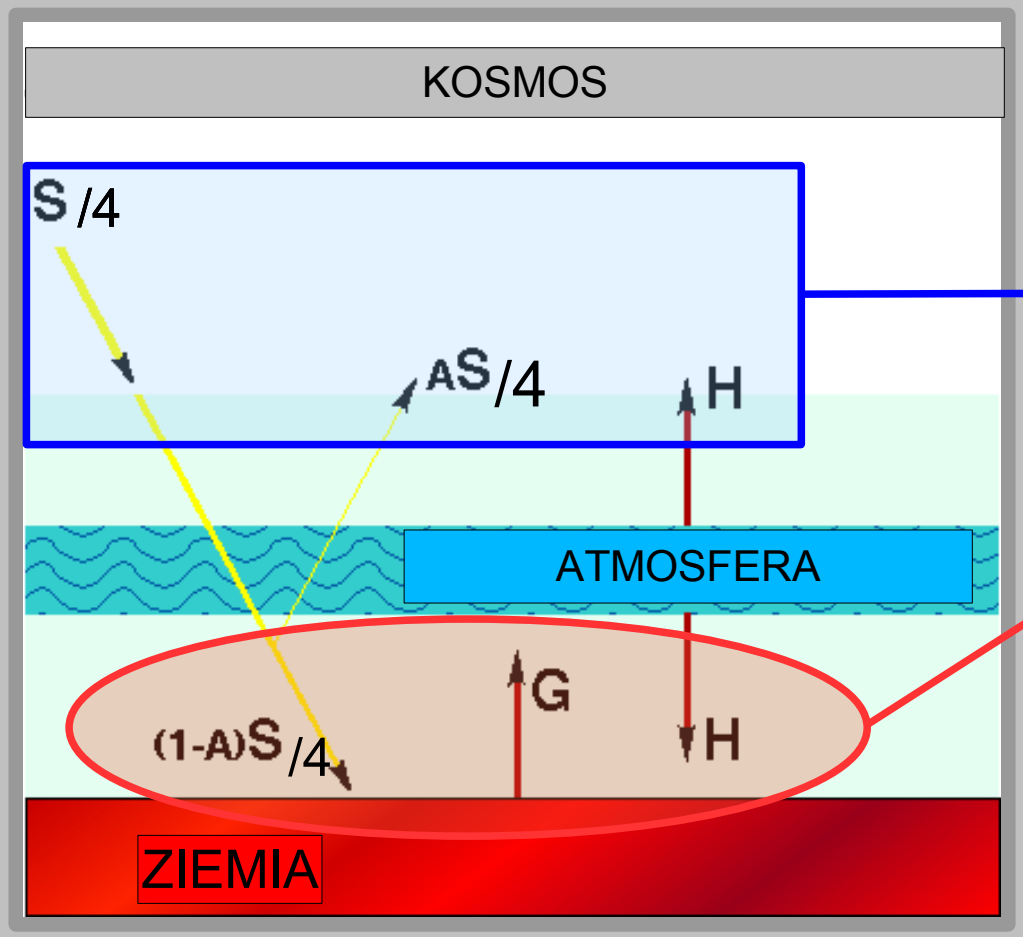


Promieniowanie słoneczne (krótkofalowe) i podczerwone (długofalowe) w atmosferze ziemskiej.

Pochłanianie i rozpraszanie promieniowania przez wybrane składniki atmosfery.

Wikipedia.

POGLĄDOWY MODEL EFEKTU CIEPLARNIANEGO



nad powierzchnia planety zalega “szyba” przeźroczysta dla promieniowania słonecznego, nieprzeźroczysta 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, ze 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:

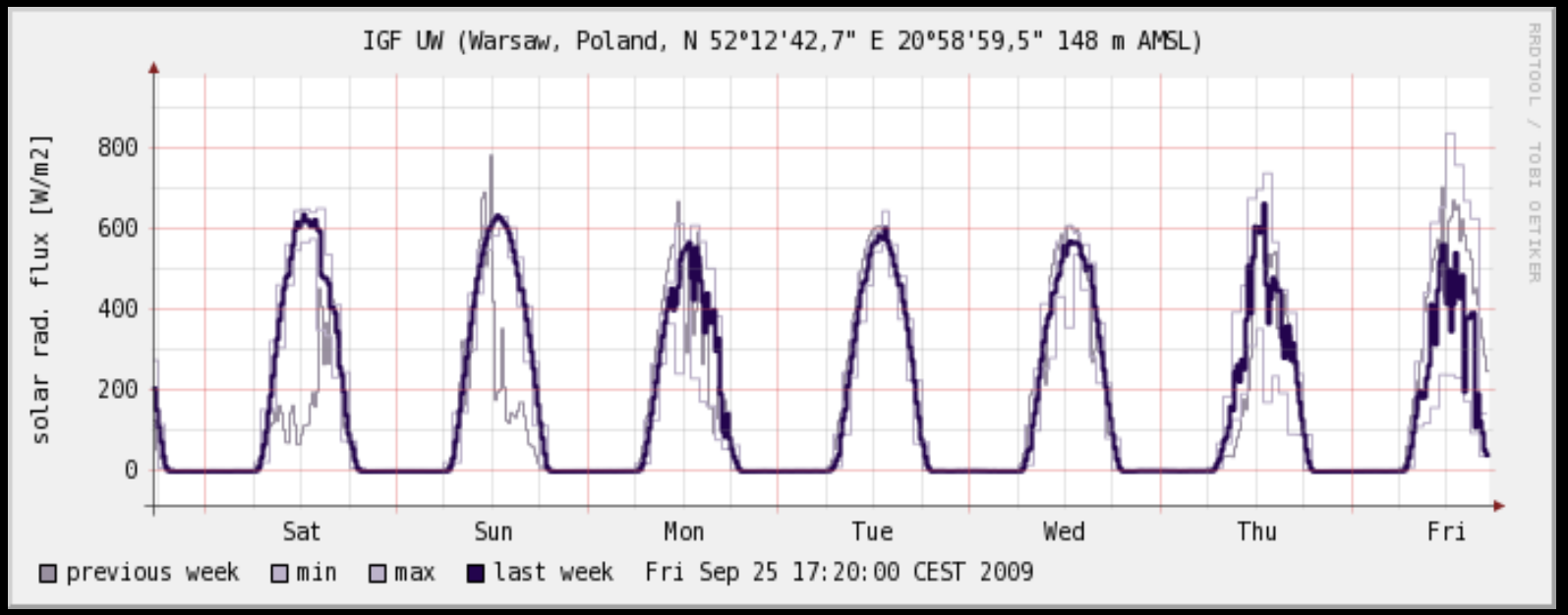
$$T_G = \sqrt[4]{2}\, T_E$$

Dla N warstw absorbujących dostaniemy:

$$T_G = \sqrt[4]{N+1}\, T_E$$

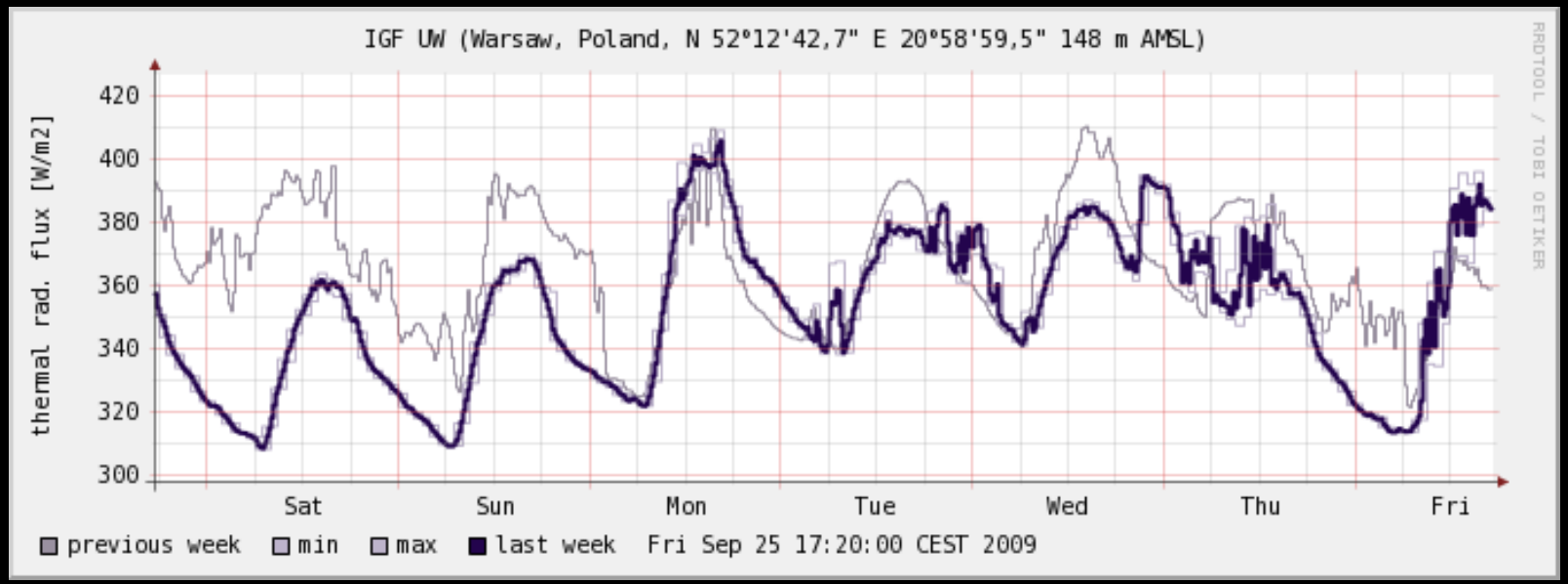
Energia słoneczna

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

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

- albedo zmienia ilość energii pierwotnej która wraca bezpośrednio w kosmos;
- „izolacja” czyli efekt cieplarniany – ułatwia lub utrudnia ucieczkę energii w kosmos w postaci promieniowania termicznego....

- 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!!!).

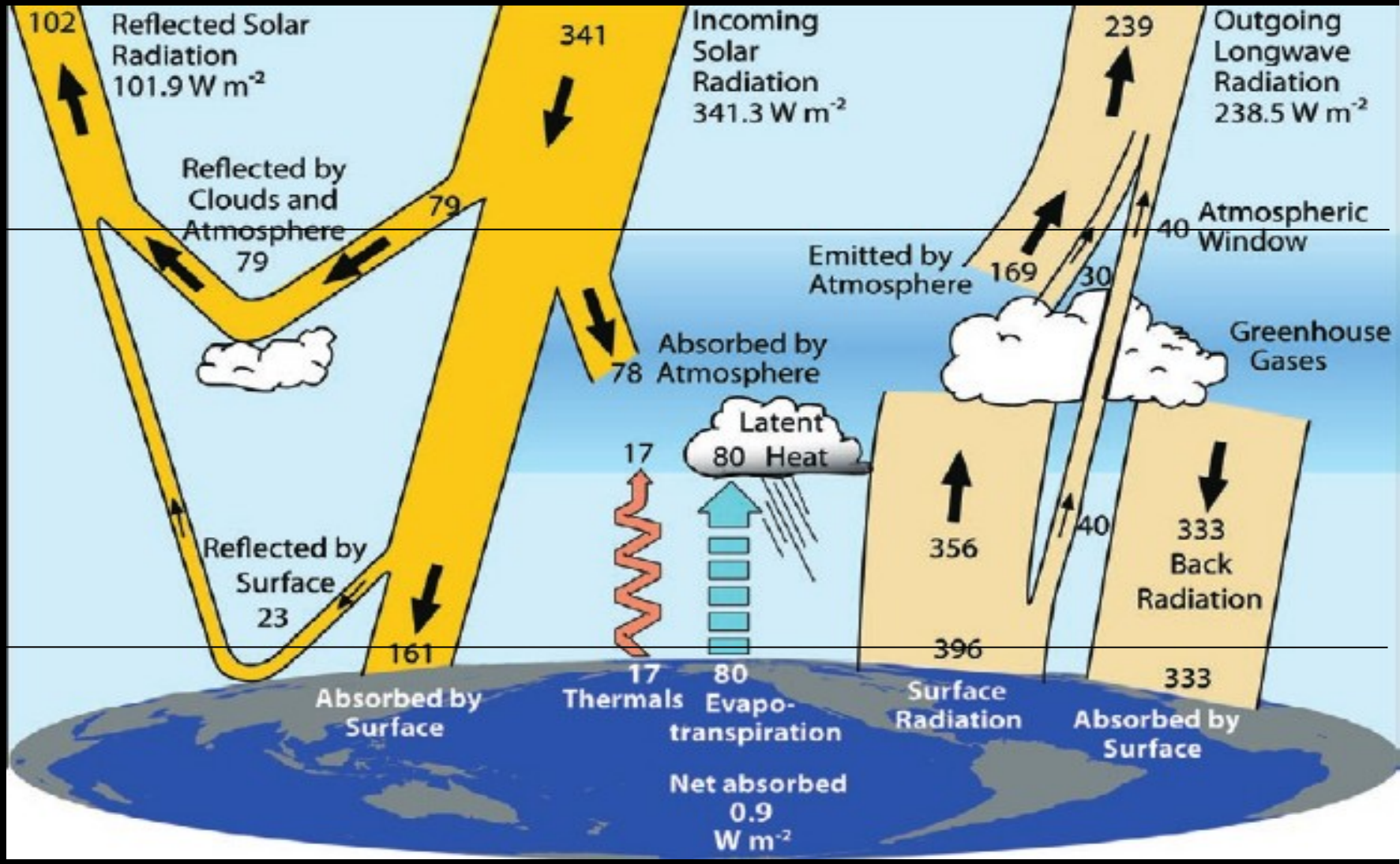
KLIMAT to skomplikowana MASZYNA CIEPLNA.

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

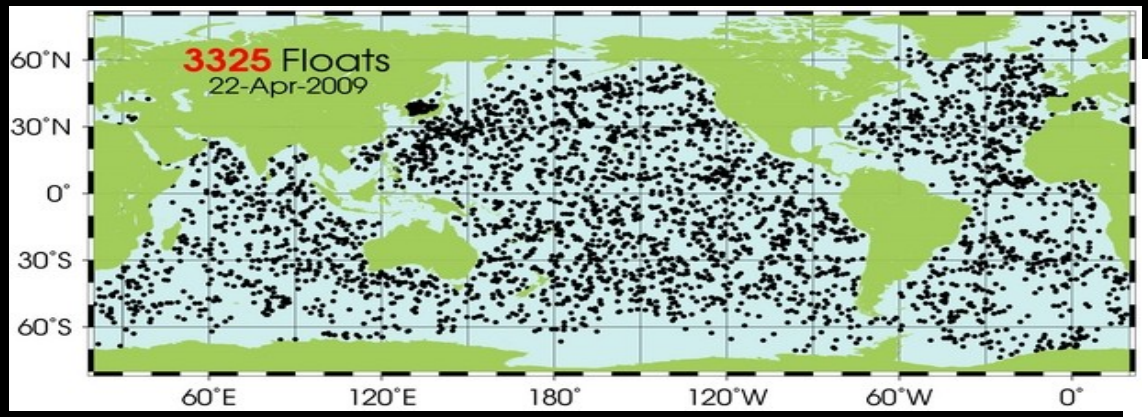
POWIERZ
-CHNIA
ZIEMI

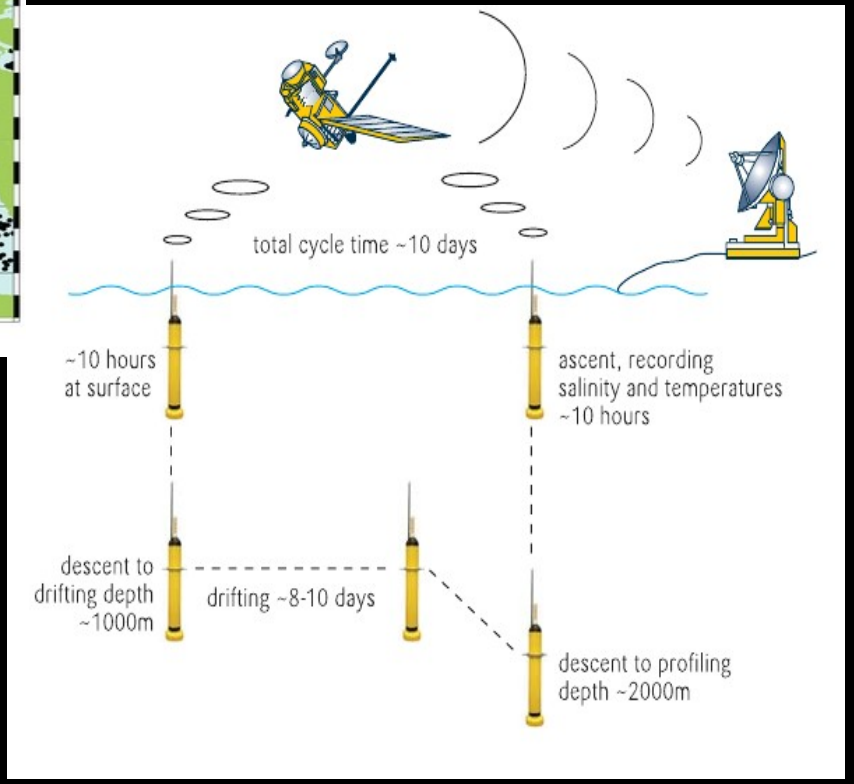


Trenberth, K.E., J.T. Fasullo, and J. Kiehl, 2009: Earth's Global Energy Budget. Bull. Amer. Meteor. Soc., 90, 311–323.

Brak równowagi: $0.9 \pm 0.15 W/m^2$

ARGO: pomiary profili temperatury i zasolenia wód oceanicznych.





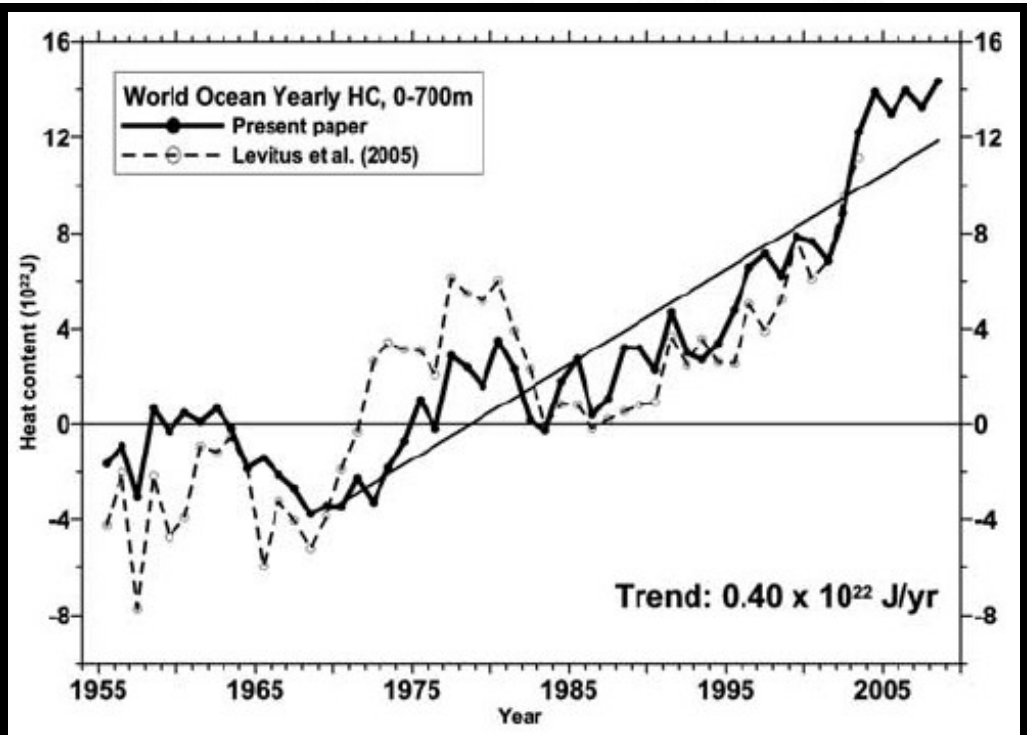
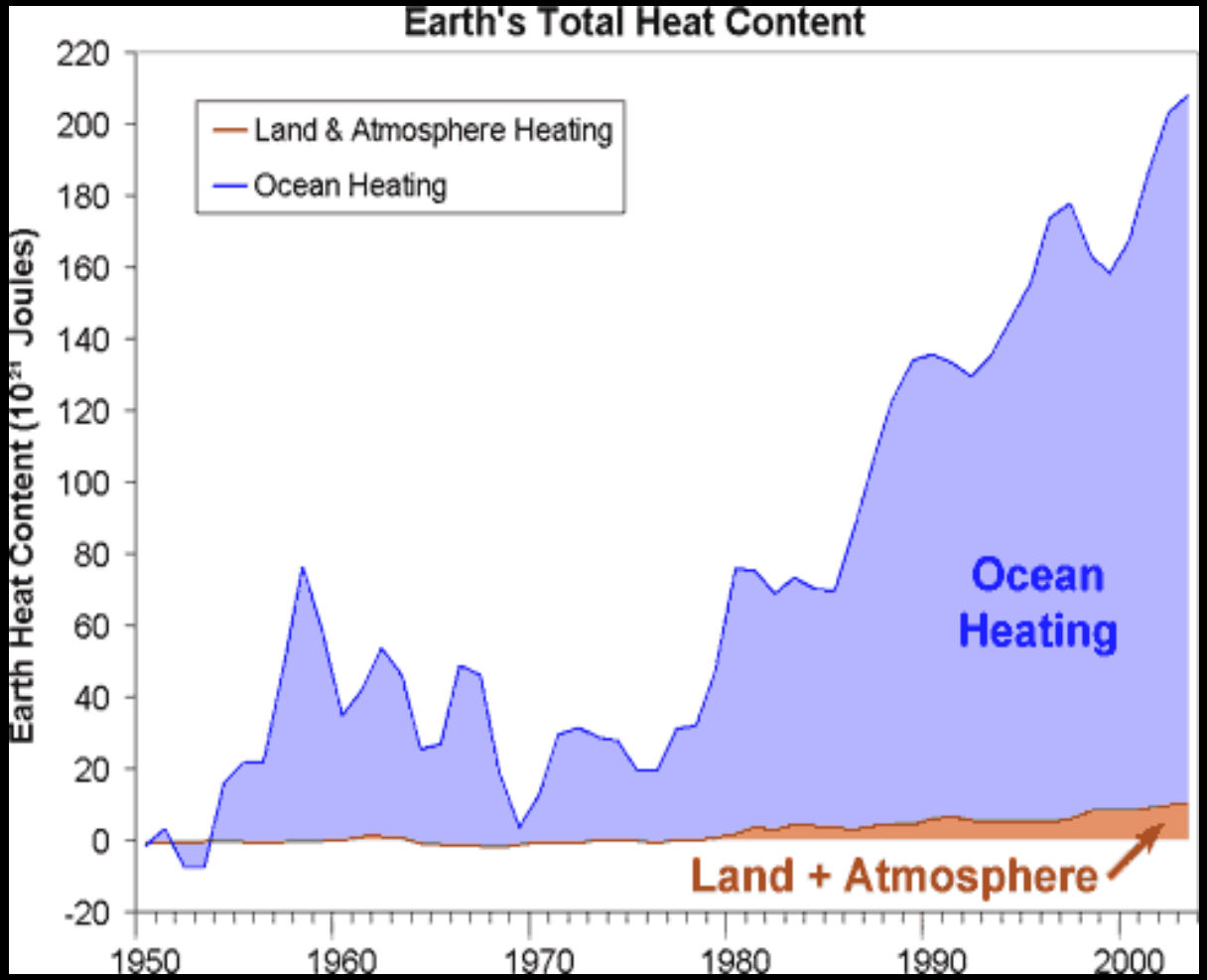
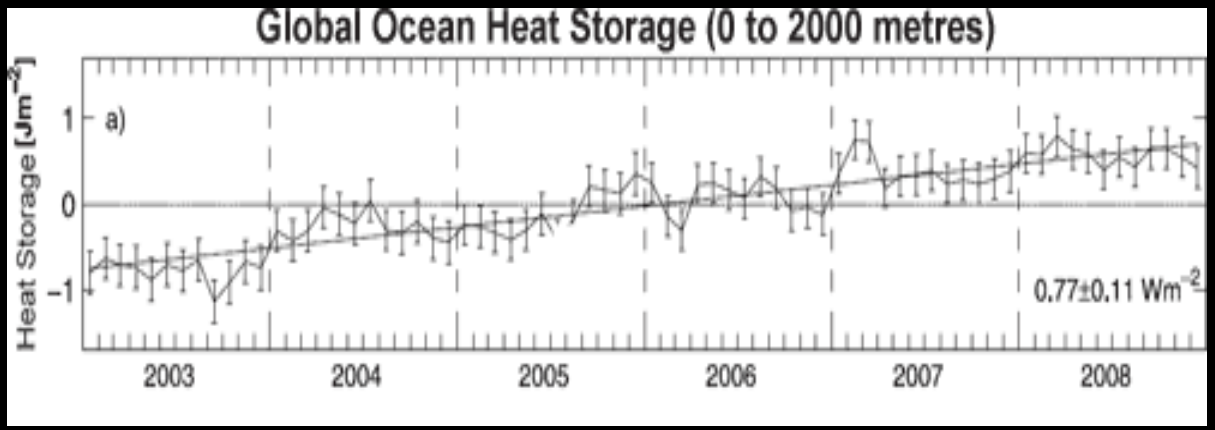


Figure 1. Time series of yearly ocean heat content (10^{22}J) for the 0–700 m layer from this study (solid) and from *Levitus et al.* [2005a] (dashed). Each yearly estimate is plotted at the midpoint of the year. Reference period is 1957–1990.

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





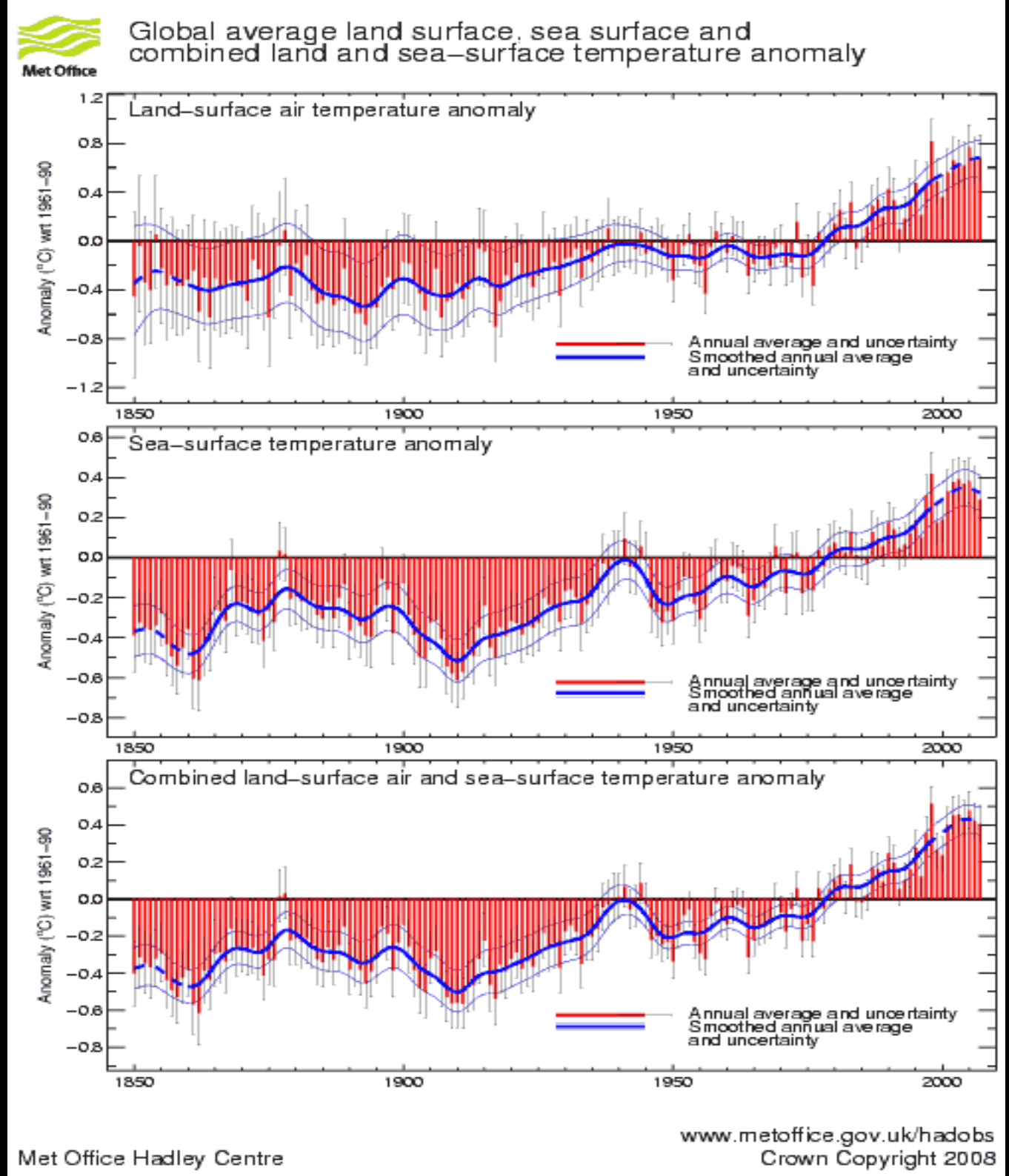
Za:

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).

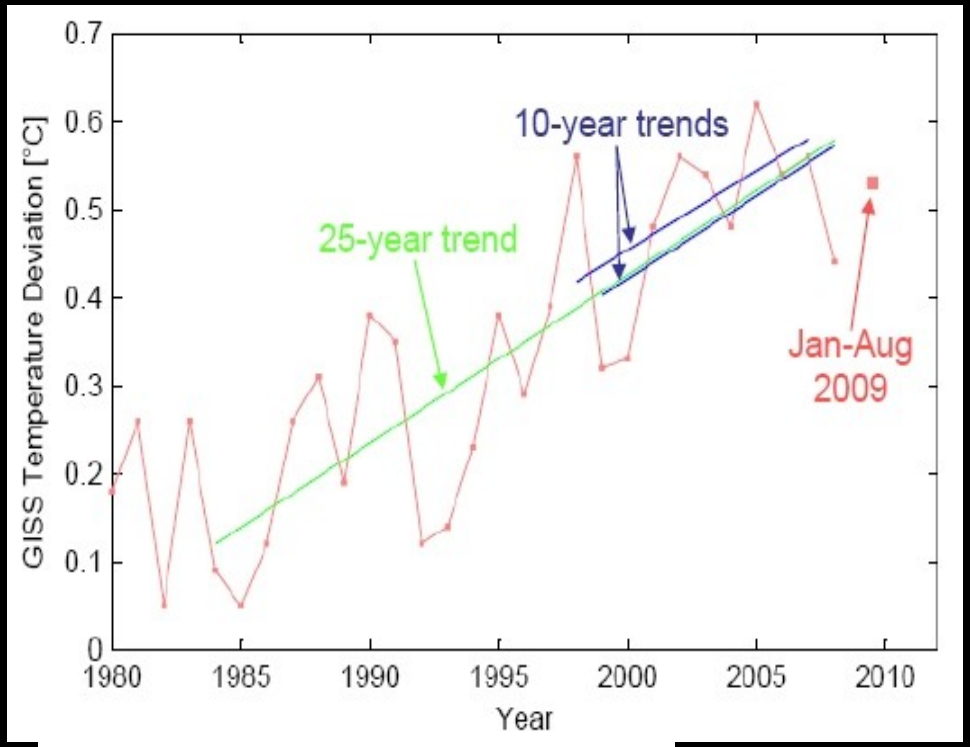
Ostatnie lata (ARGO, do 2000m, tylko ocean):

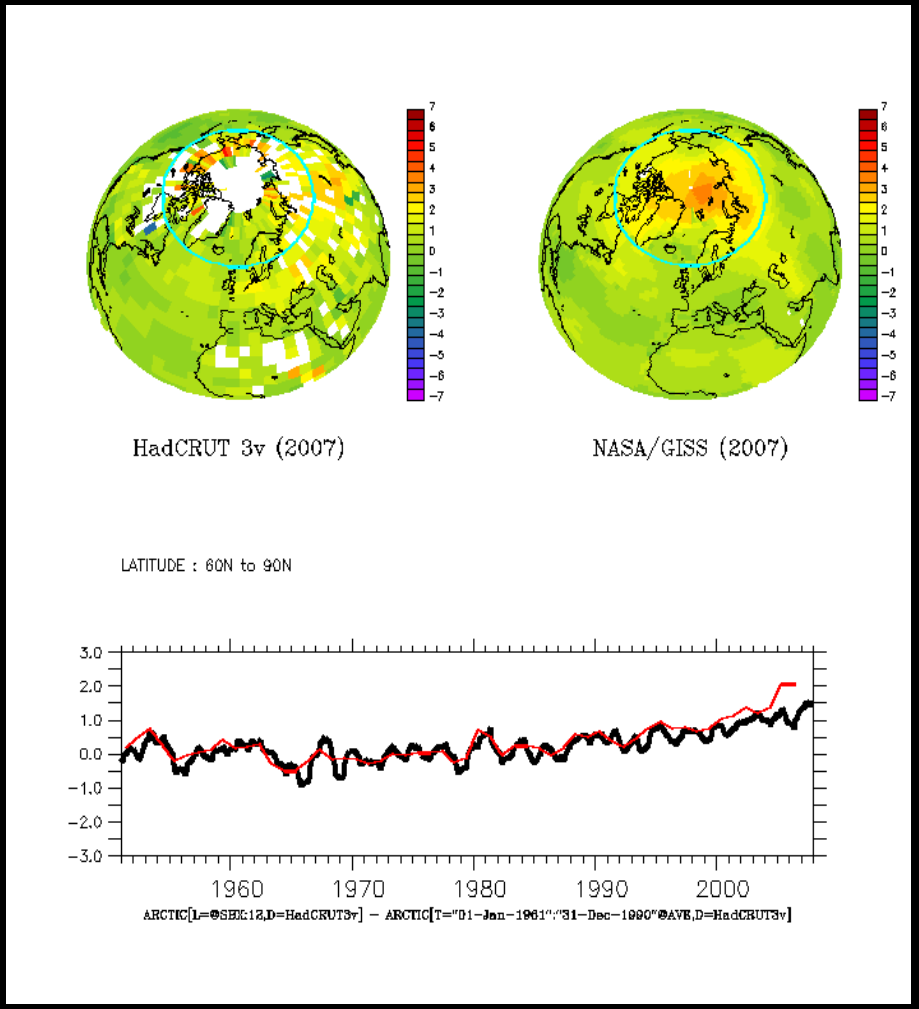
von Schuckmann, K., F. Gaillard, and P.-Y. Le Traon (2009), Global hydrographic variability patterns during 2003–2008, J. Geophys. Res., 114, C09007, doi:10.1029/2008JC005237.

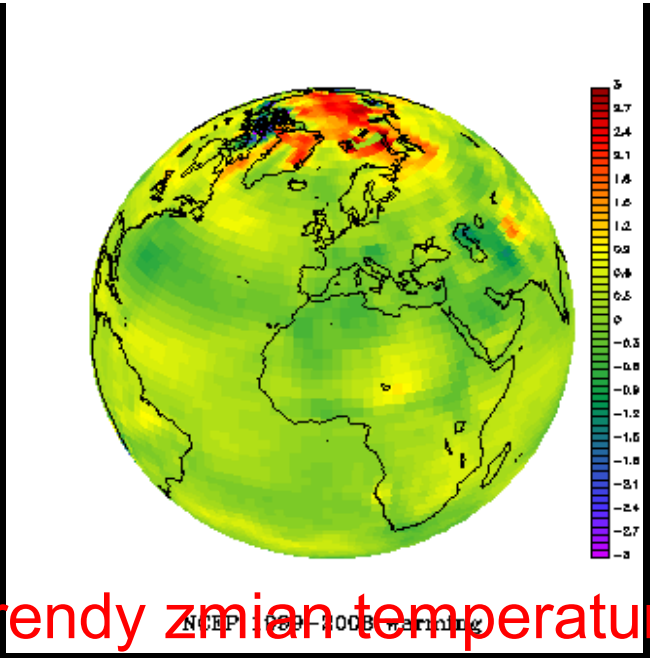
Brak równowagi:
$0.77 \pm 0.11 W/m^2$



Wzrasta temperatura powierzchni ziemi i oceanu, rośnie temperatura przypowierzchniowych warstw atmosfery, tam tez gromadzi się ciepło!







Różne metodyki oceny temperatury globalnej: rozumiemy rozbieżności między ocenami różnych ośrodków.

Trendy zmian temperatury globalnej i ich rozkład na powierzchni planety: Ostatnie 10 lat

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!!!

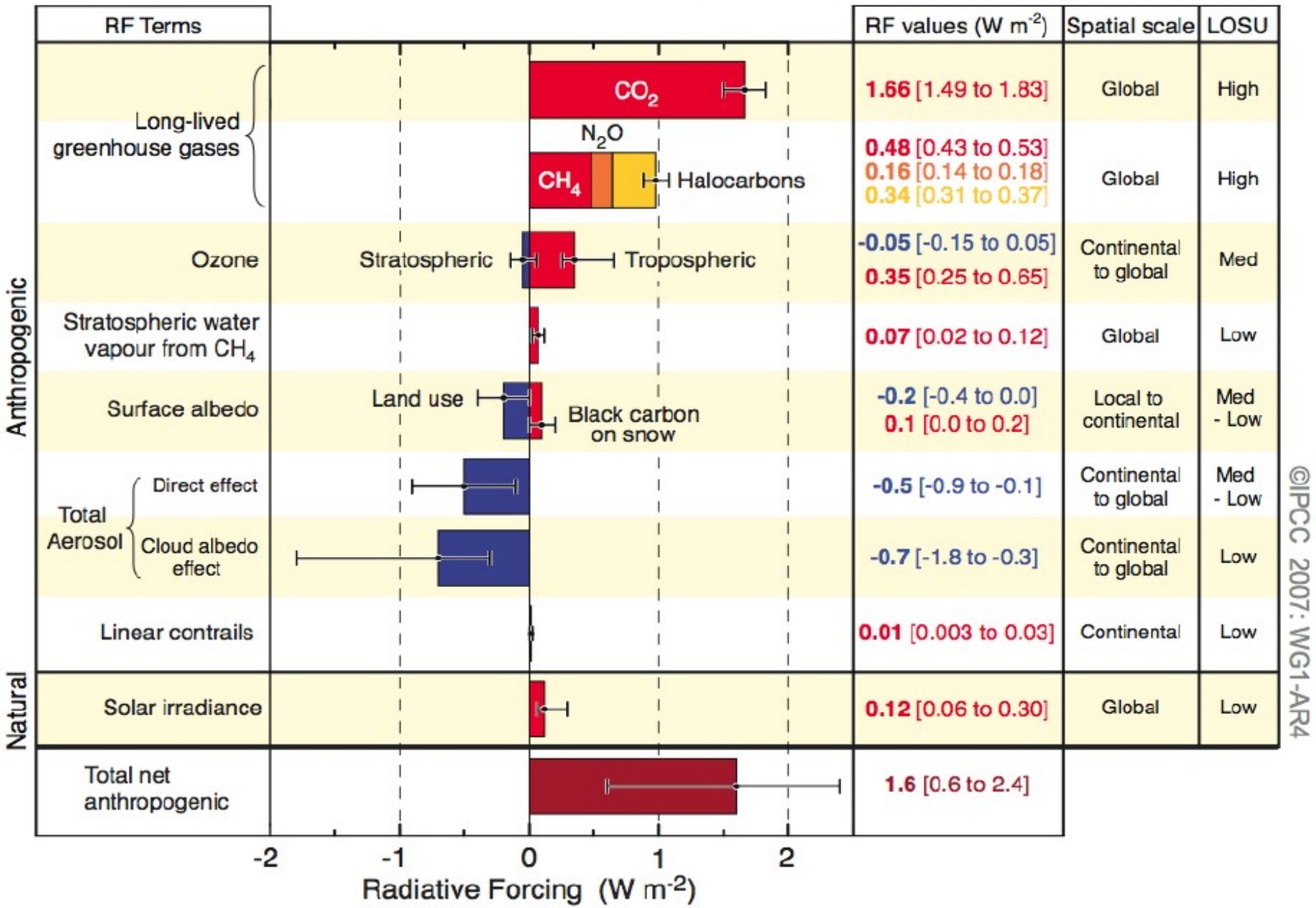
Z punktu widzenia fizyka to co obserwujemy w ostatnich latach to wzrost zawartości energii wewnętrznej w układzie Ziemia – Atmosfera wskutek procesu który zachodzi WEWNĄTRZ tego układu.

STRUMIEŃ ENERGII DOPŁYWAJĄCEJ Z ZEWNĄTRZ PRAKTYCZNIE SIĘ NIE ZMIENIŁ W TYM CZASIE.

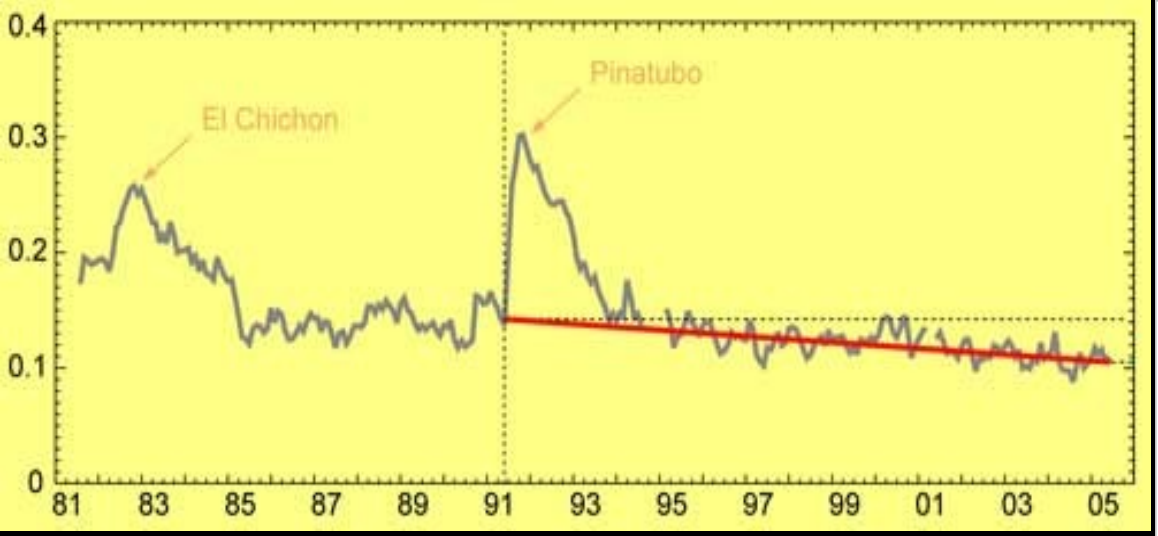
Znakomita większość energii gromadzonej w układzie magazynowana jest w oceanach, a tylko niewielka część w atmosferze i gruncie.

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.

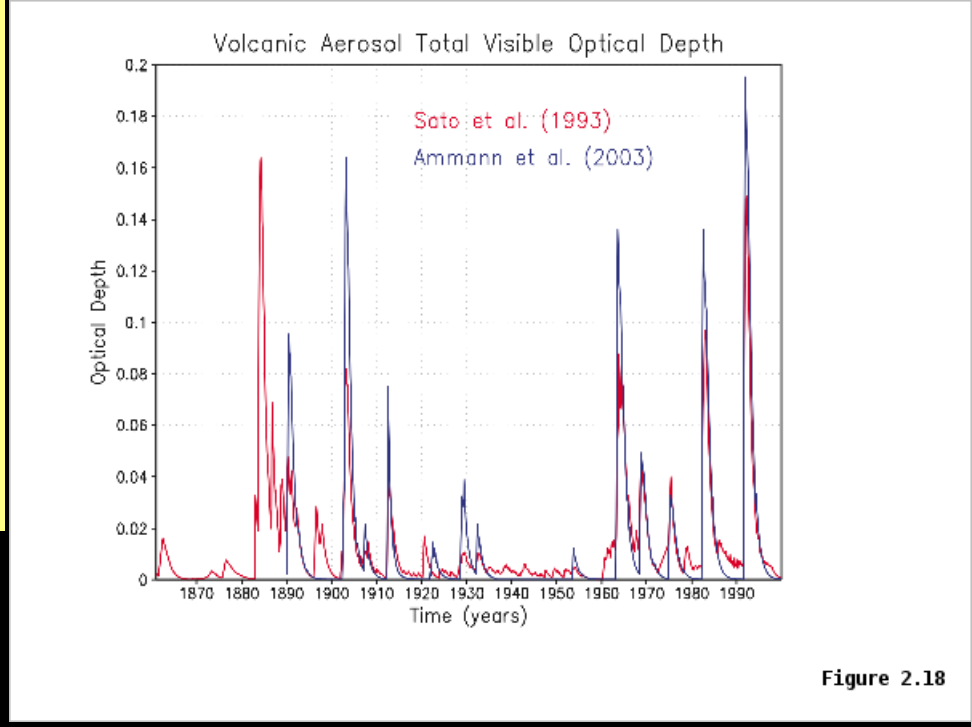
Jakie procesy zachodzące wewnątrz atmosfery i na powierzchni gruntu wpływają na strumienie energii?

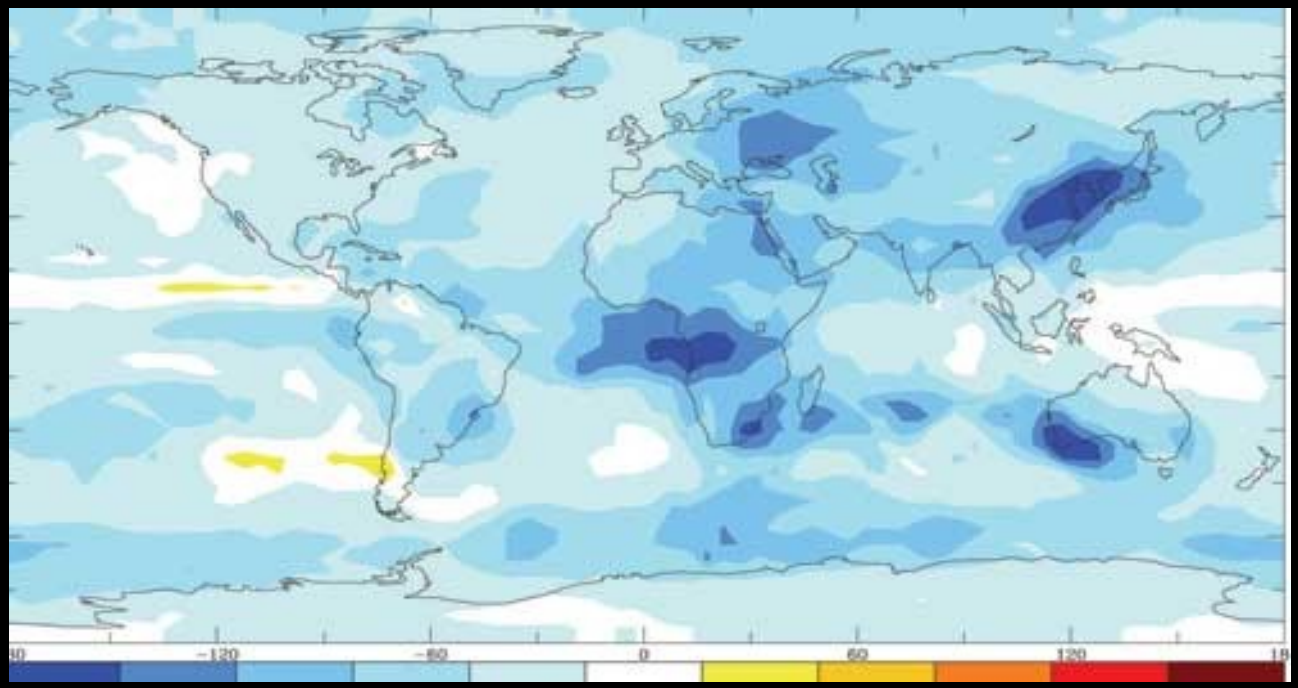


Wymuszanie radiacyjne będące skutkiem zmiany składu atmosfery oraz zmian innych czynników fizycznych od 1750r (źródło: www.ipcc.ch).



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

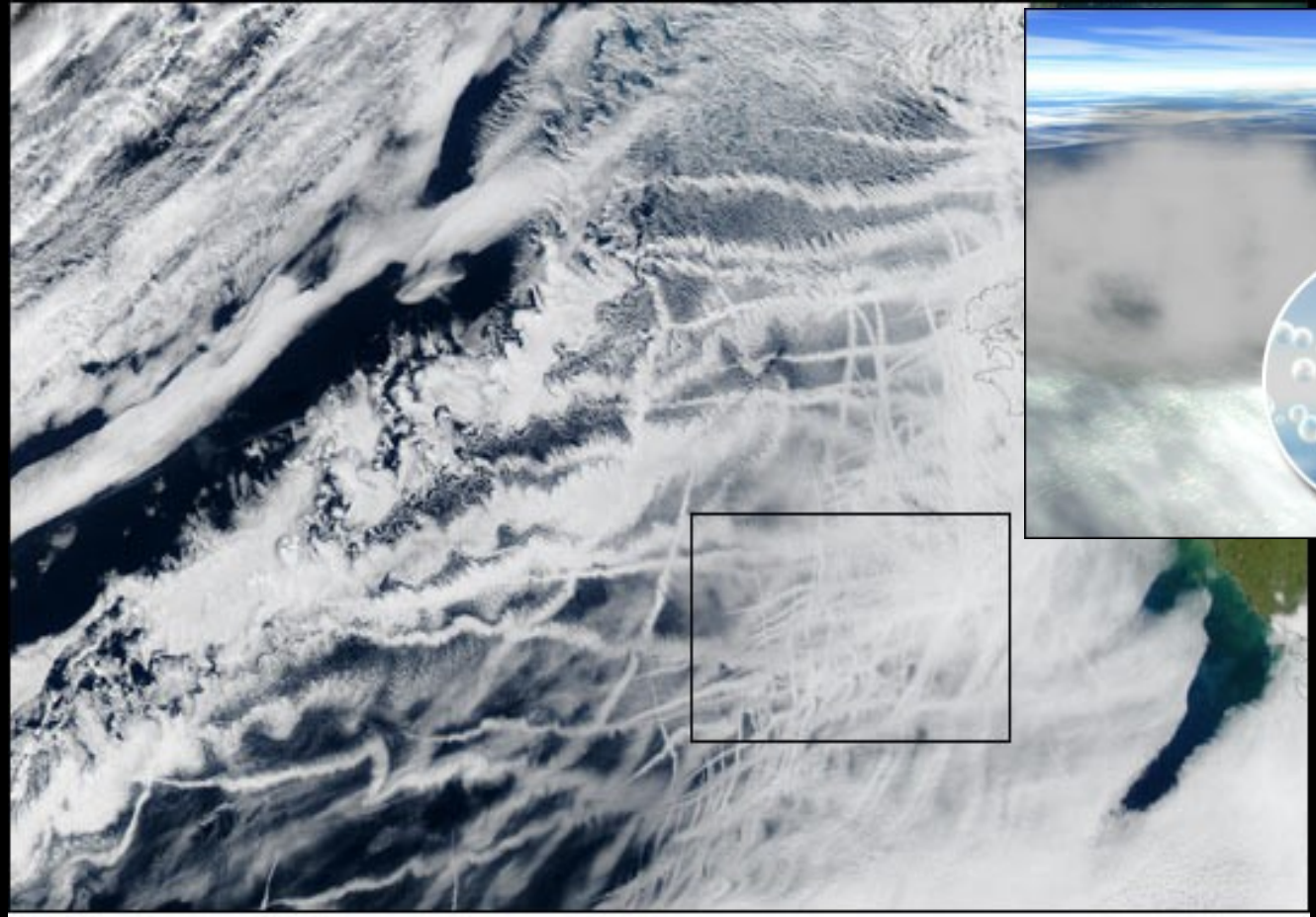


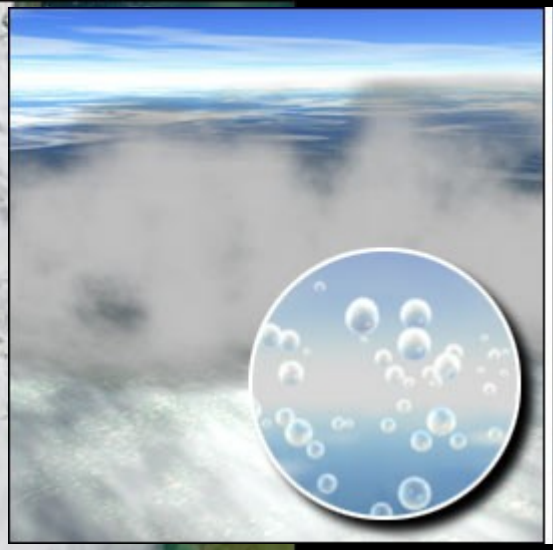


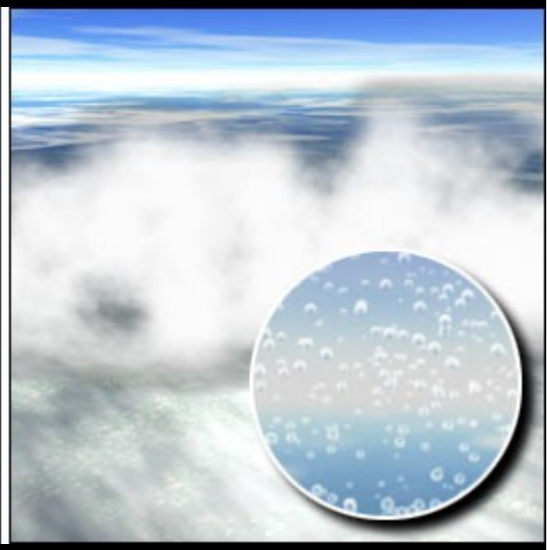
Wyniki symulacji komputerowych zmian grubości optycznej aerozolu w XX w. Anastasia Romanou, Columbia University

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

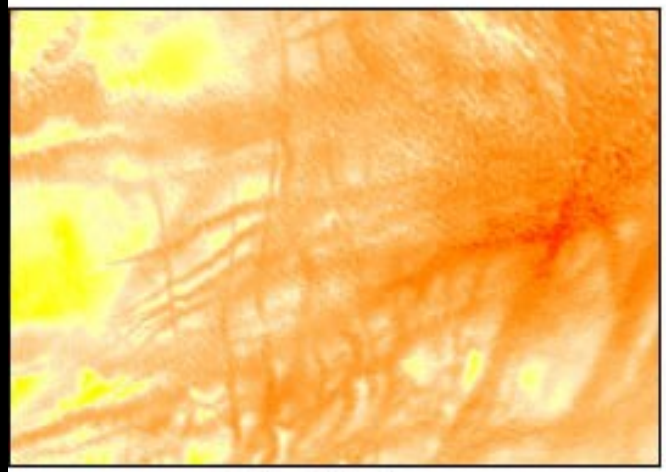
[NASA]







True Color



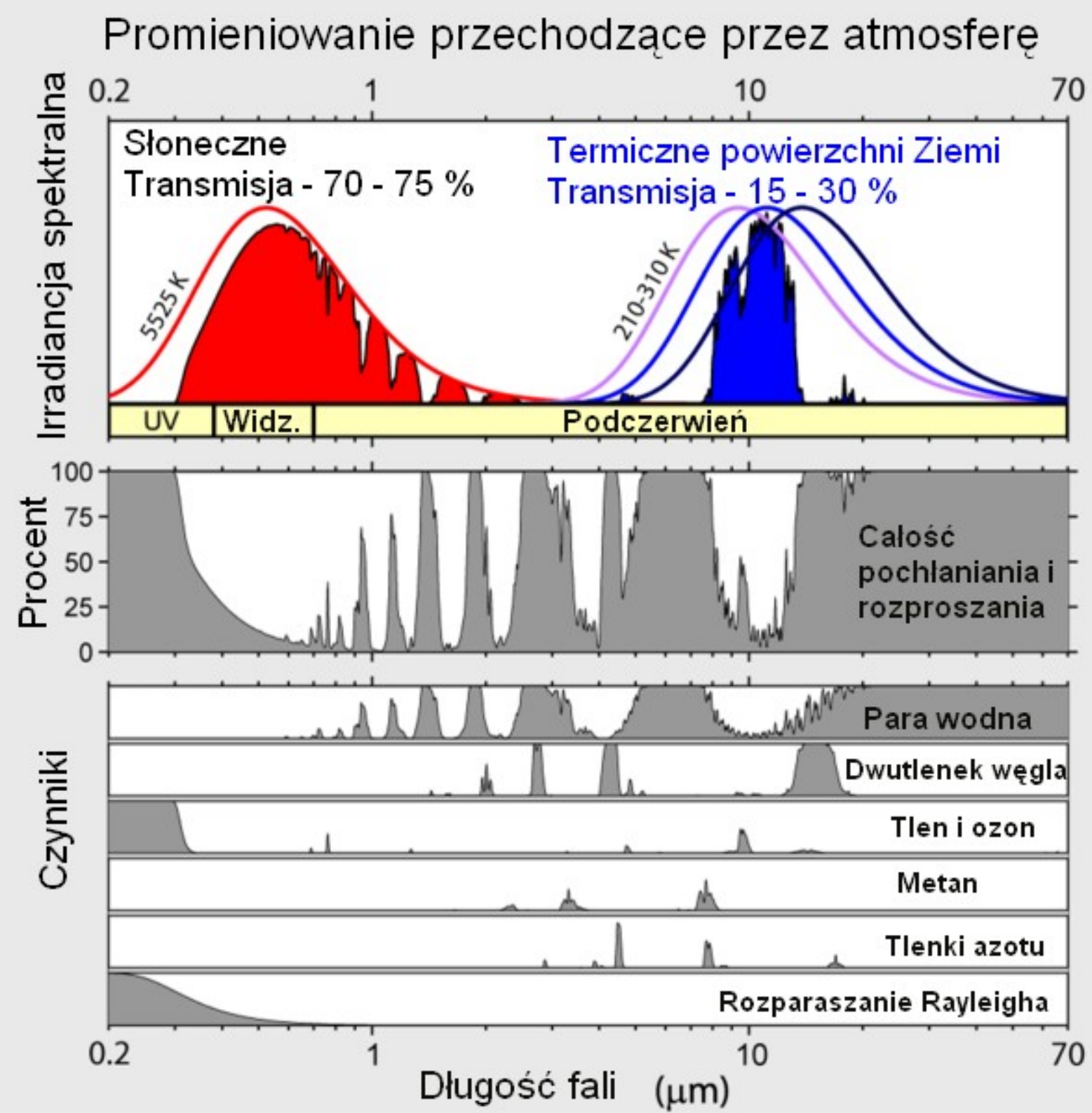
Optical Thickness

1 10 75

Effective Particle Radius (μm)

2 9 16 23 30

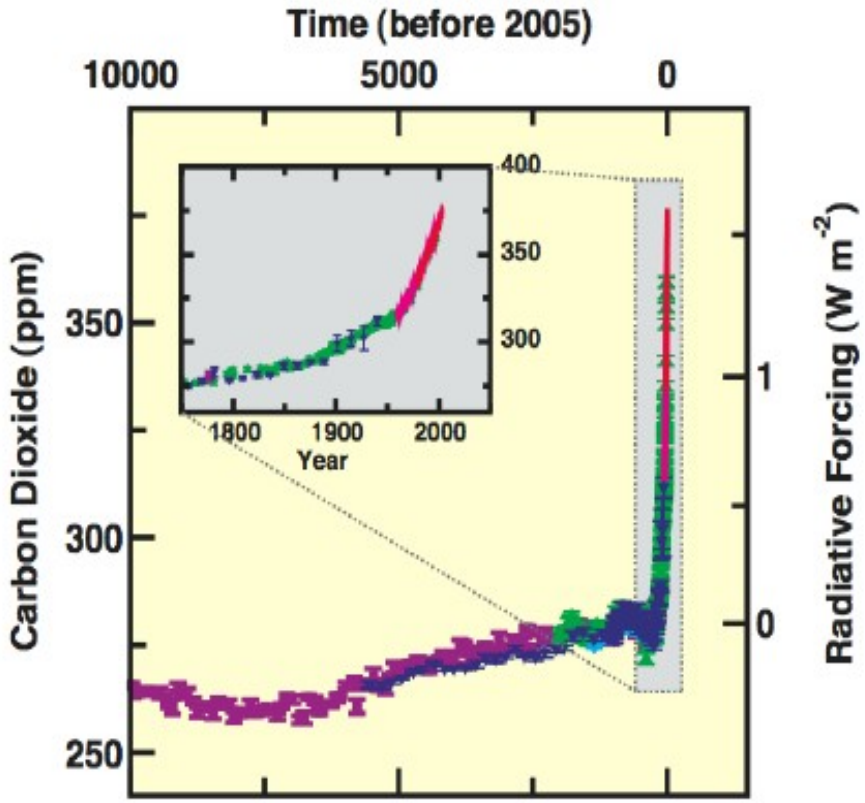
Wpływ aerozolu
na budowę chmur
(rozmiar kropelek)
i w konsekwencji
na ich własności
radiacyjne:
tzw. pośrednie efekty
aerozolowe
- pierwszy (albedo)
drugi (czas trwania).

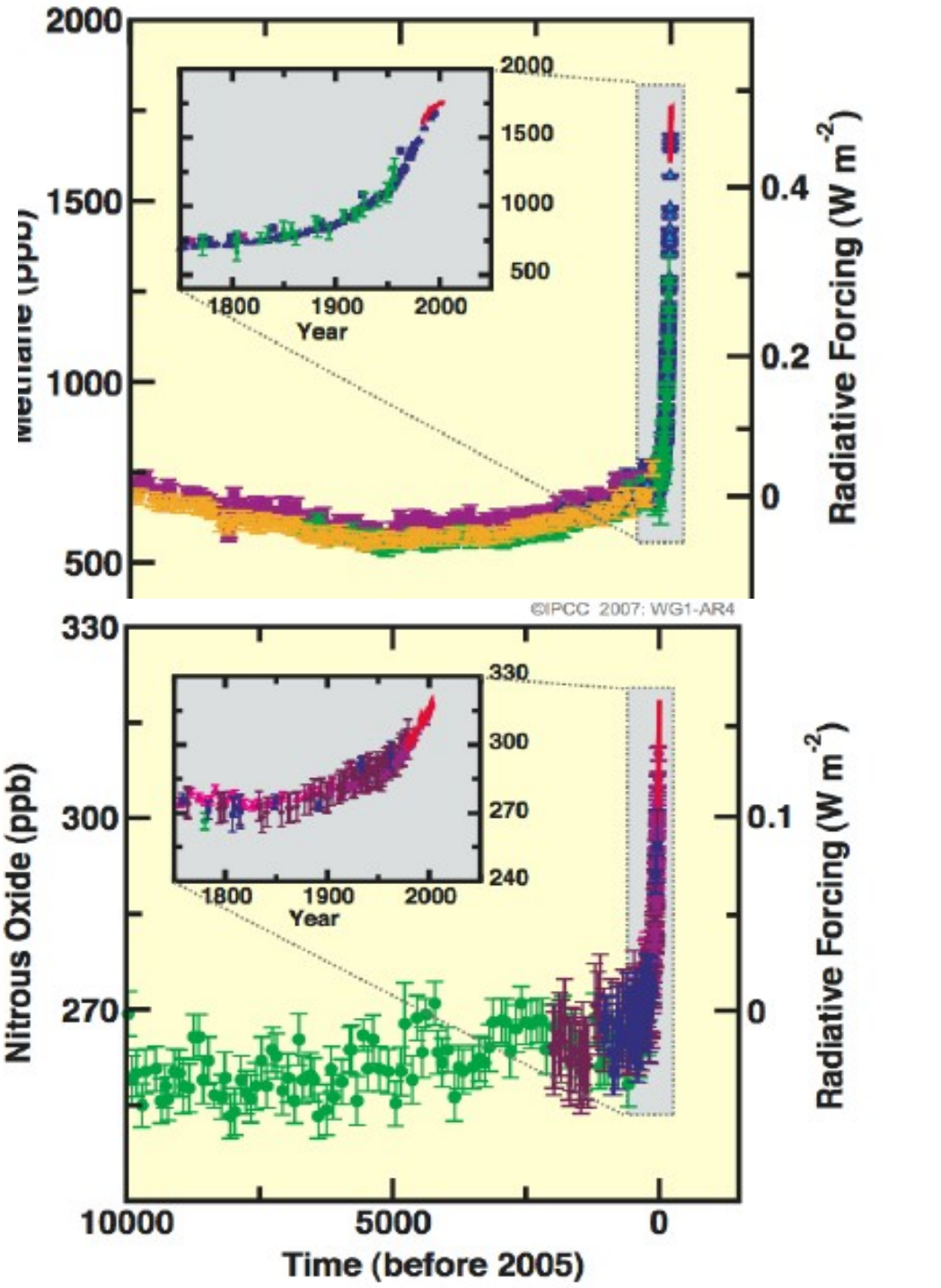


Promieniowanie słoneczne (krótkofalowe) i podczerwone (długofalowe) w atmosferze ziemskiej.

Pochłanianie i rozpraszanie promieniowania przez wybrane składniki atmosfery.

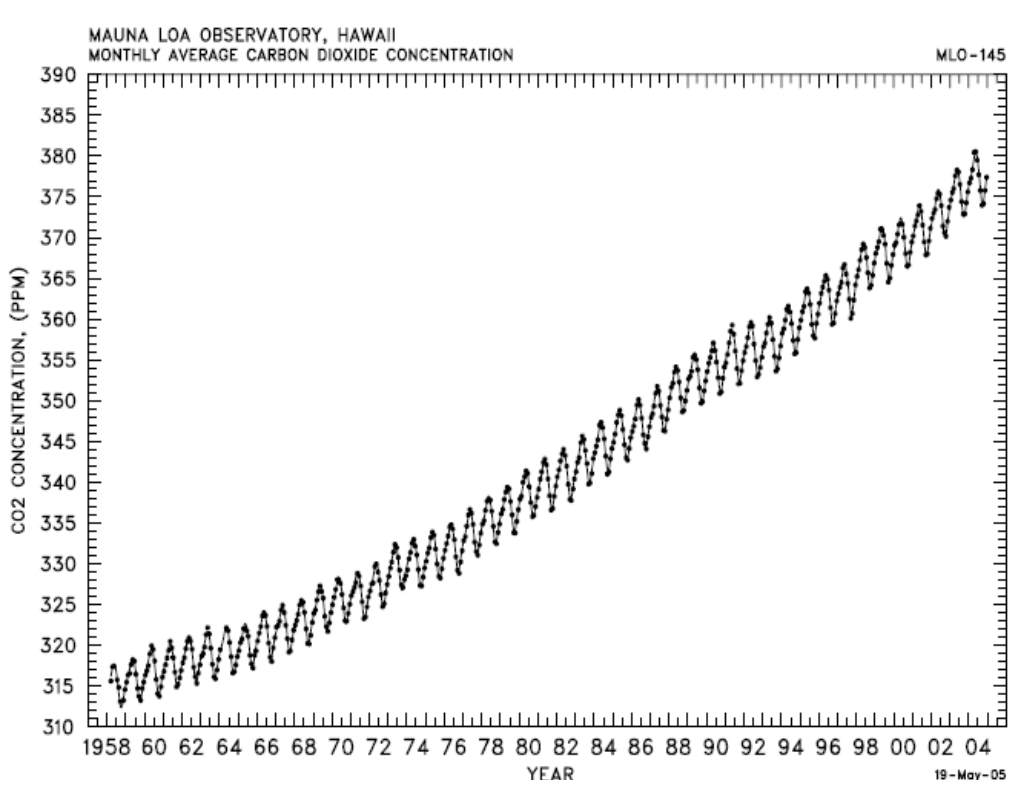
Wikipedia.

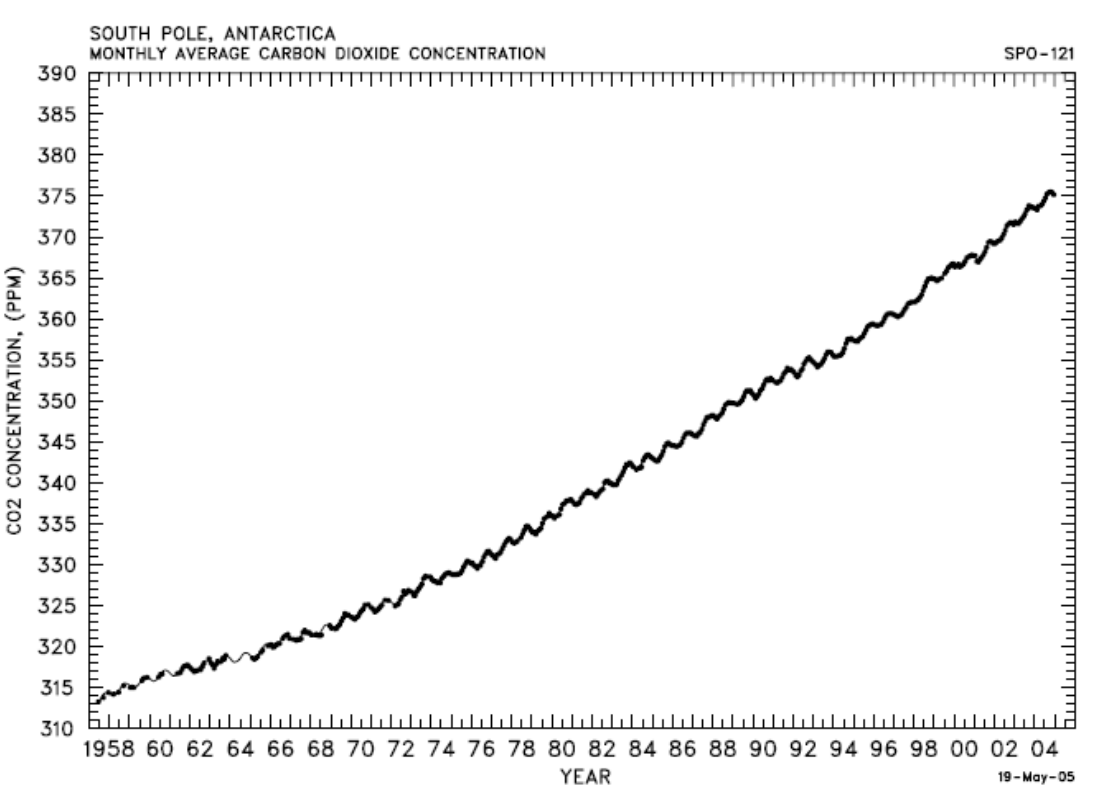


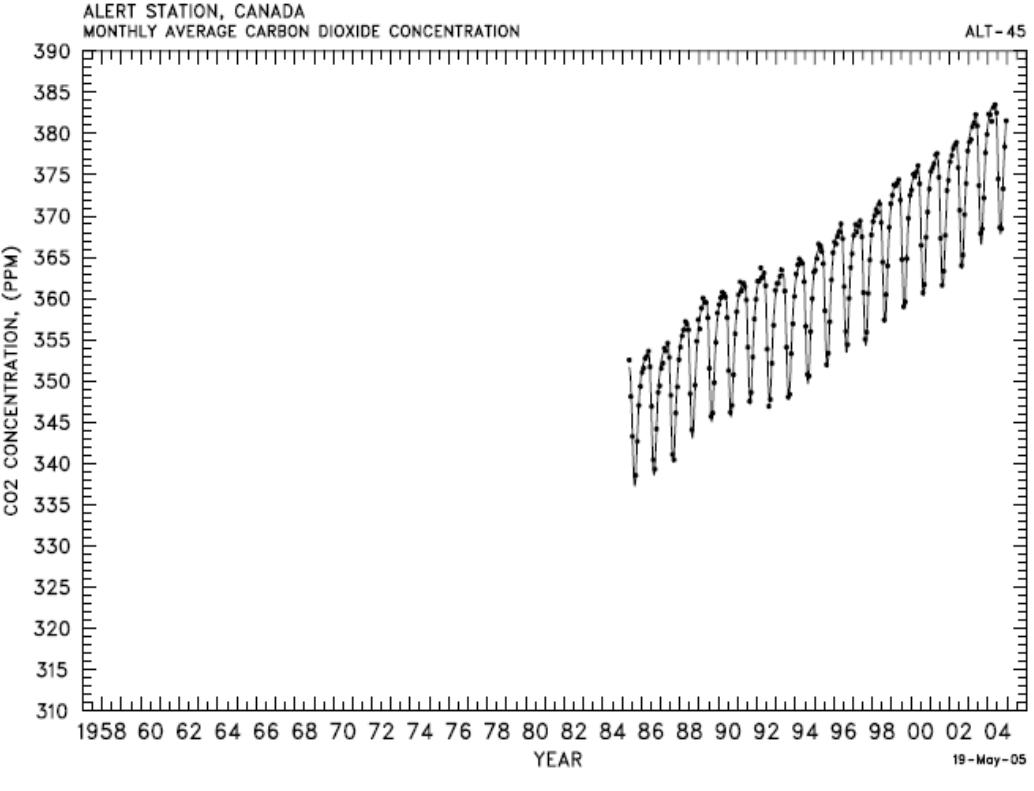


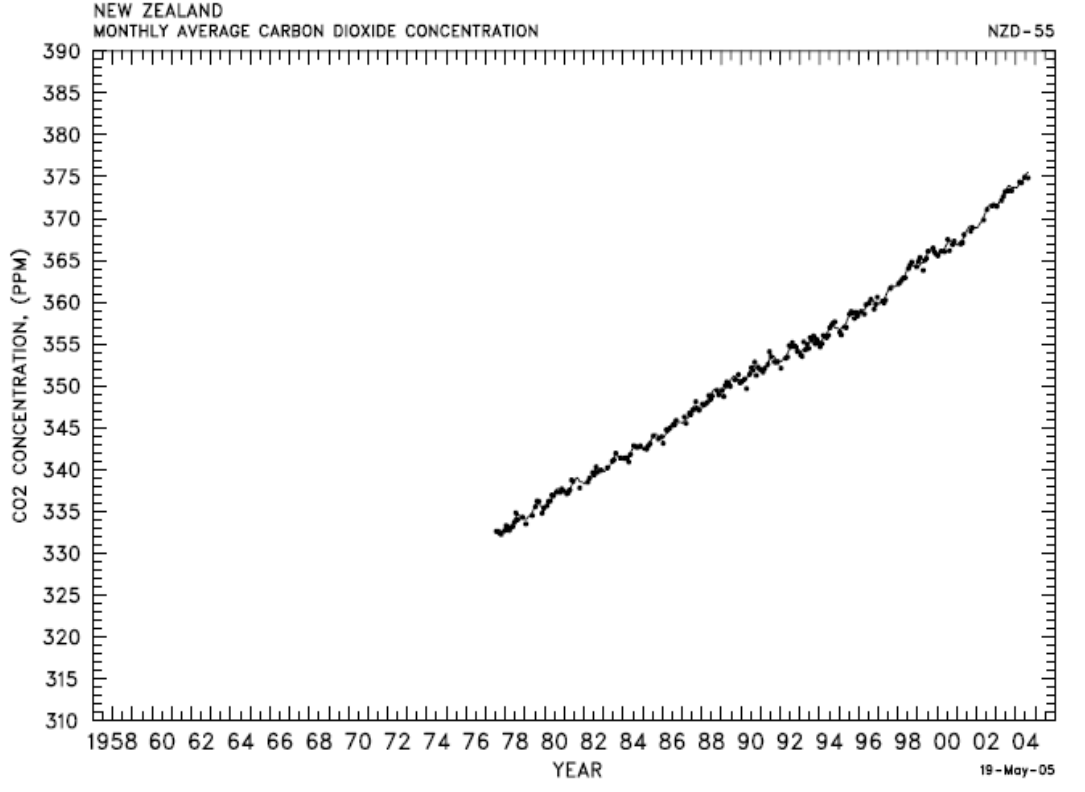
Zmiany w koncentracji głównych gazów cieplarnianych i związane z tymi zmianami wymuszanie radiacyjne.
Na czerwono zaznaczono dane dane z pomiarów bezpośrednich.

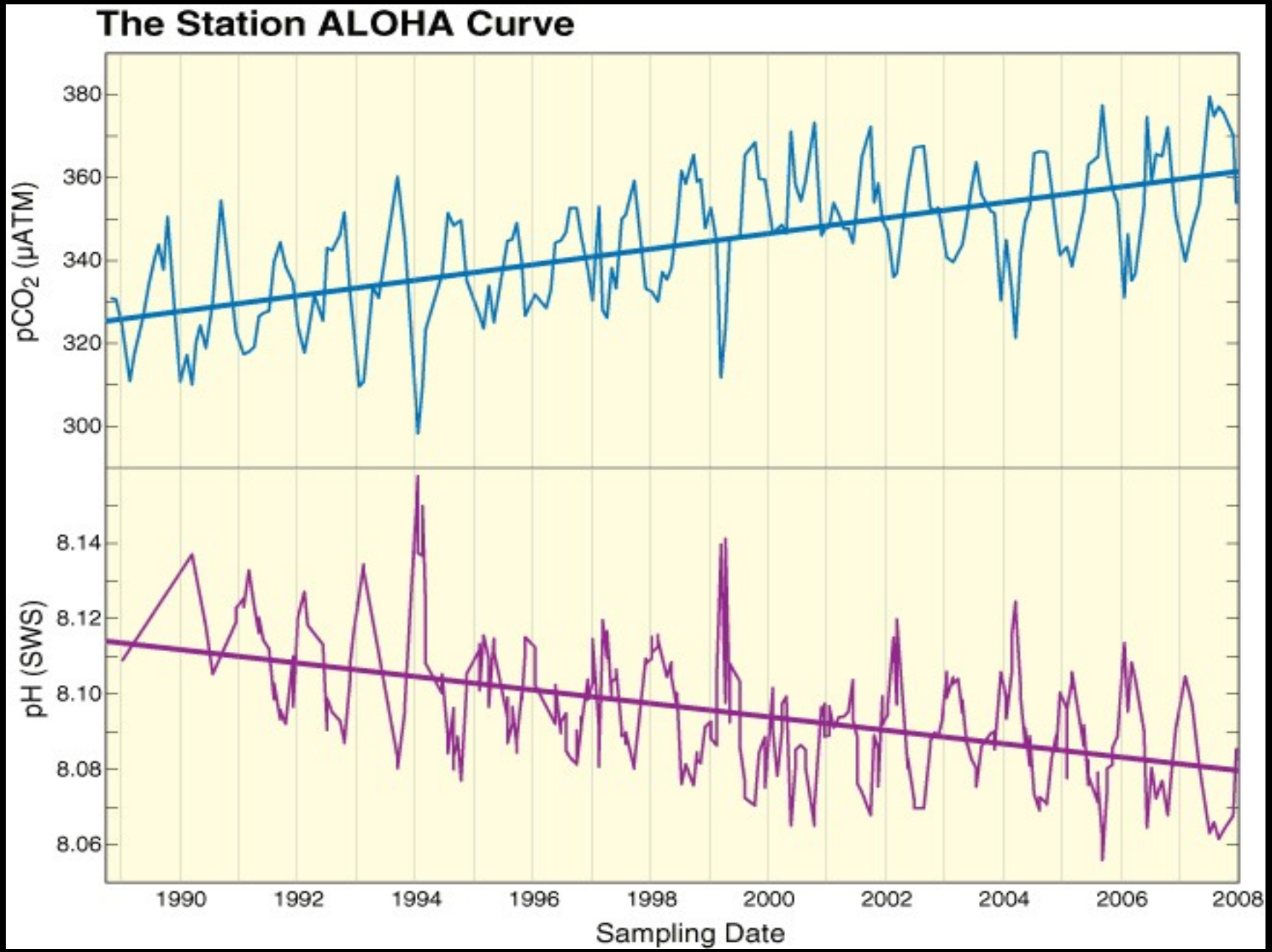
IPCC, 2007


MAUNA LOA OBSERVATORY, HAWAII
MONTHLY AVERAGE CARBON DIOXIDE CONCENTRATION
MLO-145
CO2 CONCENTRATION, (PPM)
390
385
380
375
370
365
360
355
350
345
340
335
330
325
320
315
310
1958 60 62 64 66 68 70 72 74 76 78 80 82 84 86 88 90 92 94 96 98 00 02 04
YEAR
19-May-05


SOUTH POLE, ANTARCTICA
MONTHLY AVERAGE CARBON DIOXIDE CONCENTRATION
SPO-121
CO2 CONCENTRATION, (PPM)
390
385
380
375
370
365
360
355
350
345
340
335
330
325
320
315
310
1958 60 62 64 66 68 70 72 74 76 78 80 82 84 86 88 90 92 94 96 98 00 02 04
YEAR
19-May-05


ALERT STATION, CANADA
MONTHLY AVERAGE CARBON DIOXIDE CONCENTRATION
ALT-45
CO2 CONCENTRATION, (PPM)
390
385
380
375
370
365
360
355
350
345
340
335
330
325
320
315
310
1958 60 62 64 66 68 70 72 74 76 78 80 82 84 86 88 90 92 94 96 98 00 02 04
YEAR
19-May-05


NEW ZEALAND
MONTHLY AVERAGE CARBON DIOXIDE CONCENTRATION
NZD-55
CO2 CONCENTRATION, (PPM)
390
385
380
375
370
365
360
355
350
345
340
335
330
325
320
315
310
1958 60 62 64 66 68 70 72 74 76 78 80 82 84 86 88 90 92 94 96 98 00 02 04
YEAR
19-May-05



Zakwaszenie oceanu: http://cmore.soest.hawaii.edu/oceanacidification/

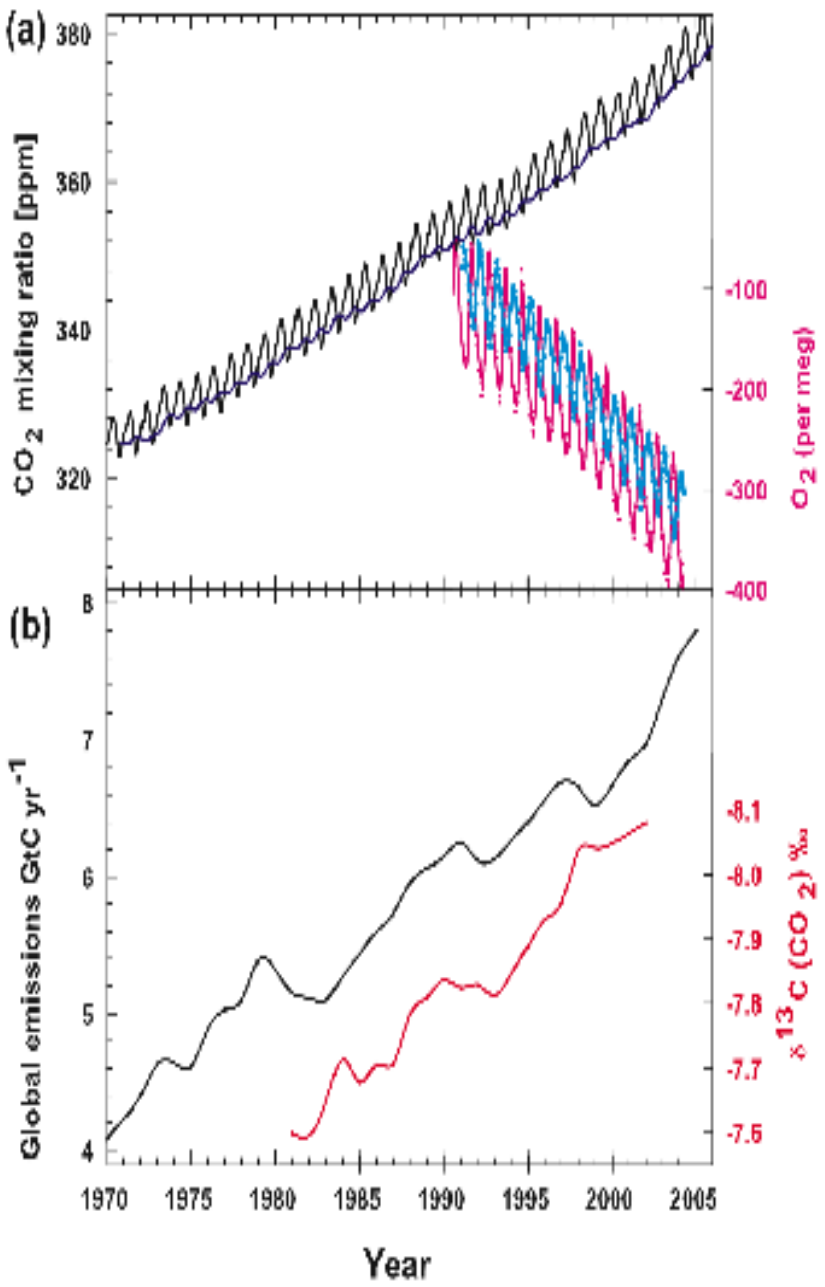


Figure 2.3

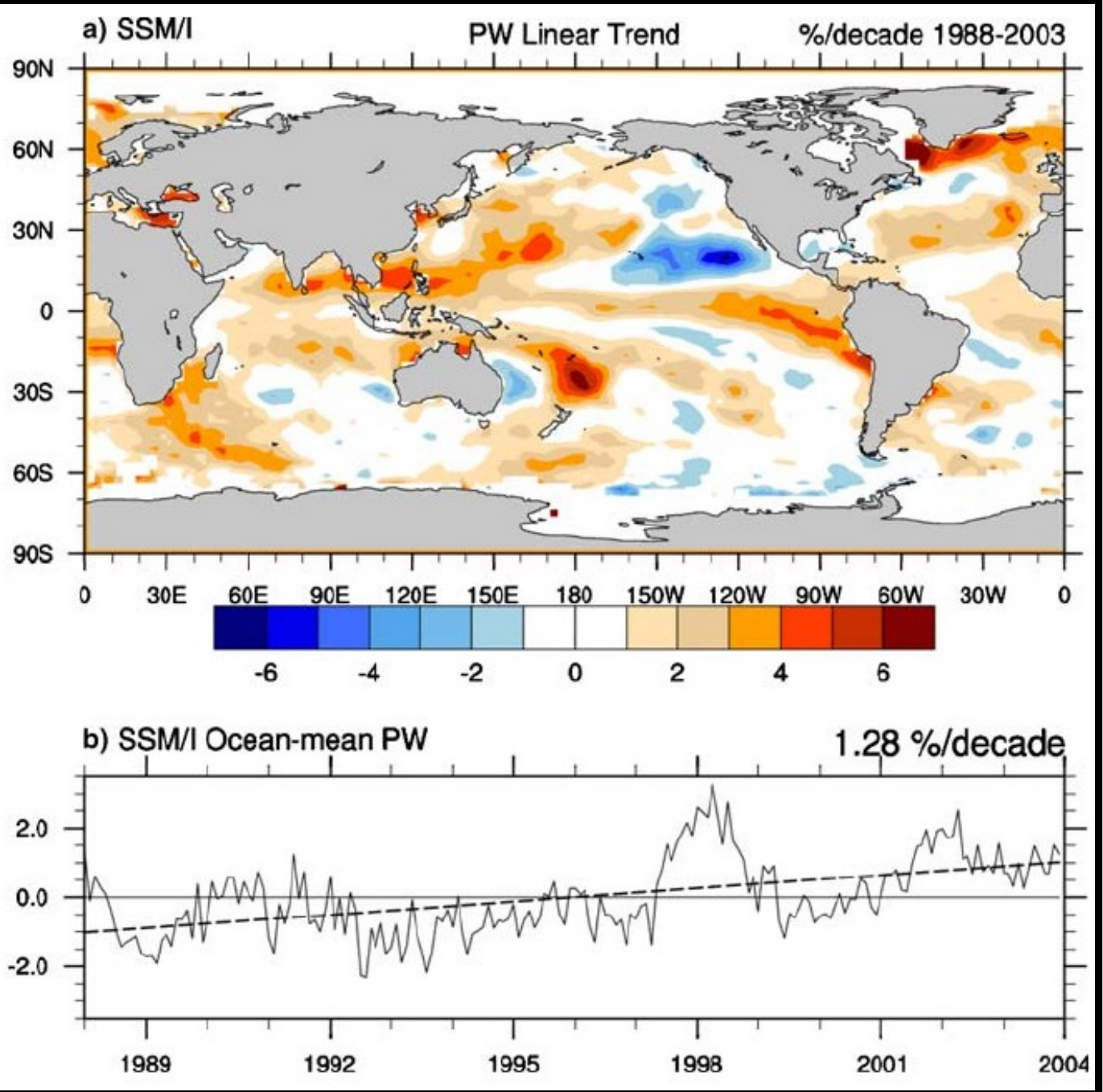
Stosunek koncentracji izotopów węgla $^{13}C/^{12}C$ oraz koncentracji tlenu pozwala określić, czy przyrost zawartości CO_2 w atmosferze jest spowodowany spalaniem paliw kopalnych i jaką rolę odgrywa rozpuszczanie CO_2 w oceanie.

IPCC 2007

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.



K.E. Trenberth, J. Fasullo, L. Smith, 2005: Trends and variability in column-integrated atmospheric water vapor. Climate Dynamics 24: 741–758, DOI 10.1007/s00382-005-0017-4

Podsumowanie.

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.

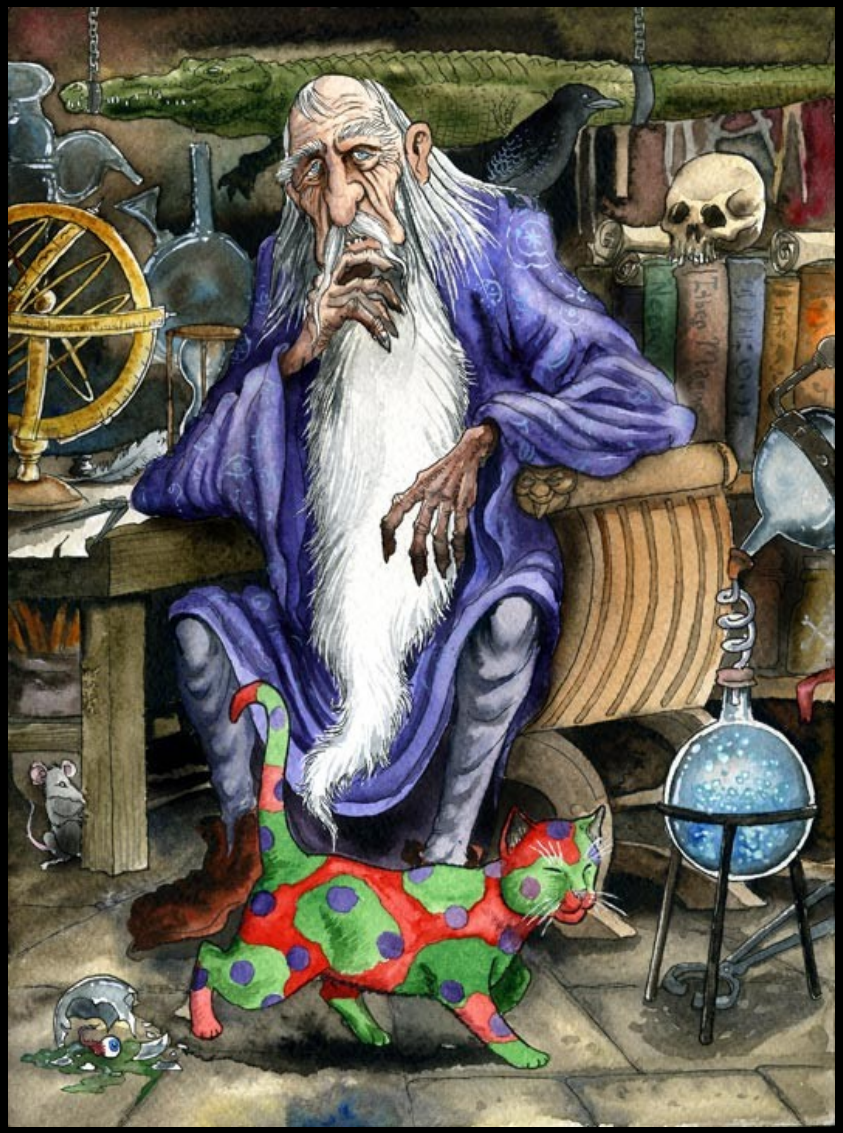
Między poszczególnymi elementami systemu klimatycznego występują związki i sprzężenia zwrotne....

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 teoria 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

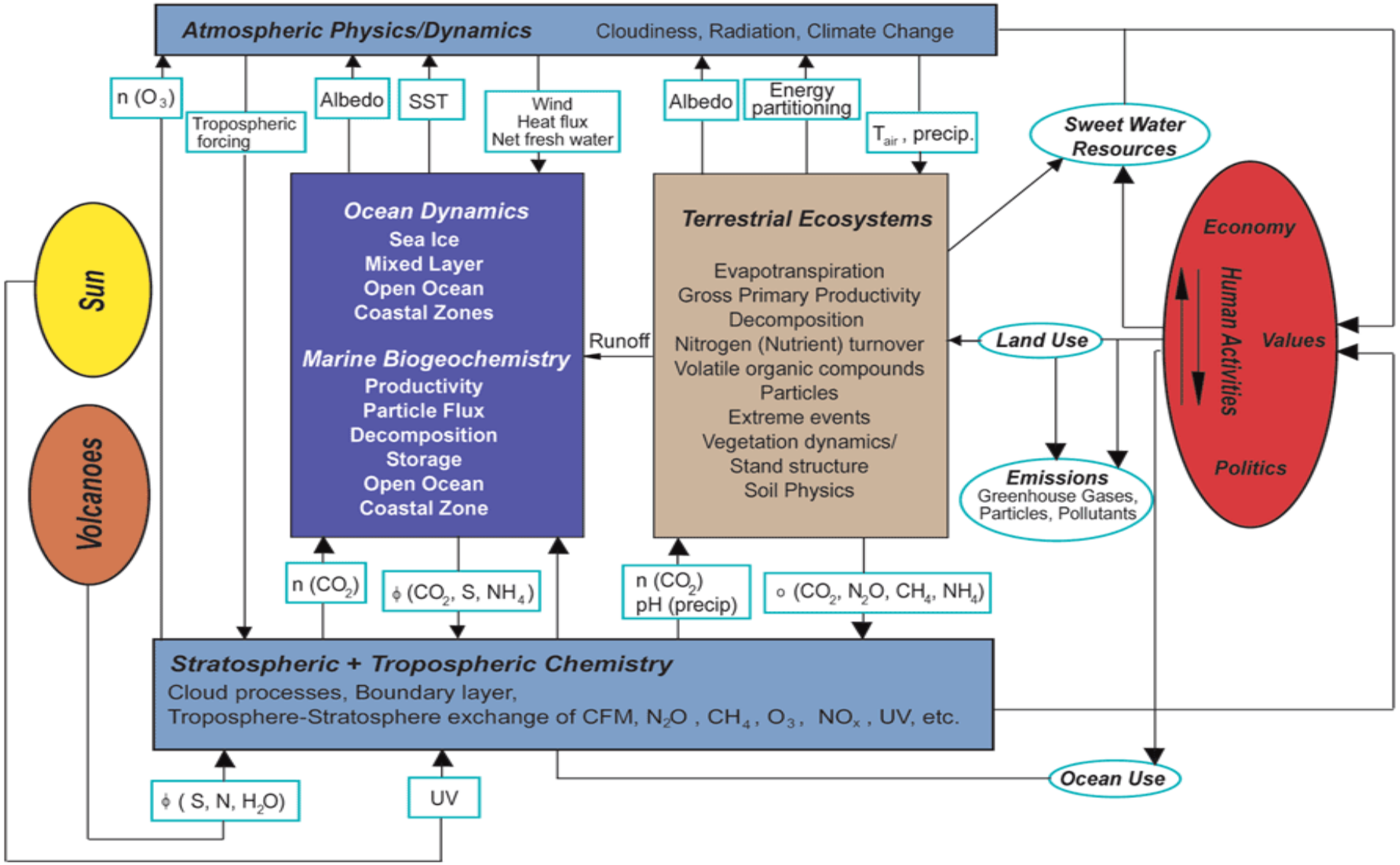
---

układ równań modelu

* „zaklęcie” w kod numeryczny
* uwzględnienie danych pomiarowych
* wielki superkomputer

---

wirtualna rzeczywistość, w której możemy symulować mechanizmy klimatyczne



Procesy i oddziaływania uwzględniane w modelu klimatu

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 (rozróżnienie między brakiem przewidywalności ze względu na nieznajomość stanu początkowego układu i ze względu na niepełną znajomość fizyki – równań – układu)

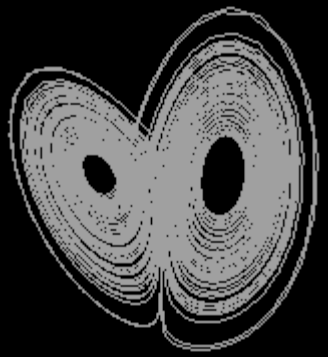
„Climatic change as a mathematical problem”, 1970 (nieprzewidywalność pogody -chaos- nie znaczy że klimat jest nieprzewidywalny)

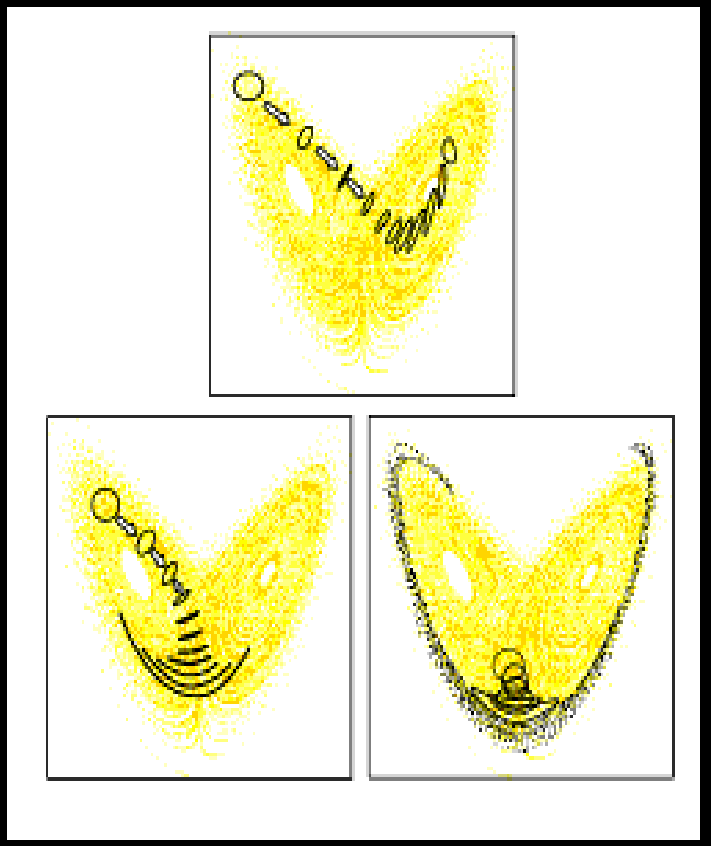
„Predictability – a problem partly solved”, 2006.

Przewidywalność – problem niedokładnej znajomości warunku początkowego.

Przykład – prognoza pogody.

Wyobraźmy sobie, że śledzimy ewolucję w czasie n takich punktów, które początkowo, w chwili t_0 znajdowały się blisko siebie.





Okazuje się, ze po pewnym, często krótkim okresie czasu, punkty potrafią się oddalić na znaczne odległości. Dodatkowo, punkty które początkowo leżały najbliżej siebie mogą się oddalić od siebie na większe odległości, niż inne punkty, które na początku nie leżały tak blisko.

Równania ruchu atmosfery, mimo że są znacznie bardziej skomplikowane niż równania Lorenza, posiadają tę sama własność.

Możemy powiedzieć że, po skończonym okresie czasu dwa stany atmosfery które początkowo były niemal identyczne mogą bardzo różnić sie od siebie.

Jeszcze innymi słowy, wprowadzając niewielkie zaburzenie stanu początkowego atmosfery możemy bardzo zmienić stan przyszły.

Obrazowe stwierdzenie Lorezna że ruch skrzydeł motyla w amazońskiej dżungli może spowodować huragan na Atlantyku dobrze ilustruje to spostrzeżenie.

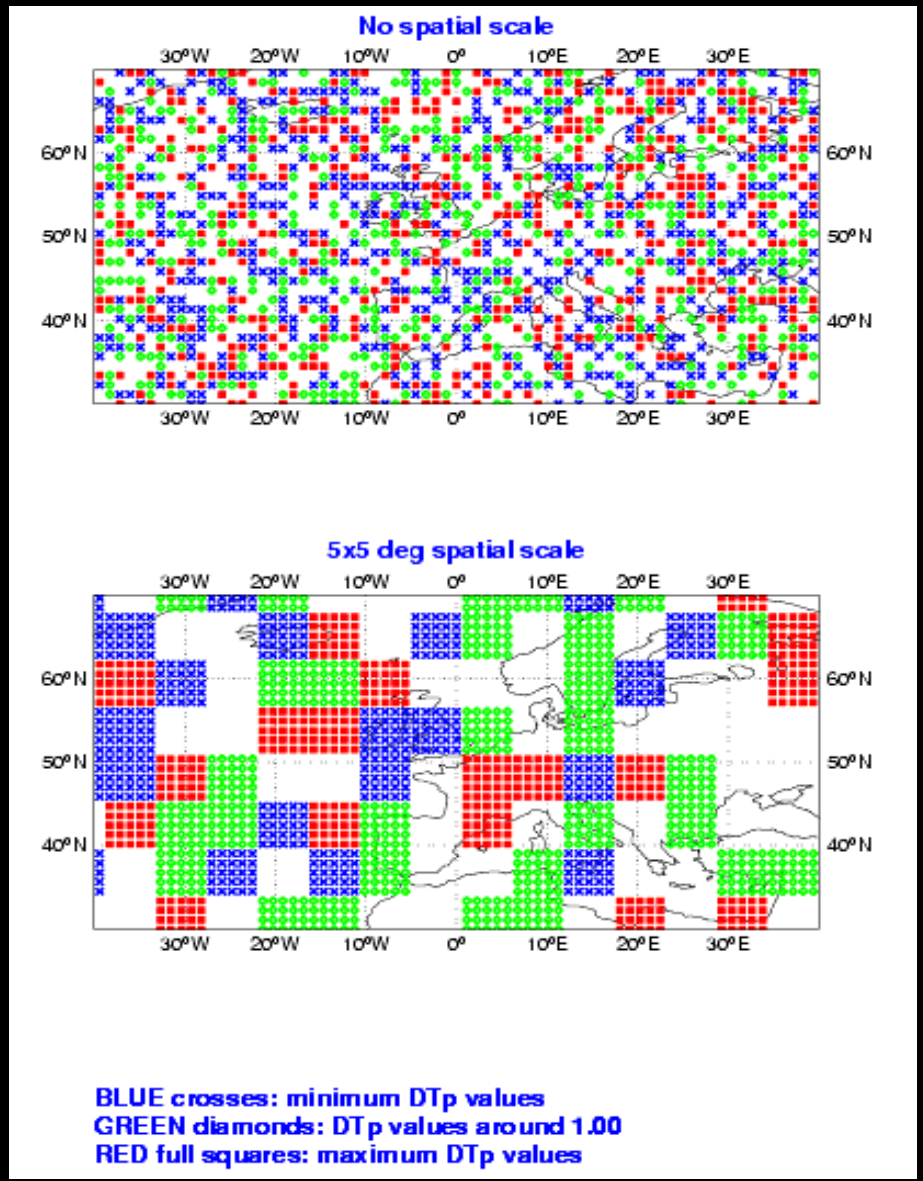
Jeśli do powyższej własności równań ruchu atmosfery dodamy prawdziwe stwierdzenie, że nigdy nie jesteśmy w dokładnie określić aktualnego stanu atmosfery, to znaczy że nie znamy dokładnego położenia punktu początkowego trajektorii, zrozumiemy dlaczego nie jesteśmy w stanie postawić idealnej prognozy.

Możemy zadać pytanie: jak zbadać, kiedy trajektorie w przestrzeni fazowej powędrują w różne strony?

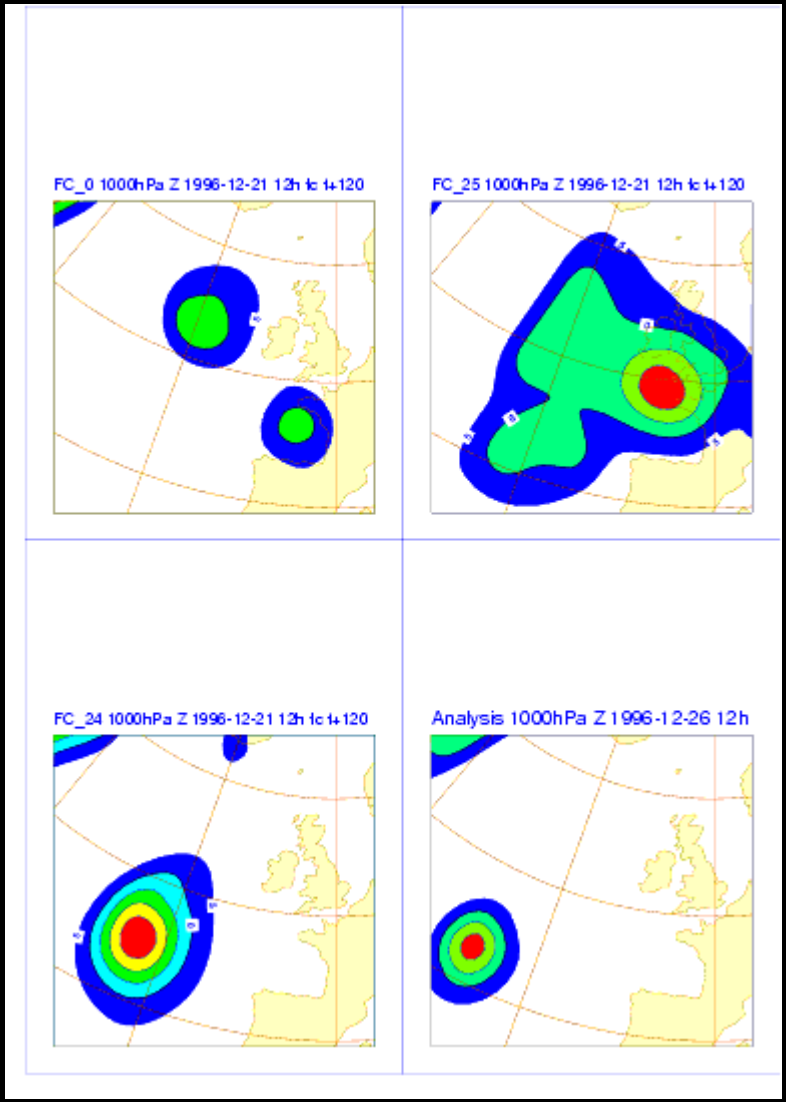
Jak zinterpretować ten fakt?

W jaki sposób określić czy prognoza którą stawiamy jest wiarygodna (trajektoria obliczona nie będzie bardzo odległa od trajektorii która zrealizuje się w rzeczywistości?

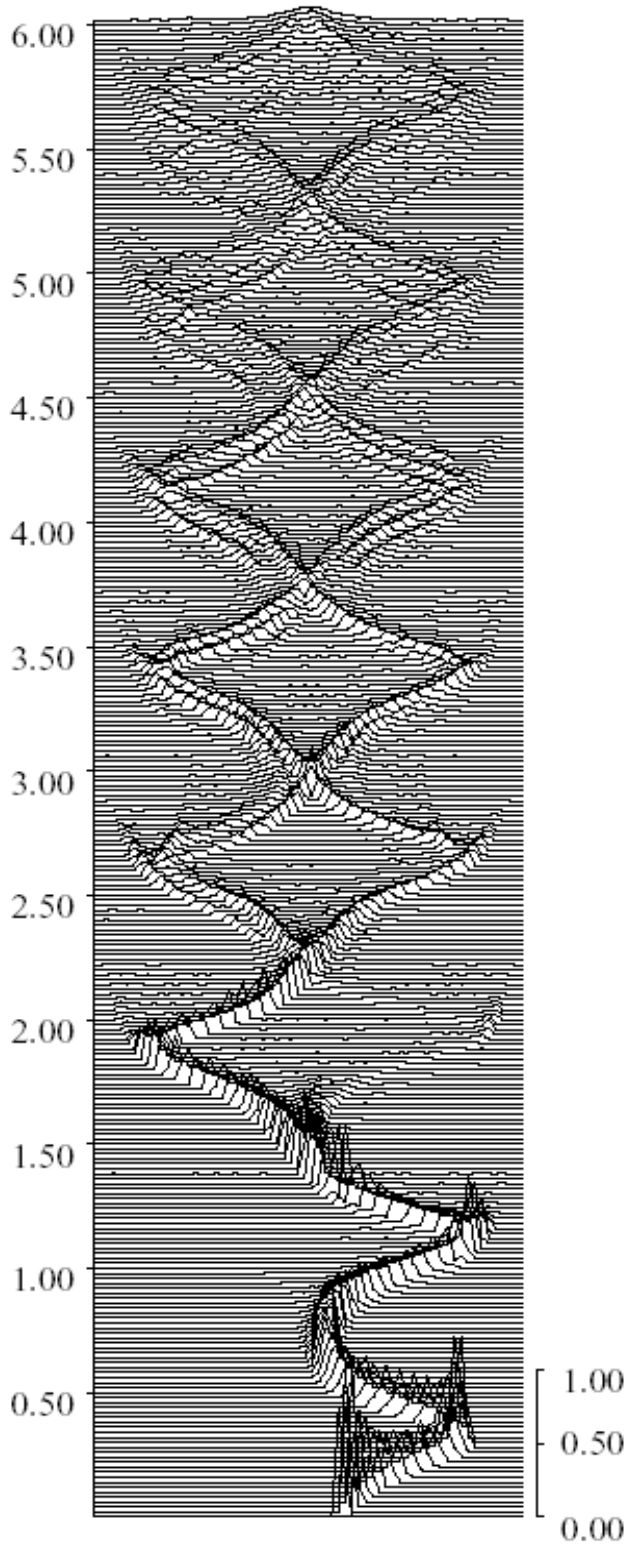
Spróbujemy to określić wybierając losowo kilka punktów startowych w przestrzeni fazowej mniej odległych od punktu odniesienia niż wynosi wartość błędu pomiaru o obliczmy trajektorie dla tych punktów.

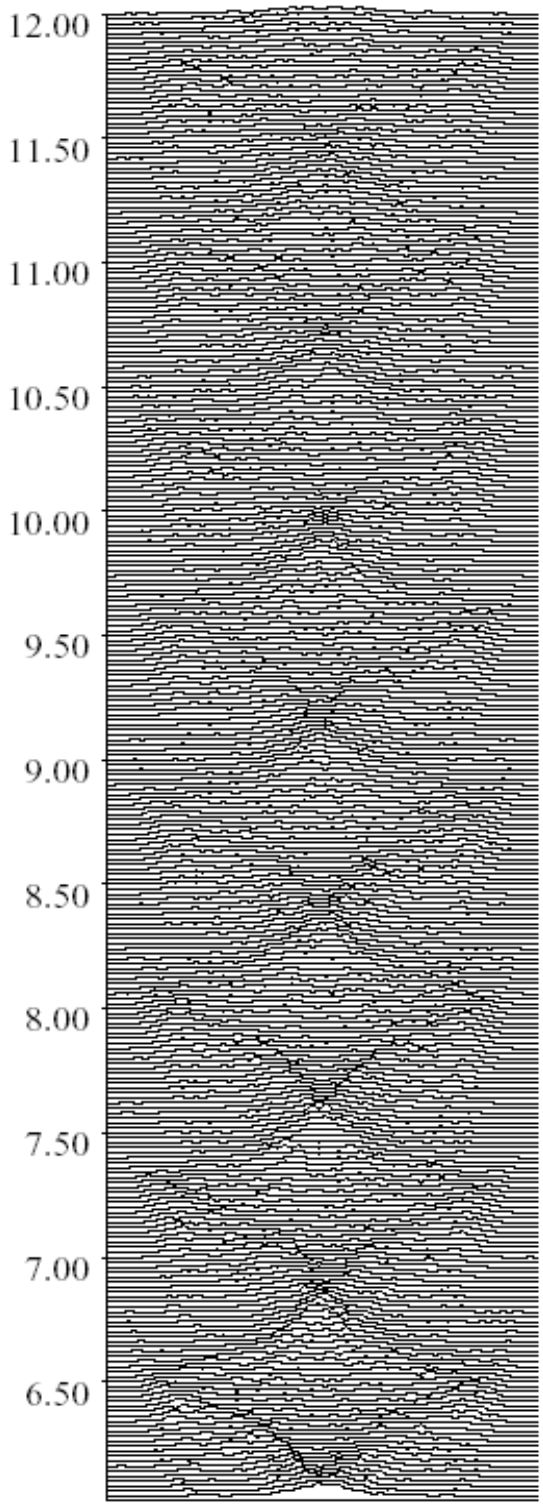


Takie początkowe dane meteorologiczne możemy generować wprowadzając niewielkie losowe zaburzenia do pól parametrów meteorologicznych uzyskanych z pomiarów.
Zaburzenia reprezentują niepewność (błędy) danych pomiarowych.

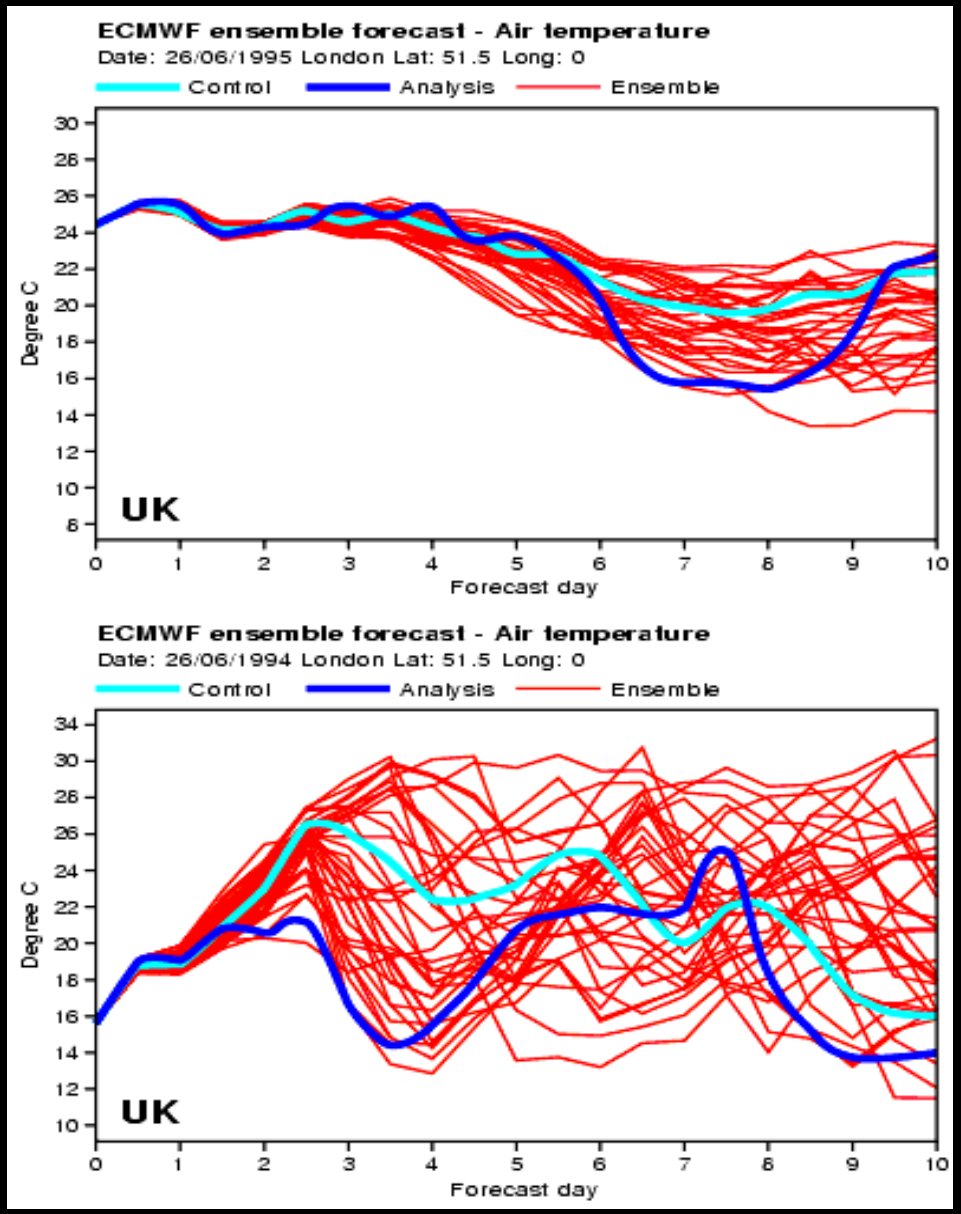


Prognoza pogody dla kilku punktów startowych.
W lewym dolnym rogu: stan początkowy pola ciśnienia.
Trzy dalsze panele:
prognozy pola ciśnienia po 120 godzinach
dla trzech stanów początkowych nieznacznie (w granicach błędu) różniących się od pola wyjściowego.



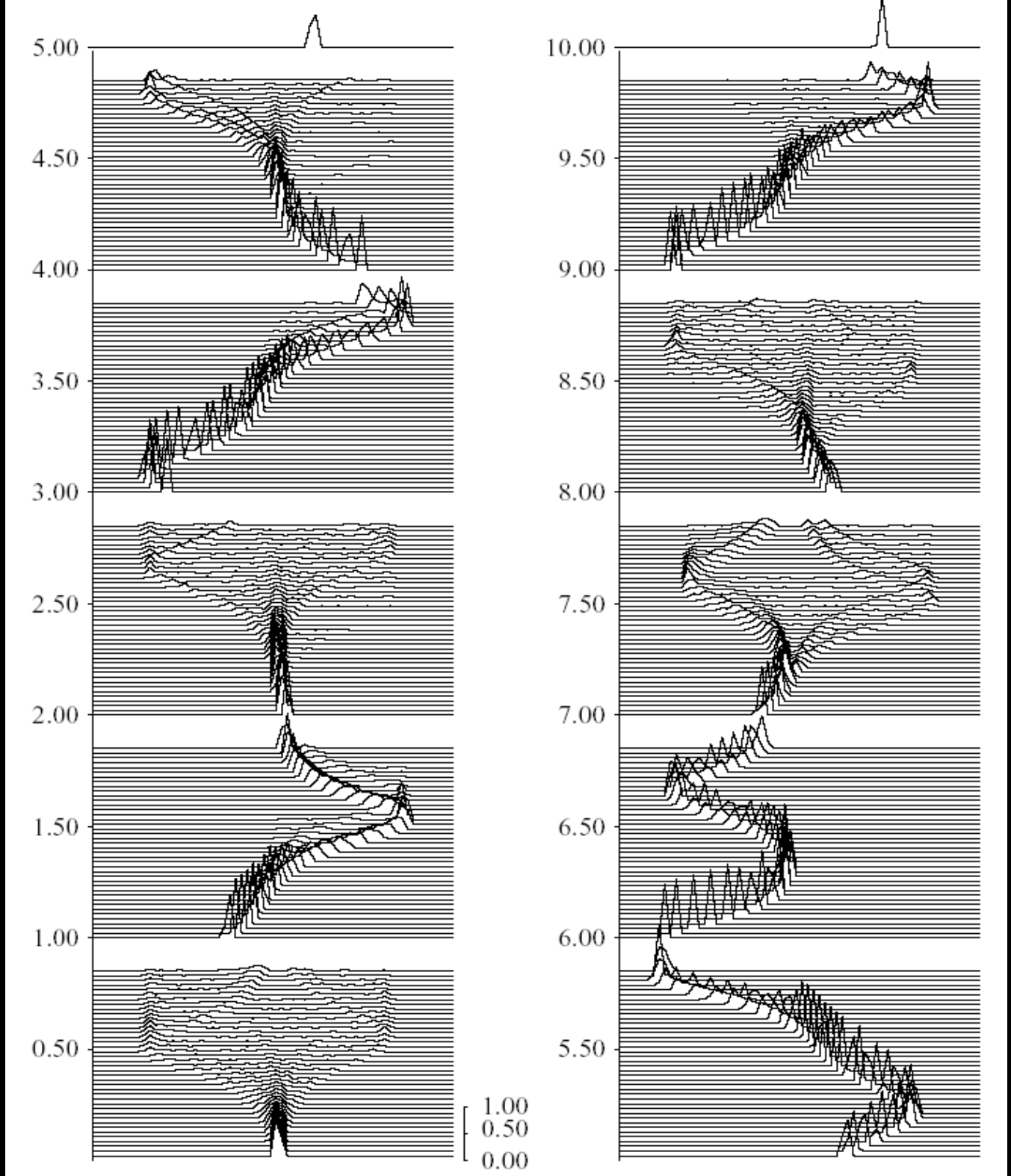


Rozkład w przestrzeni fazowej startowych punktów trajektorii możemy potraktować jako rozkład prawdopodobieństwa. Podobnie możemy postąpić na każdym kolejnym kroku czasowym.
W rezultacie otrzymamy ewolucję w czasie naszego rozkładu punktów.
Obok – ewolucja w czasie jednej współrzędnej zadanego rozkładu.



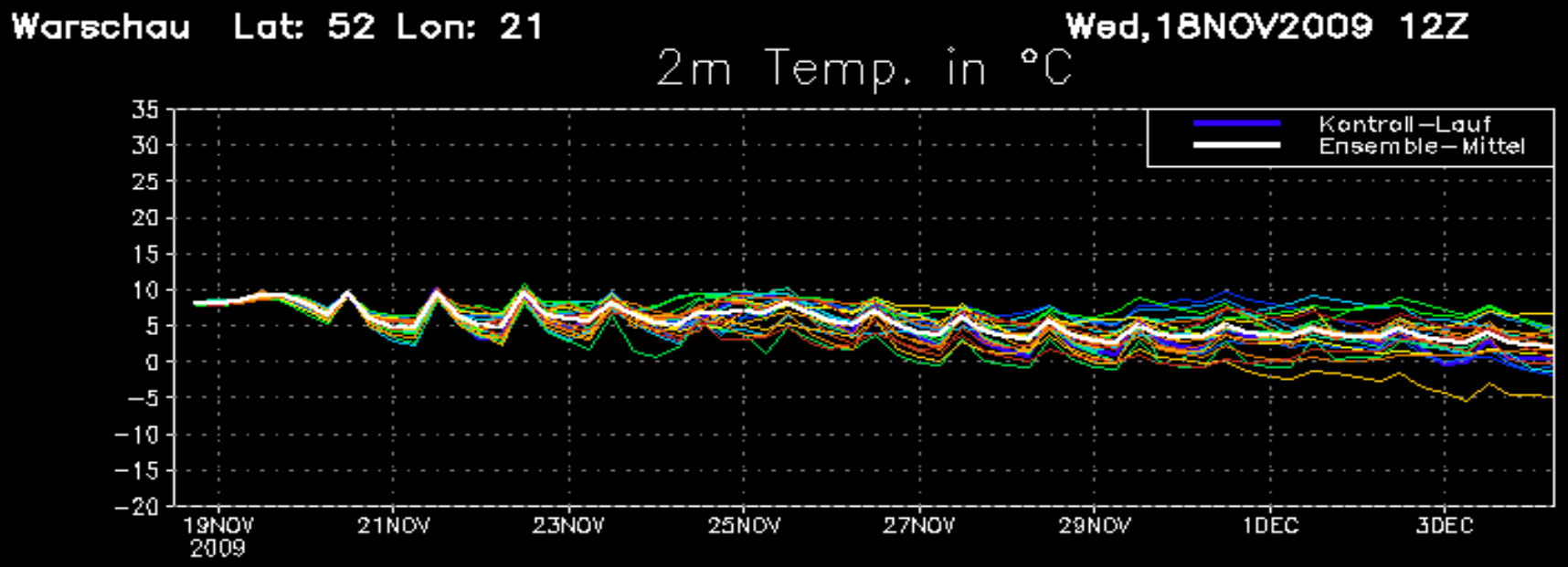
Podobną analizę ewolucji w czasie empirycznego rozkładu prawdopodobieństwa możemy przeprowadzić dla dowolnej zmiennej modelu meteorologicznego w wybranym punkcie siatki obliczeniowej.

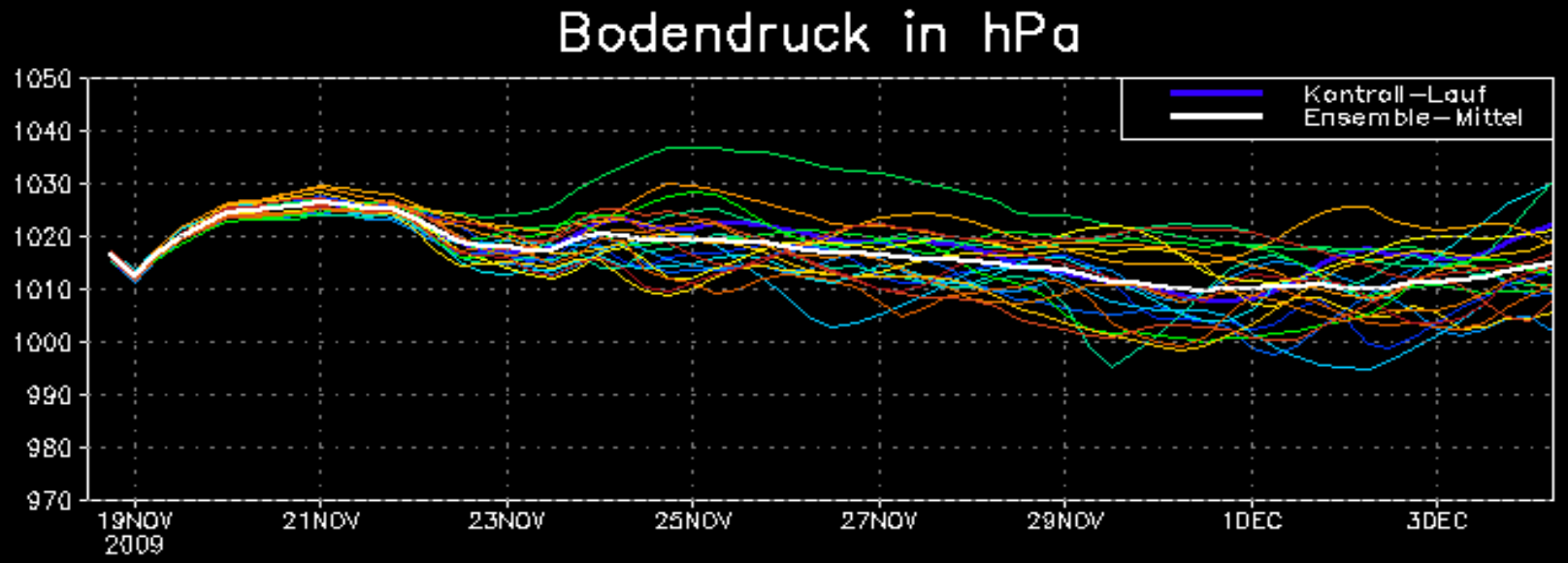
Patrząc na rysunki łatwo zauważyć dlaczego mówimy o wiązce prognoz.



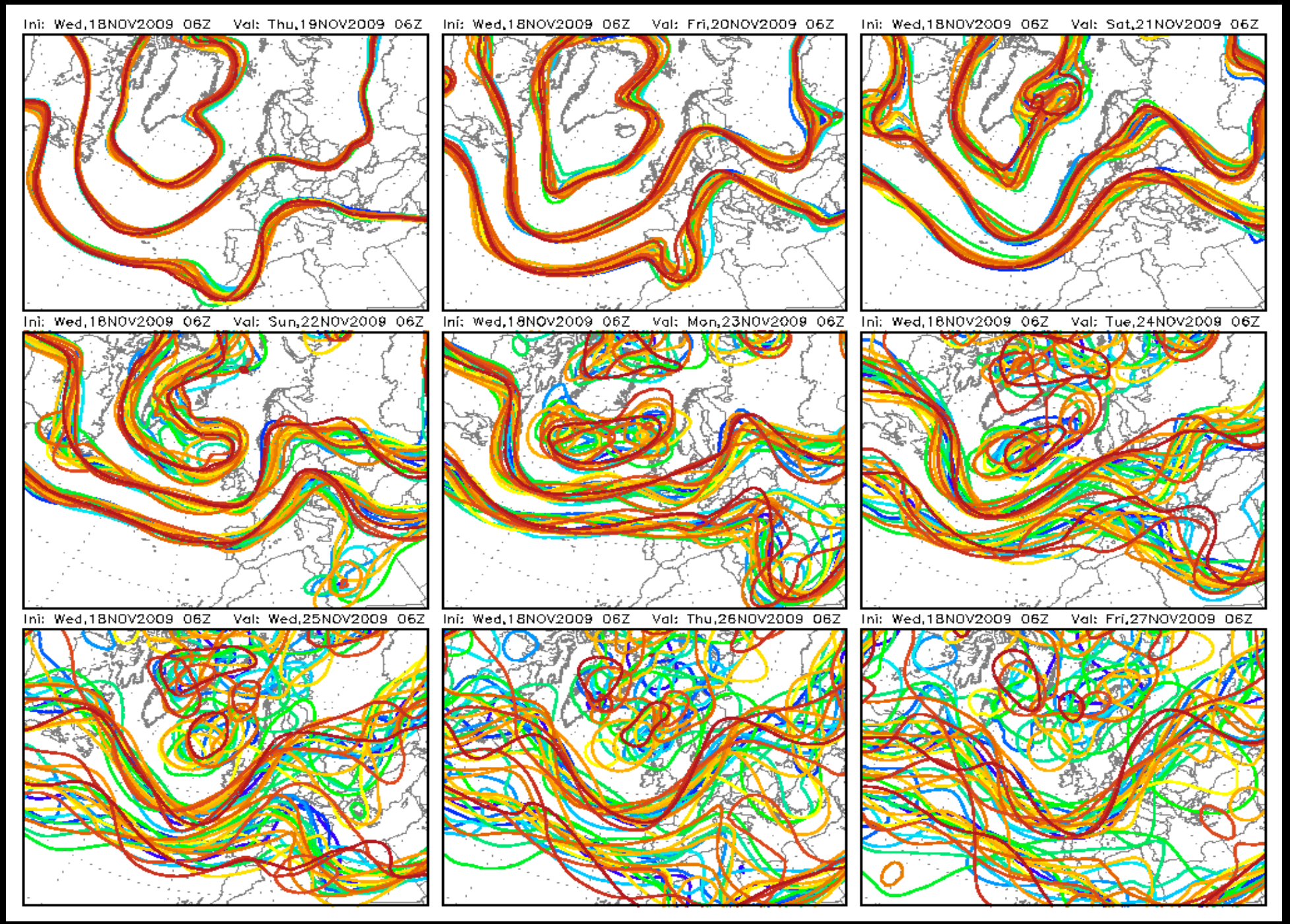
Praktyka: co jakiś czas wykonujemy pomiar i zaczynamy prognozę od początku.

W praktyce np. prognoza temperatury i opadu może wyglądać tak:



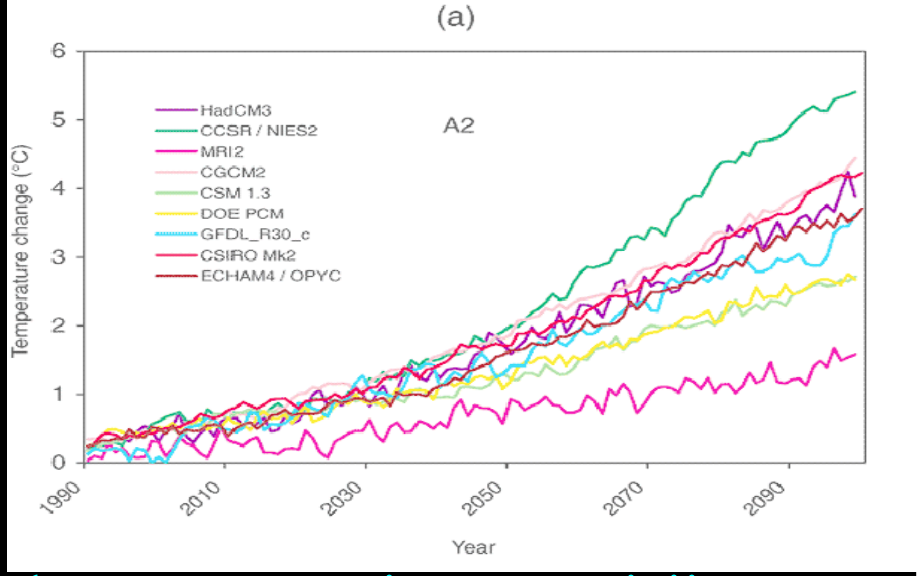


A prognoza ciśnienia w atmosferze swobodnej może wyglądać tak:

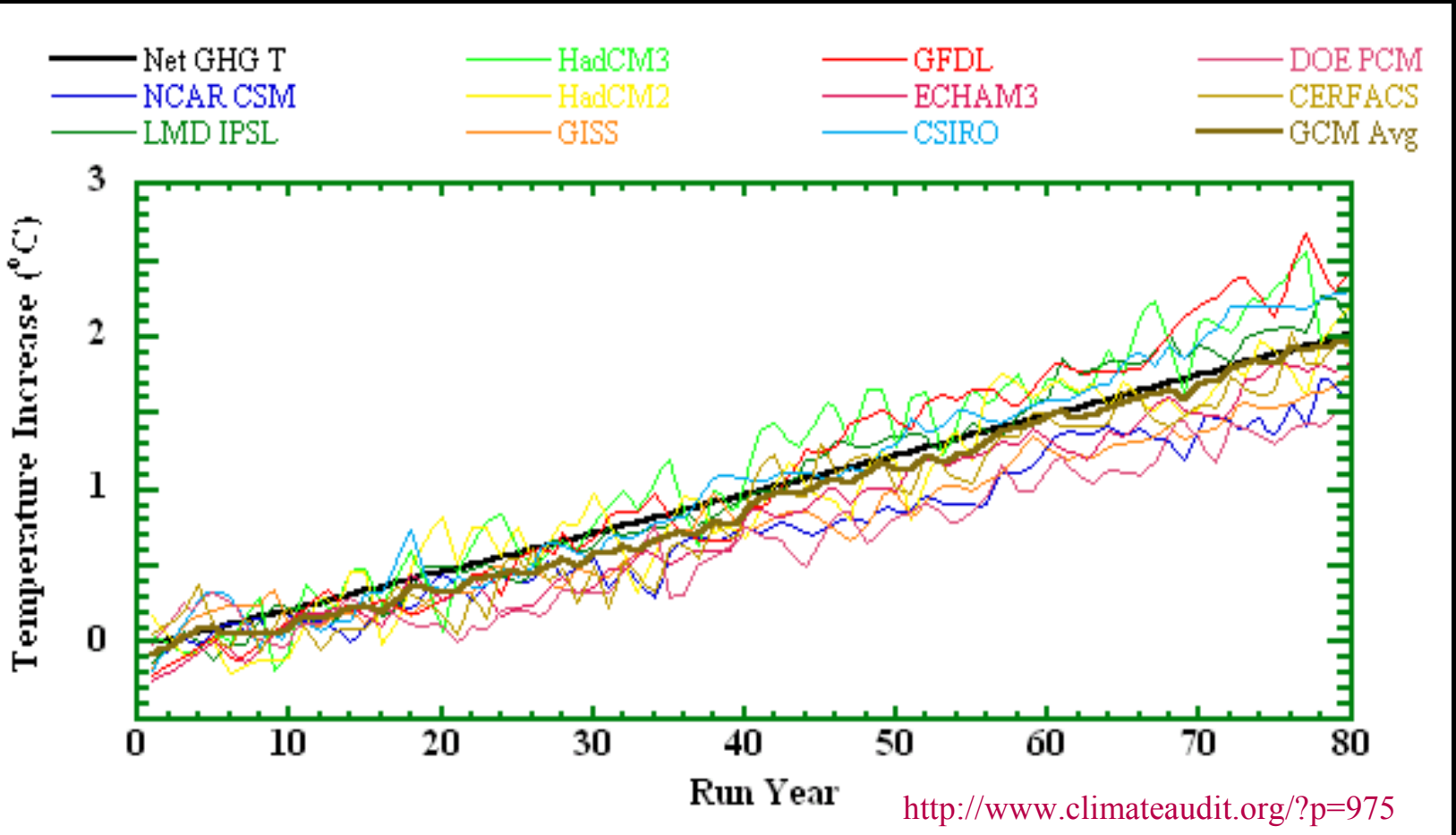


Przewidywalność – problem niedokładnej znajomości układu fizycznego.

Przykład – prognoza klimatu.

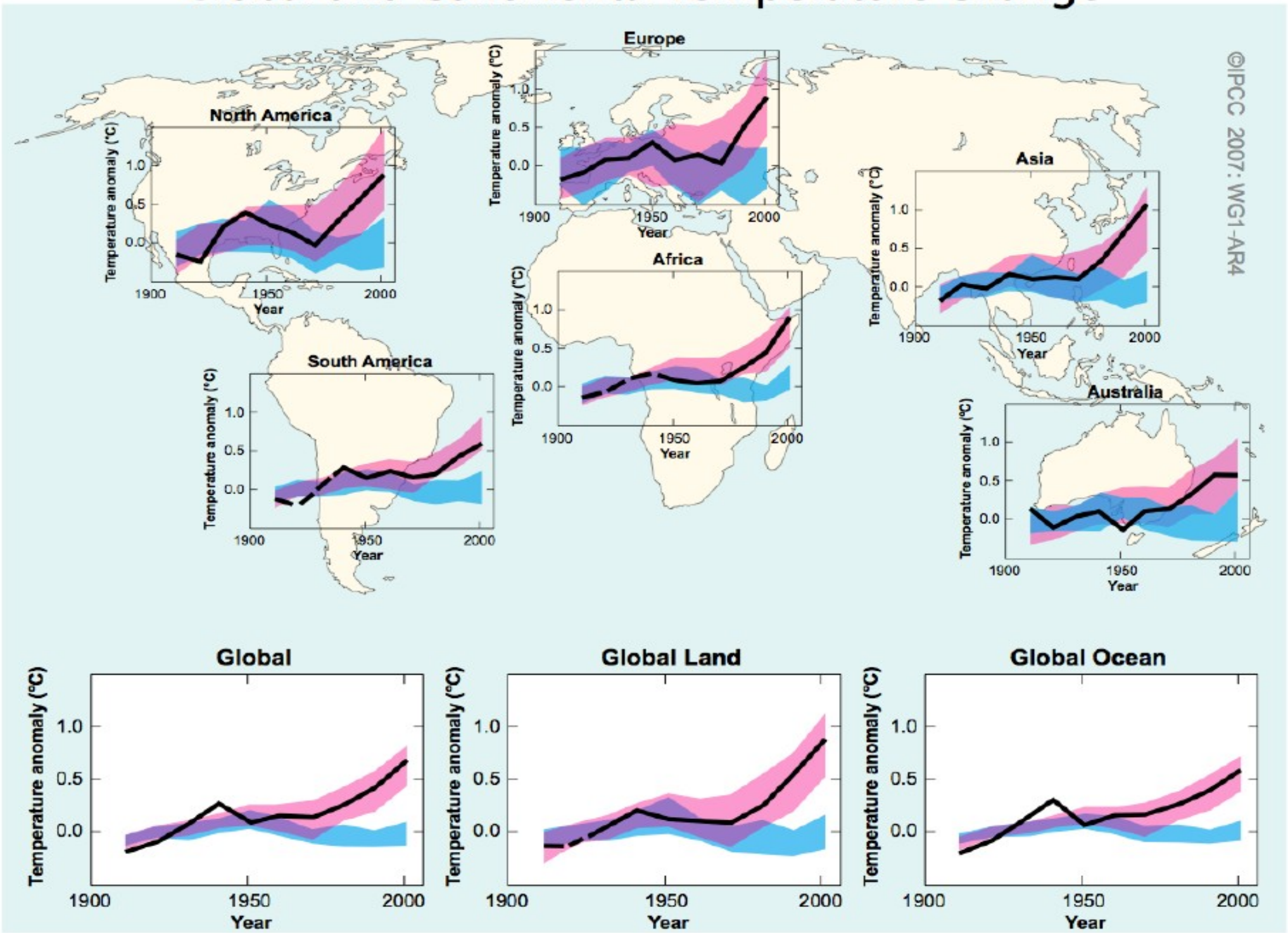


Porównanie symulacji 10 modelami dla ustalonego scenariusza emisji.



http://www.climateaudit.org/?p=975

Global and Continental Temperature Change



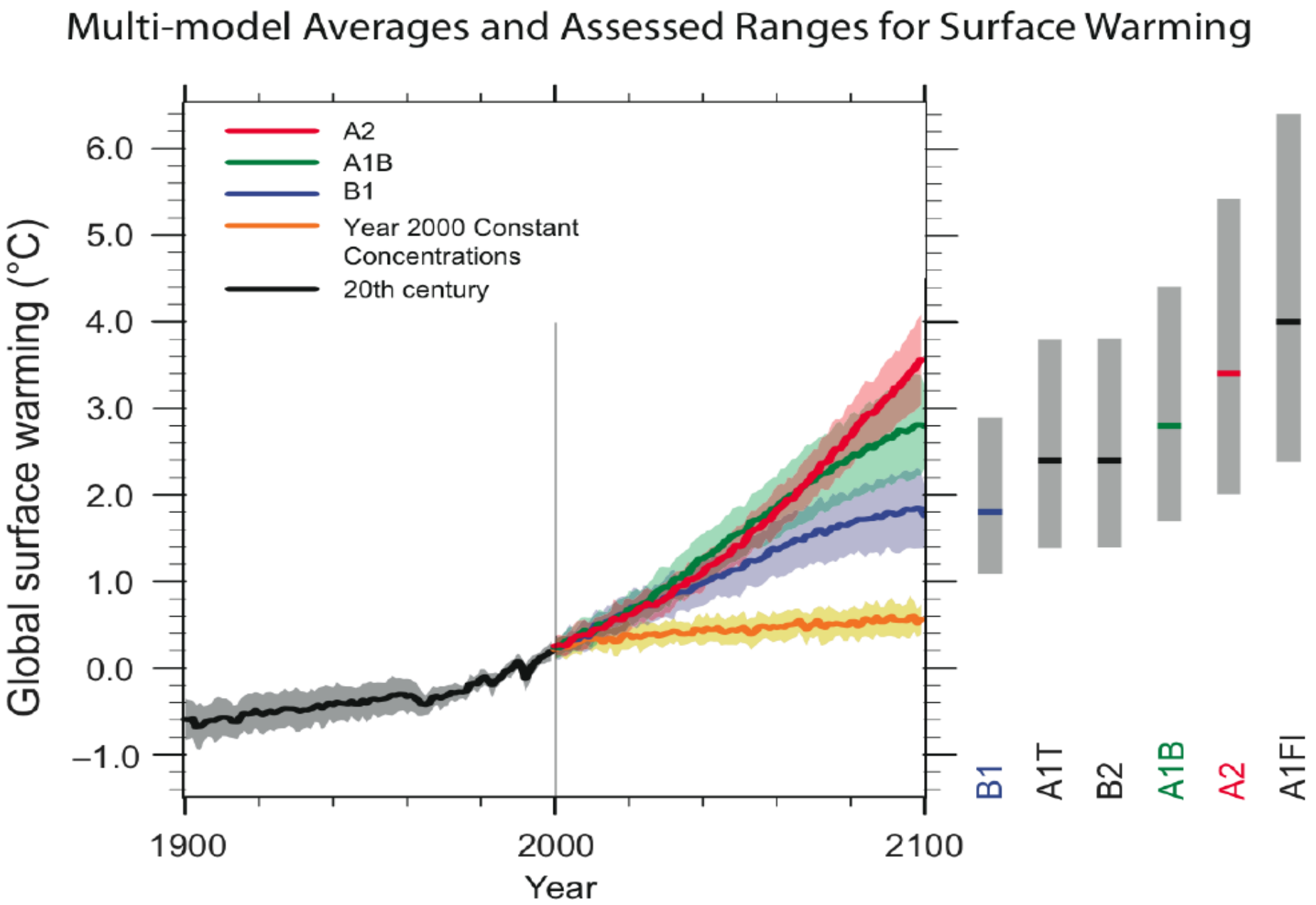
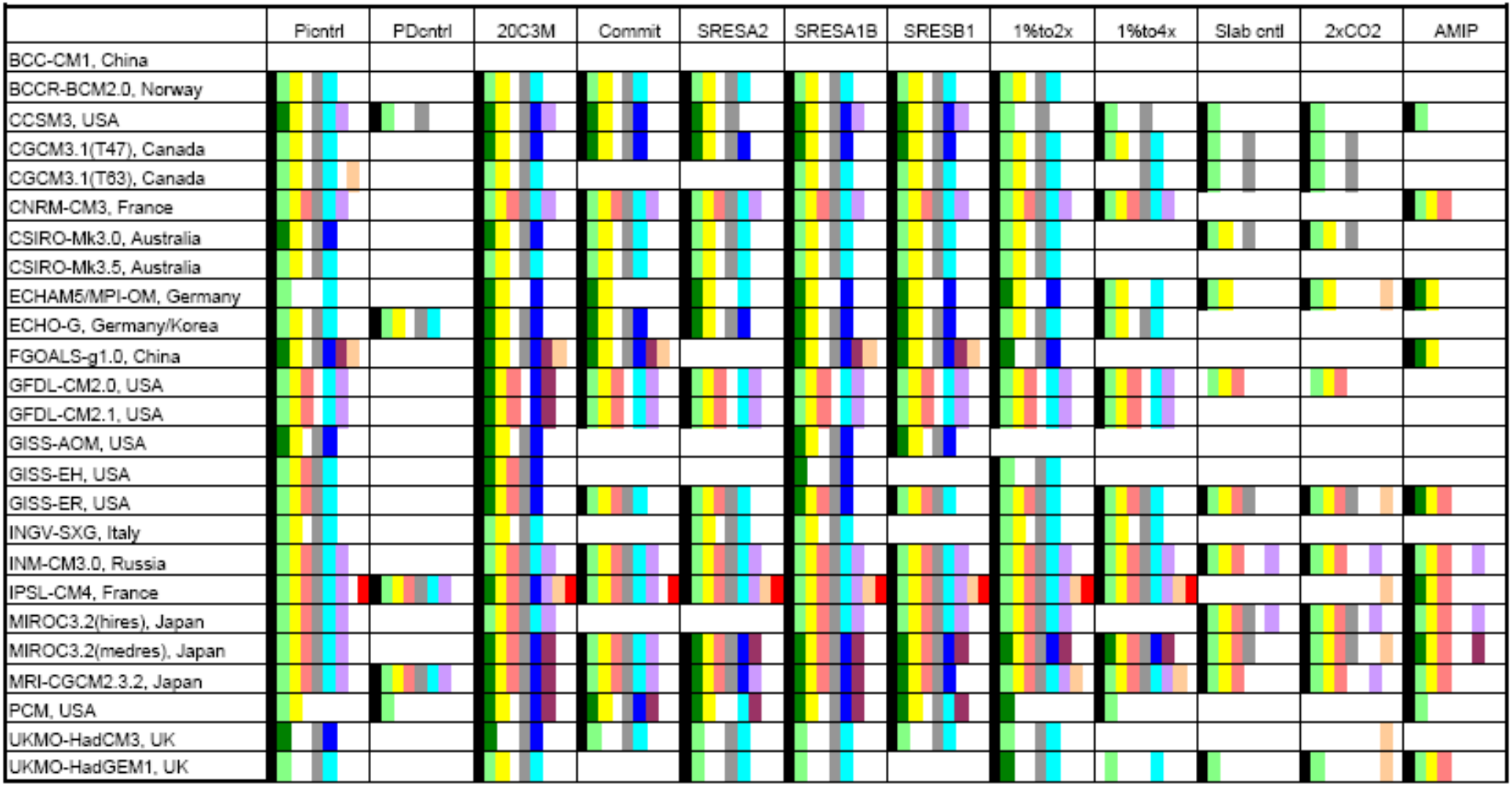


FIGURE SPM-5. Solid lines are multi-model global averages of surface warming (relative to 1980-99) for the scenarios A2, A1B and B1, shown as continuations of the 20th century simulations. Shading denotes the plus/minus one standard deviation range of individual model annual averages. The orange line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

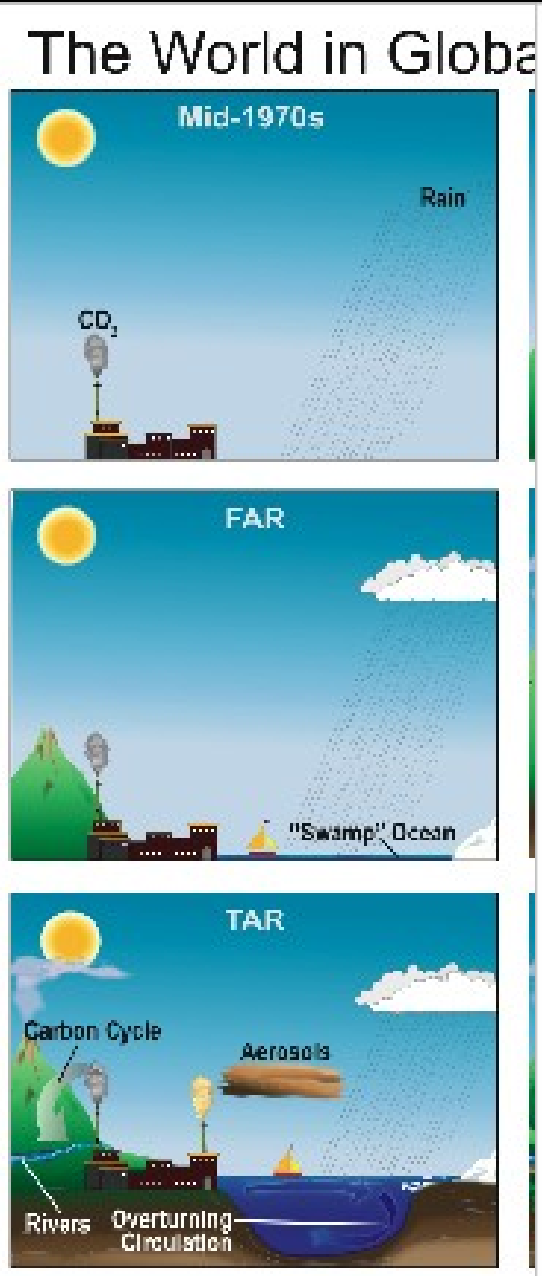
Data Availability Summary (as of 27 February 2008)

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

time-independent land surface
monthly-mean atmosphere
daily-mean atmosphere
3-hourly atmosphere
time-independent ocean
monthly-mean ocean
Extreme Indices
Forcing
ISCCP Simulator



Wyniki symulacji klimatycznych – dostępne dla każdego!
http://www-pcmdi.llnl.gov/projects/cmip/



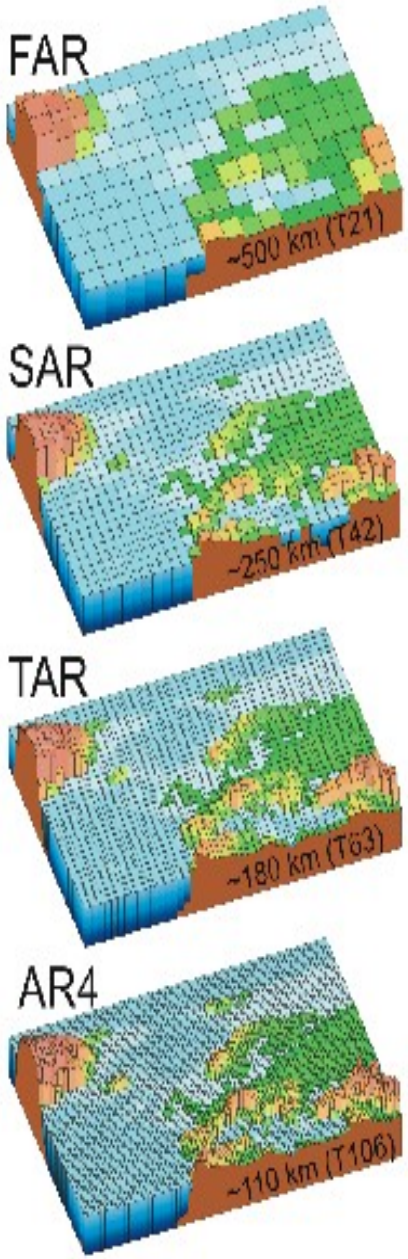


Figure 1.4

Rozwój modeli klimatu.

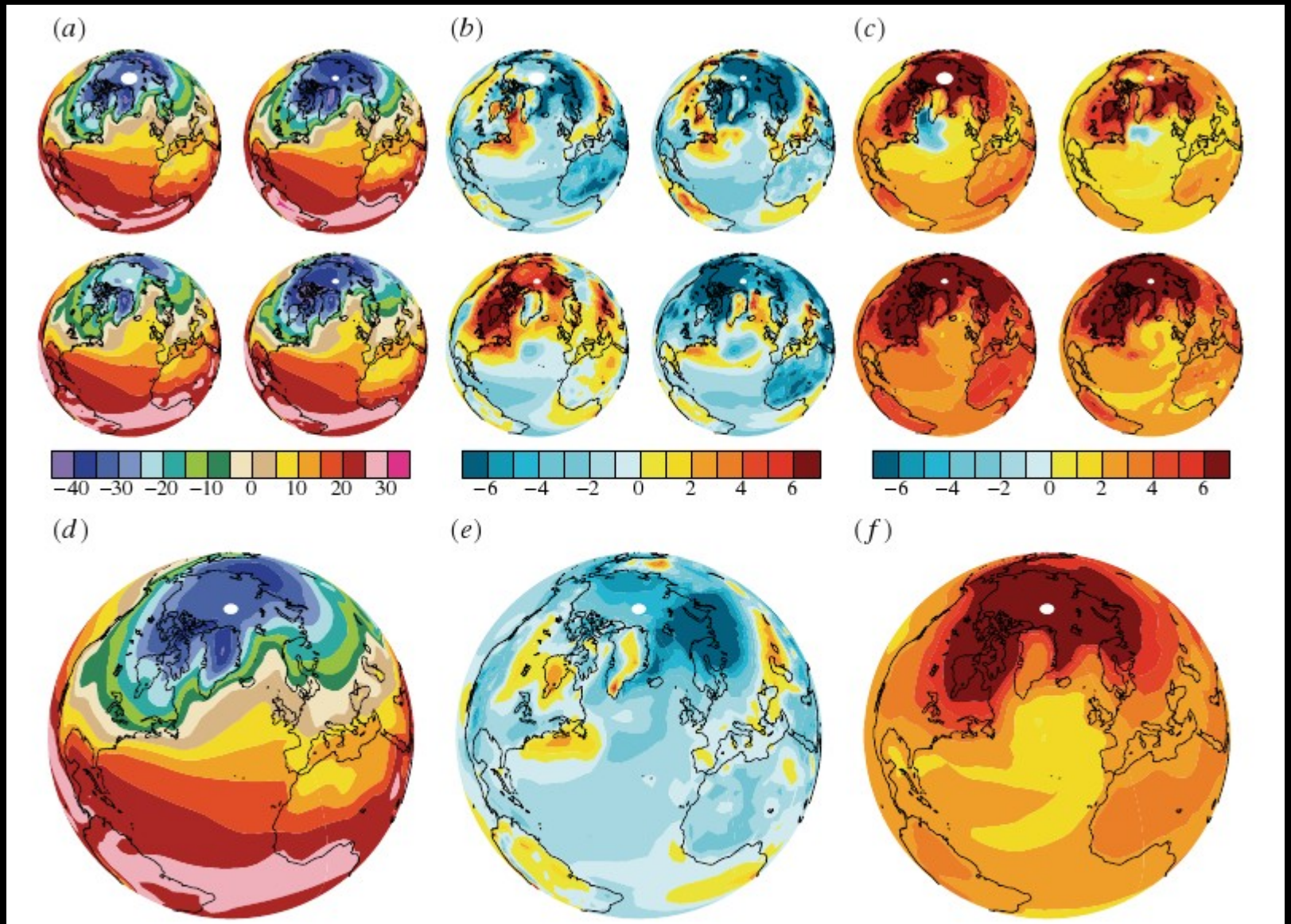


Figure 3. Simulated present-day (1980–1999 average) (a,d) absolute December to February surface temperature, (b,e) the bias of it from ERA 40 reanalysis and (c,f) the projected warming 2080–2099 relative to 1980–1999 for the A1B scenario. Four individual models are shown in $(a–c)$, and the average of 22 CMIP3 models is given in the large panels in $(d–f)$. There is no obvious connection between the present-day bias and the simulated warming.

R Knutti, 2008: Should we believe model predictions of future climate change? Phil. Trans. R. Soc. A 366, 4647–4664 doi:10.1098/rsta.2008.0169

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.

Podsumowanie.

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

Pierwotną przyczyną tego wzmocnionego efektu cieplarnianego jest wzrost koncentracji gazów cieplarnianych, głównie CO_2, spowodowana działalnością człowieka, w pierwszej mierze spalaniem paliw kopalnych. Badania składu izotopowego węgla w atmosferycznym CO_2 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 drobić 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.

Wybrane odnośniki:

http://www.igf.fuw.edu.pl/zfa/
http://www.ipcc.ch/ipccreports/assessments-reports.htm
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/