

Ocean a klimat:

wczoraj, dziś i jutro

Wykład 6:

Tropiki a zmienność klimatu
(*ENSO, huragany, monsuny*)

Jacek Piskozub

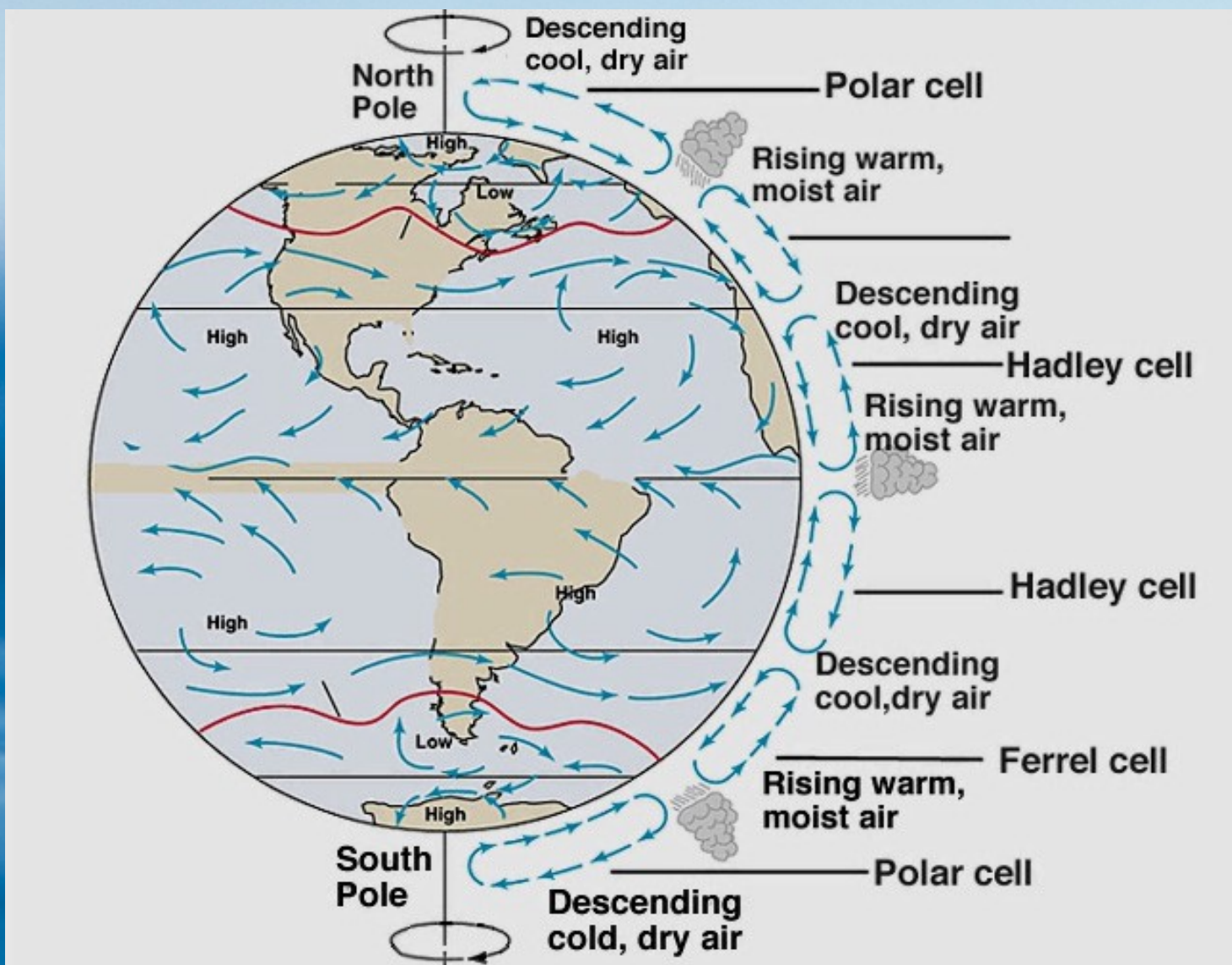
Studium Doktoranckie IOPAN, semestr zimowy 2016/17 r.

<http://www.iopan.gda.pl/~piskozub/klimat/>

Jacek Piskozub “Klimat a ocean: wczoraj, dziś i jutro”, kurs wykładów dla doktorantów 2016/2017

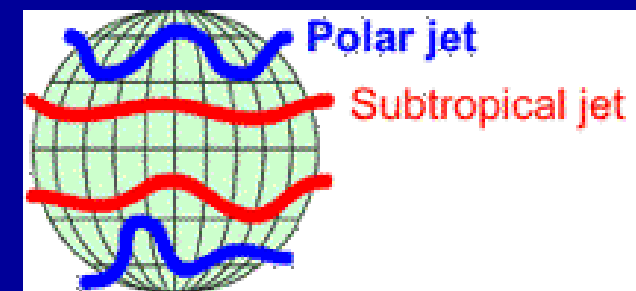
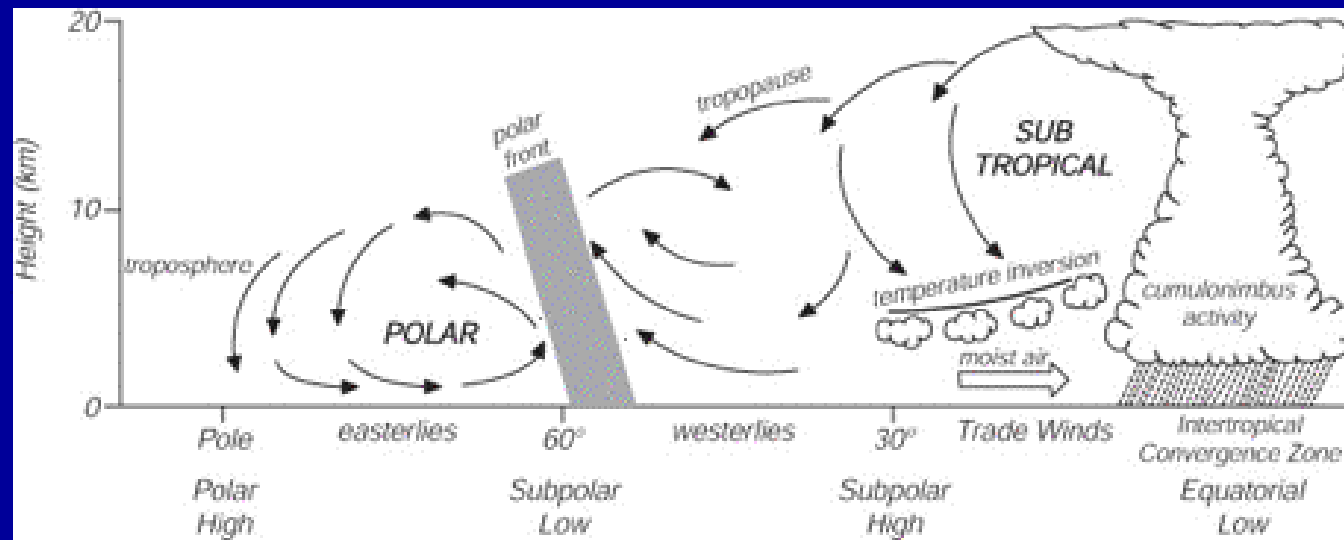
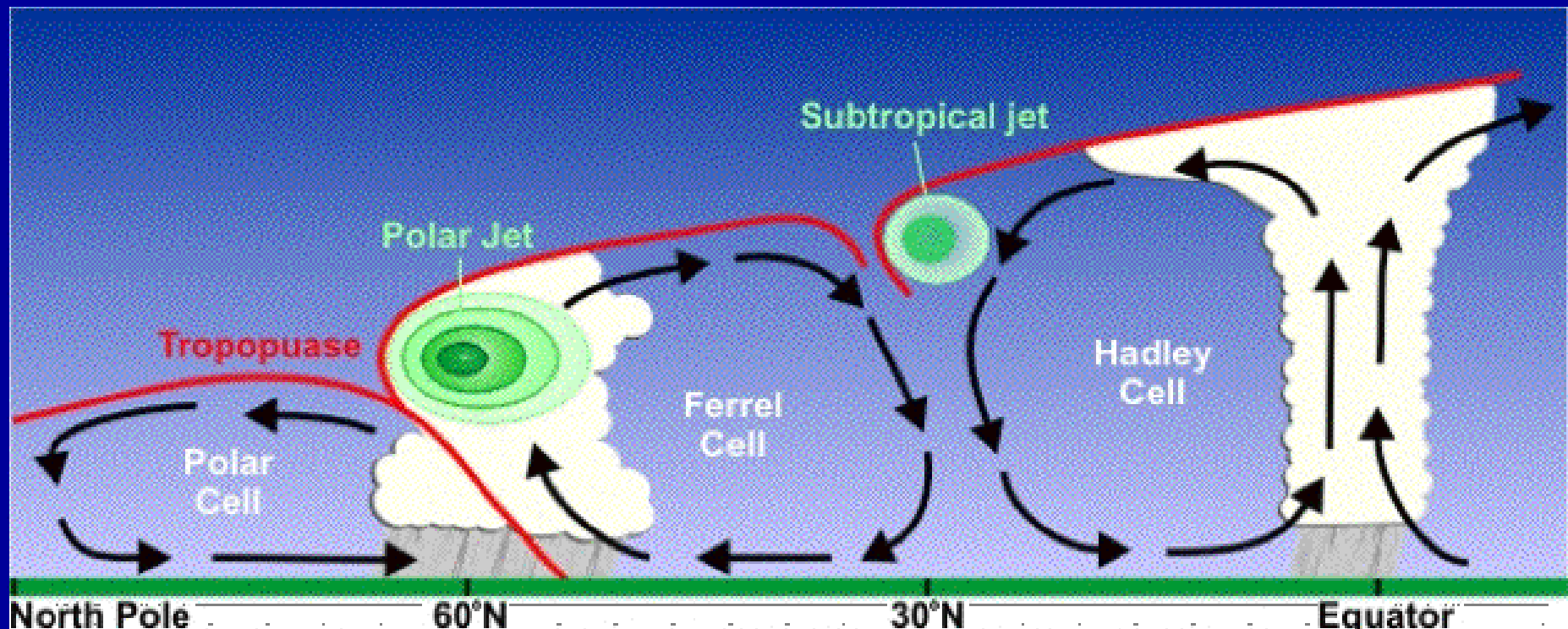
- ✓ Maszyna klimatyczna Ziemia (*zmienność w skali geologicznej*)
- ✓ Epoka lodowa w której żyjemy (*zmienność w skali astronomicznej*)
- ✓ Gwałtowne zmiany klimatu (*deglacjacja, zmienność “suborbitalna”*)
- ✓ Holocen: klimat, ocean a cywilizacja, (*stała słoneczna i wulkanizm*)
- ✓ Północny Atlantyk – kuźnia klimatu (*cyrkulacja termohalinowa, NAO*)
- ✓ Zmienność klimatu w skali dekadальной (*AMO, NAO, PDO*)
- ✓ **Tropiki a zmienność klimatu (*ENSO, huragany, monsuny*)**
- ✓ Aerosol: wielka niewiadoma klimatyczna
- ✓ Gazy o znaczeniu klimatycznym (*cykl węgla, CO₂, metan, DMS*)
- ✓ Globalne ocieplenie a ocean (*zmienność antropogeniczna*)
- ✓ Zmiany klimatyczne w rejonach polarnych

Przypomnienie: cyrkulacja atmosfery ziemskiej



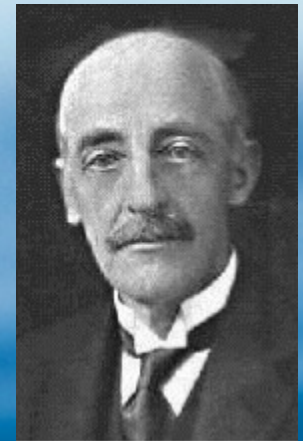
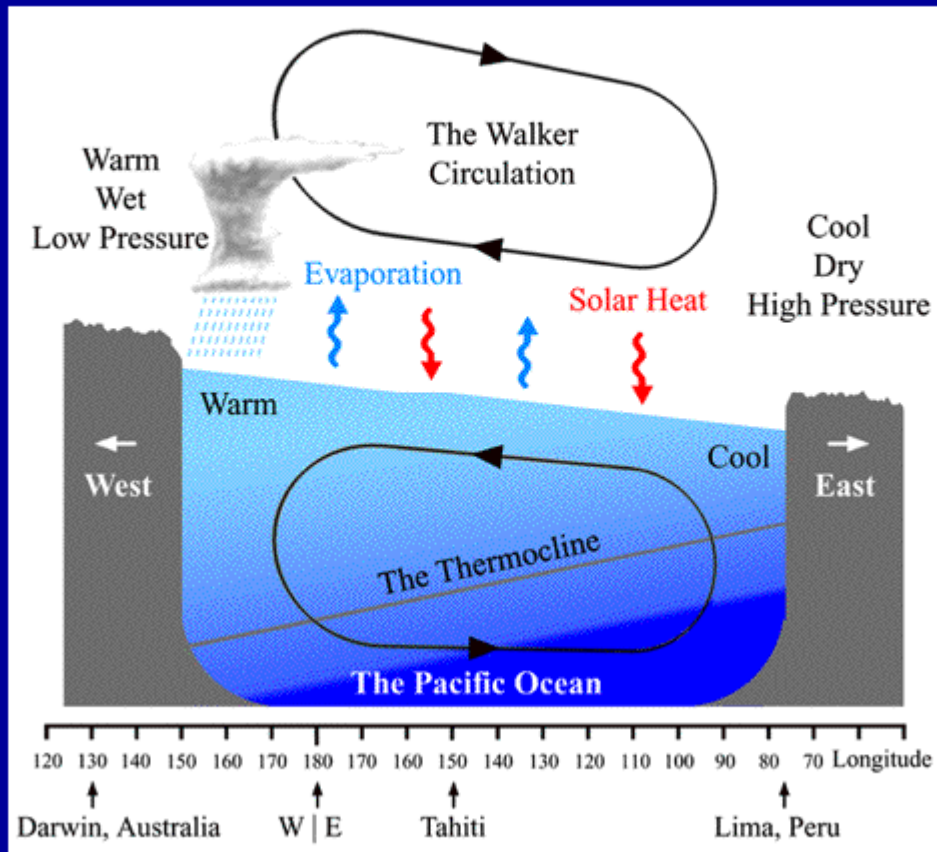
Klimatem tropików rządzi Tropikalna Strefa Konwergencji, pomiędzy dwoma komórkami Hadleya objawiającymi się na powierzchni jako pasaty...

The three cells and the jet streams: Polar and Subtropical Jets



Cyrkulacja Walkera nad równikowym Pacyfikiem

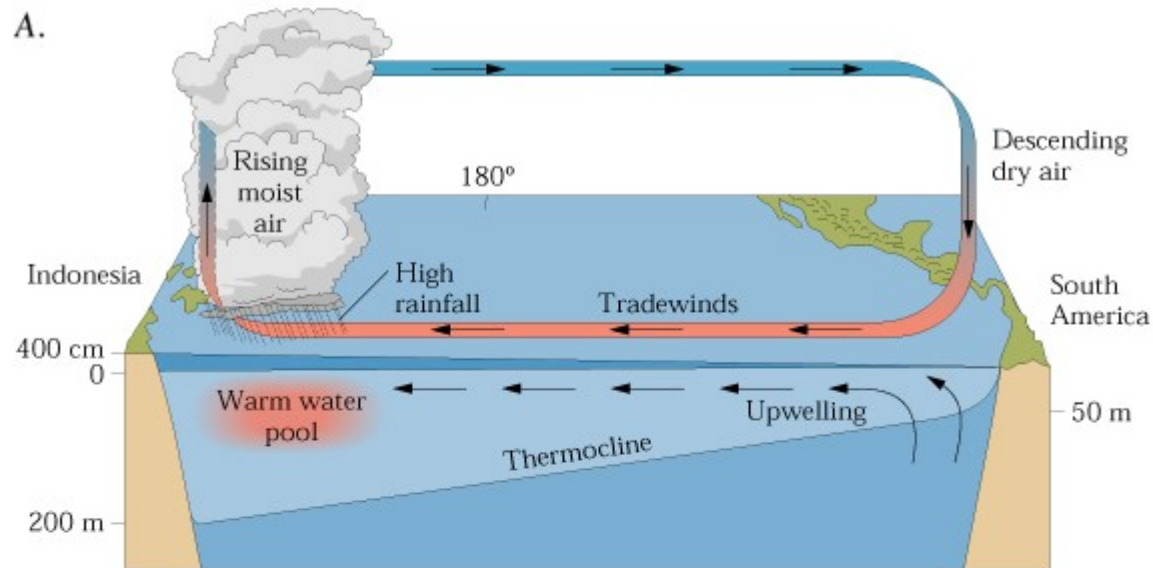
Walker circulation: equatorial direct circulation (Coriolis not important)



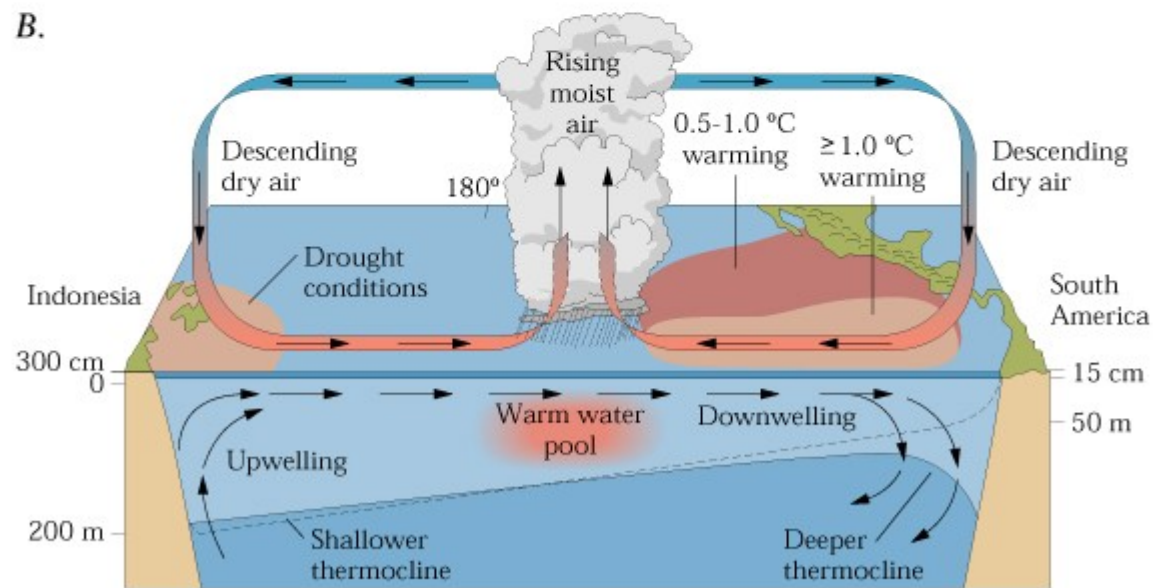
Sir Gilbert Thomas Walker (1868 - 1958)

Ogólny obraz cyrkulacji komplikuje się nad Pacyfikiem gdzie istnieje komórka konwekcyjna (komórka Hadleya) wzdłuż równika pomiędzy niżem na zachodzie (w pobliżu Indonezji i Filipin) i wyżem na wschodzie (w pobliżu Ameryki Południowej).

Dwie fazy cyrkulacji Walkera: „El Niño-Southern Oscillation” (ENSO)



“Normal” conditions in the tropical Pacific



El Niño conditions in the tropical Pacific

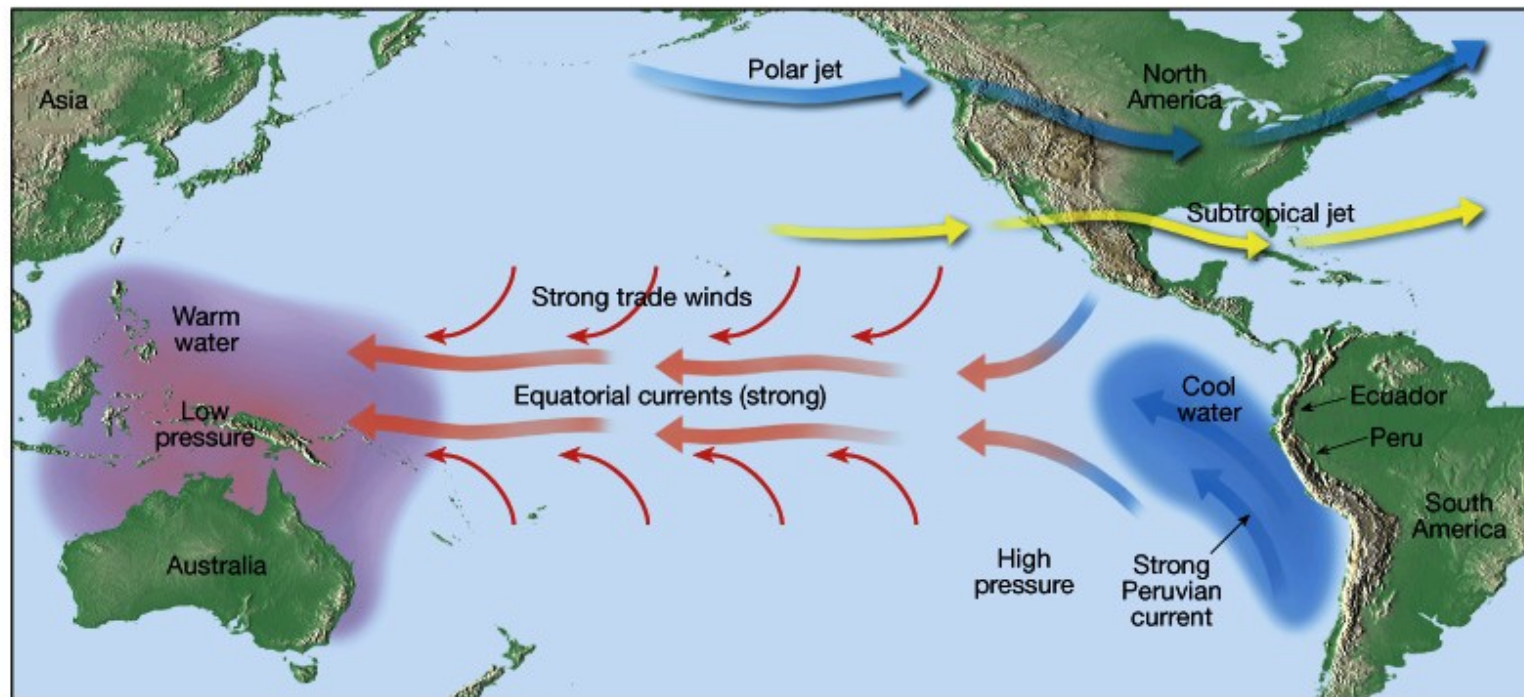
Tradycyjny obraz ENSO: na tle “normalnej” cyrkulacji Walkera tworzy się ciepła anomalia na Wschodnim Pacyfiku. Od daty częstego pojawiania się przy brzegach Peru zwana “Dzieciątkiem” (El Niño).

Obecnie przeważa pogląd, że ENSO jest cyklem dwóch stanach metastabilnych: El Niño oraz La Niña, z który żaden nie jest bardziej normalny.

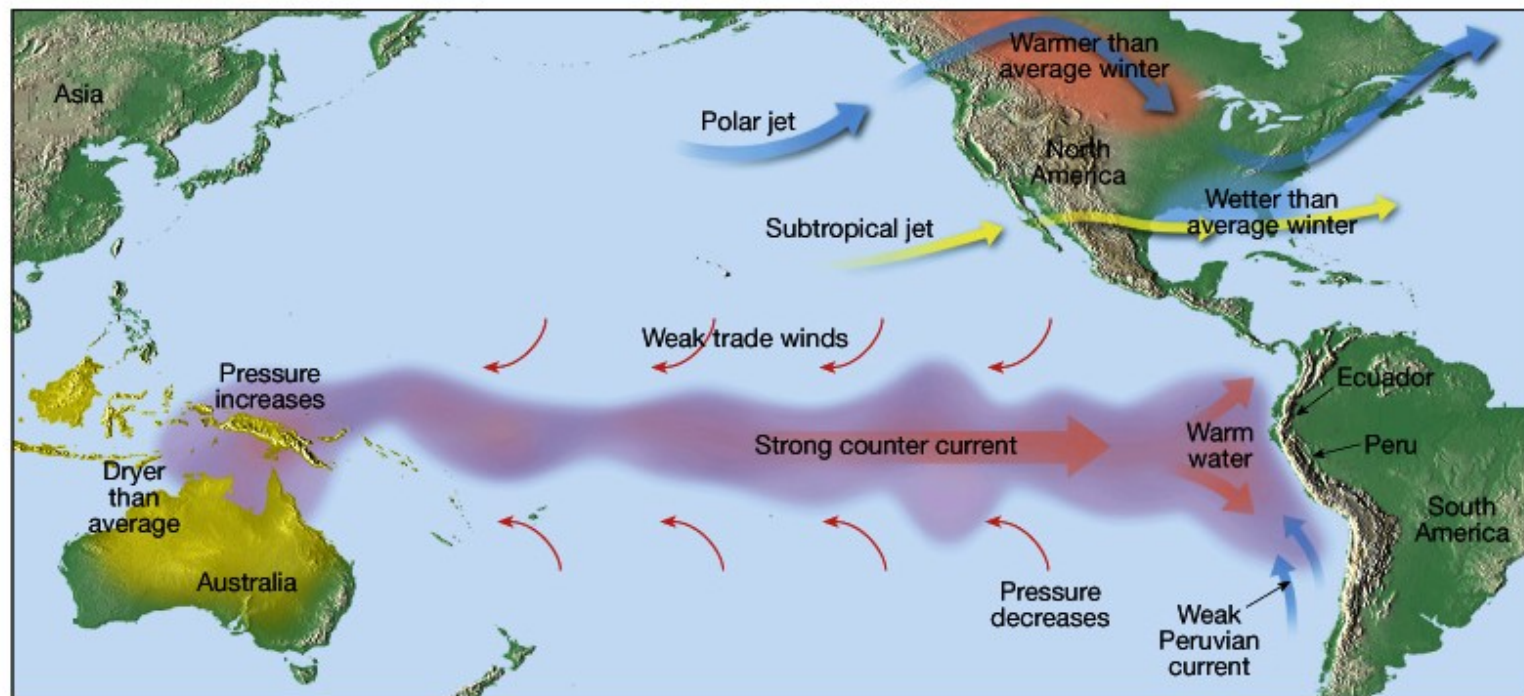
Cykl ENSO trwający 3-7 lat jest głównym źródłem zmienności klimatu Ziemi o cyklu dłuższym niż rok.

Dwie fazy ENSO

La Niña



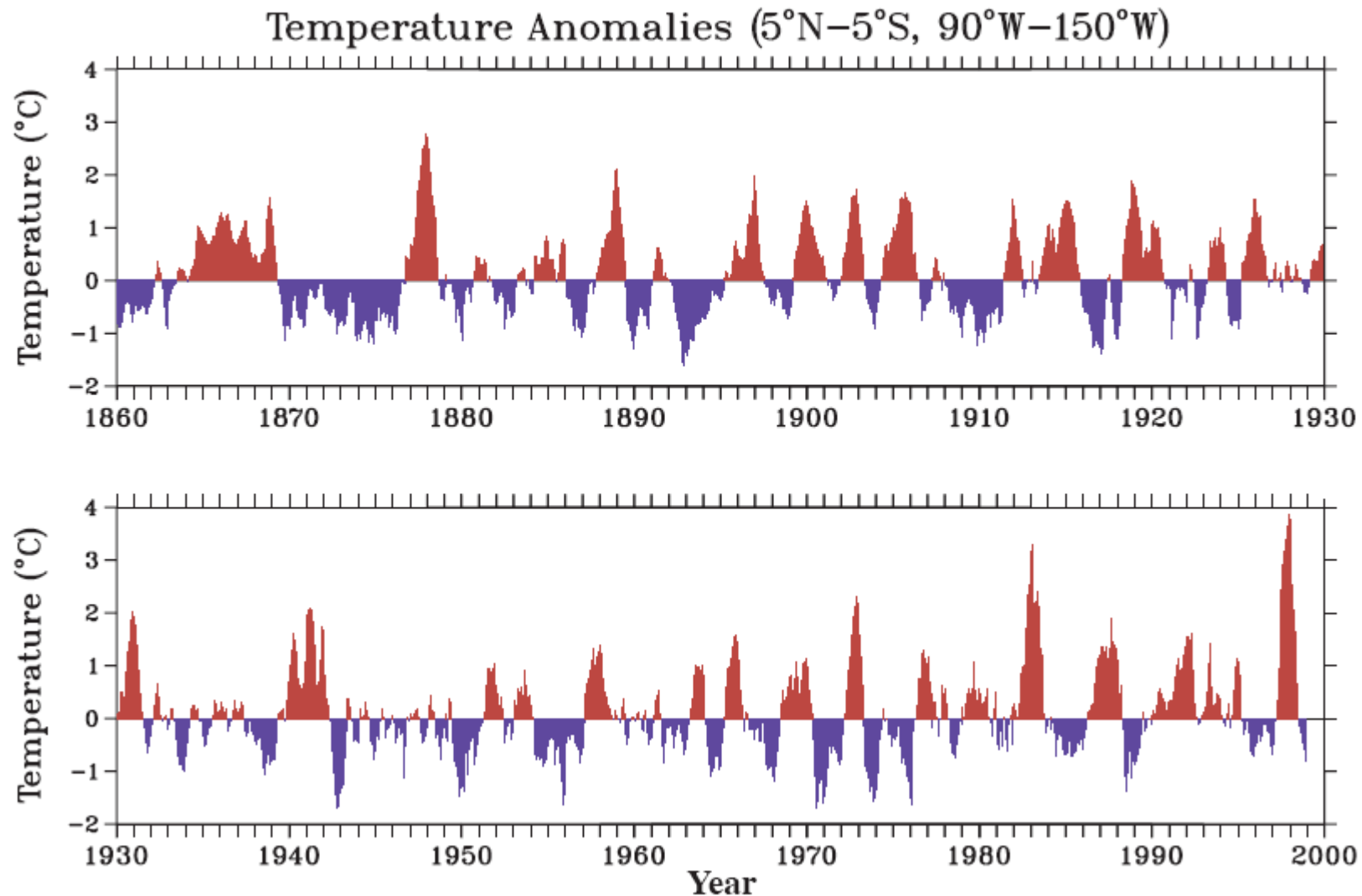
A. Normal conditions



B. El Niño

El Niño

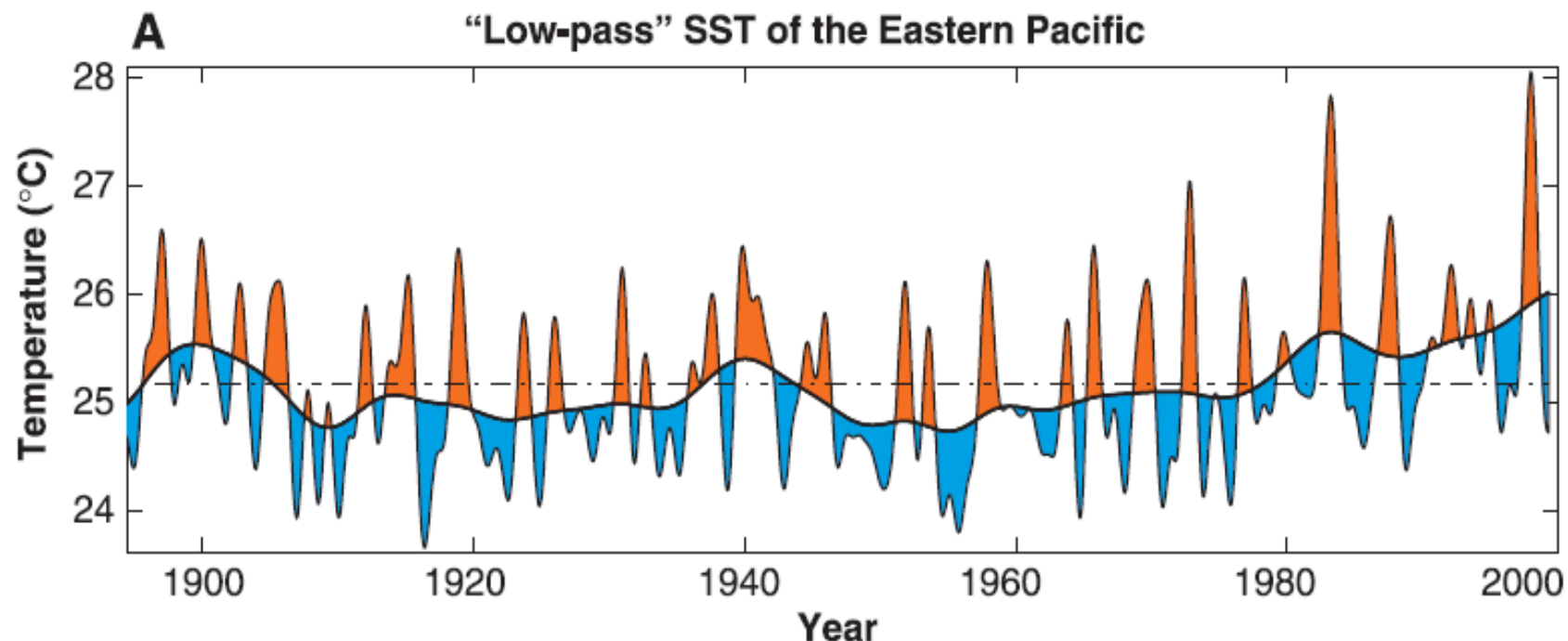
Indeks ENSO-3



Dodatnie wartości odchylenia temperatury Wschodniego Pacyfiku od średniej to El Niño, ujemne to La Niña. Zmienność z okresem rocznym i krótszym została odfiltrowana.

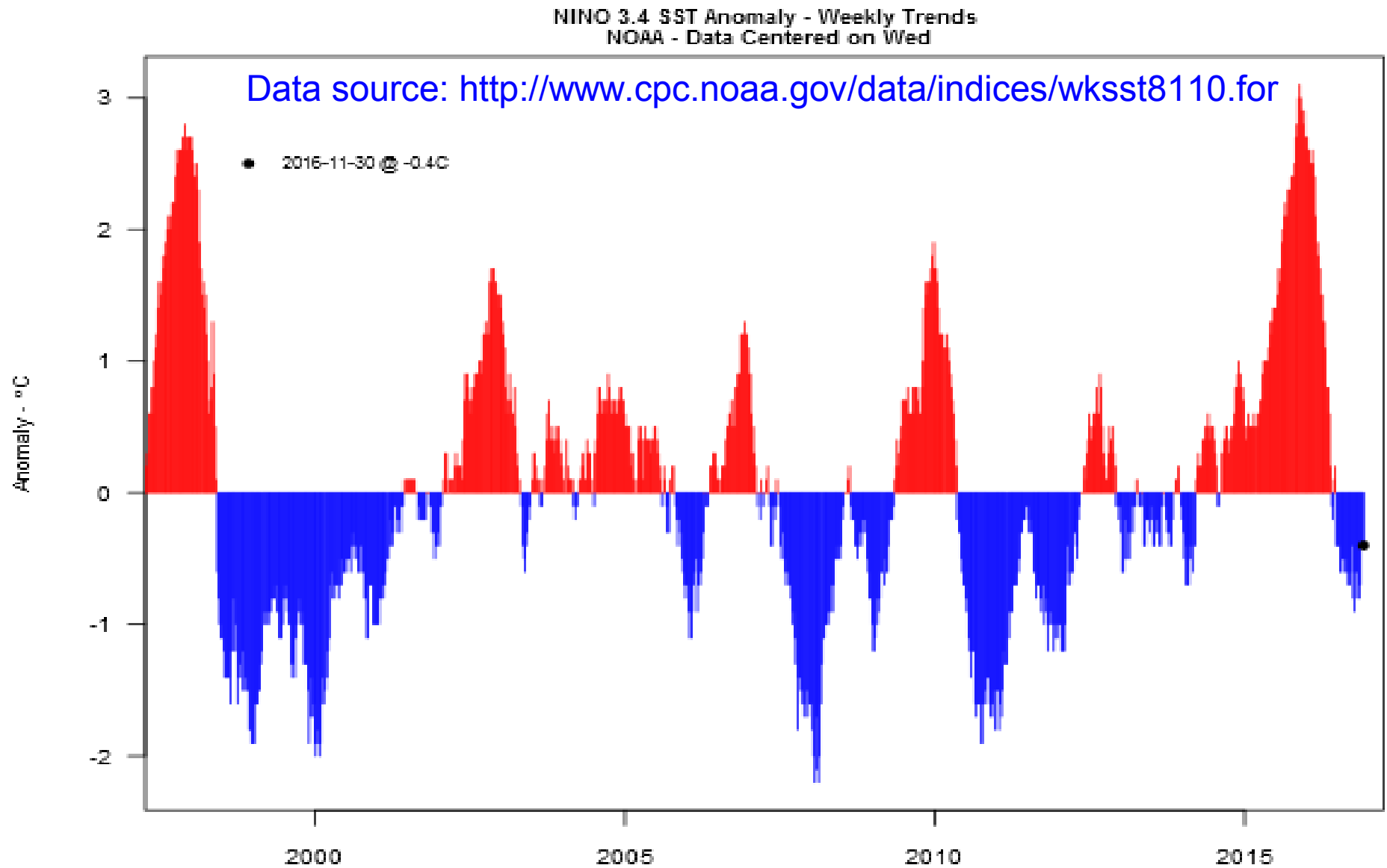
McPhaden 1999 (Science)

Indeks ENSO w XX wieku



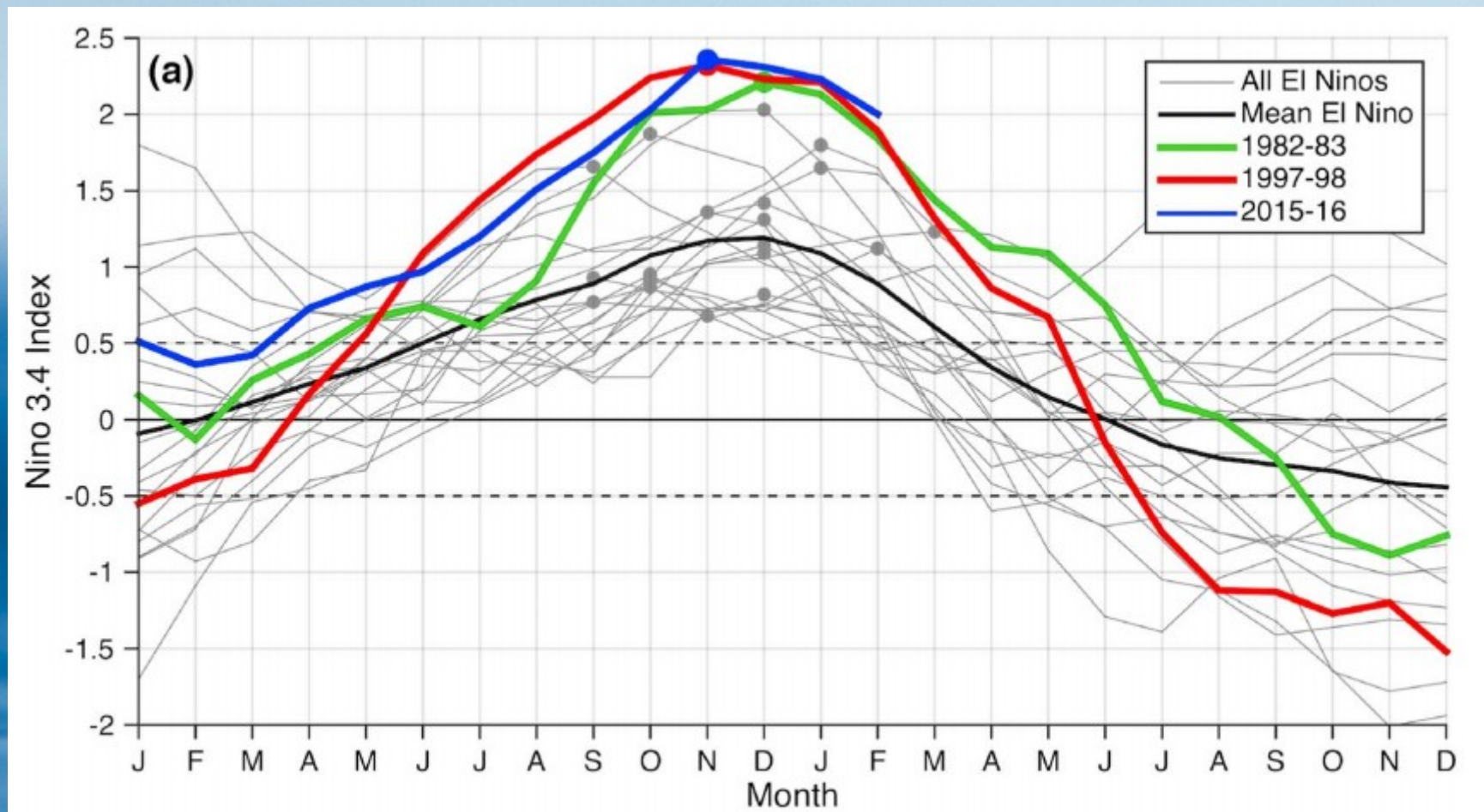
Alternatywny sposób definiowania faz ENSO, względem wieloletniej średniej kroczącej temperatury Wschodniego Pacyfiku. Przy tym podejściu obie fazy (La Niña oraz El Niño) występują równie często nieomal z definicji.

Indeks ENSO3.4 (środkowy Pacyfik)



Data Source: <http://www.cpc.noaa.gov/data/indices/wksst8110.for>

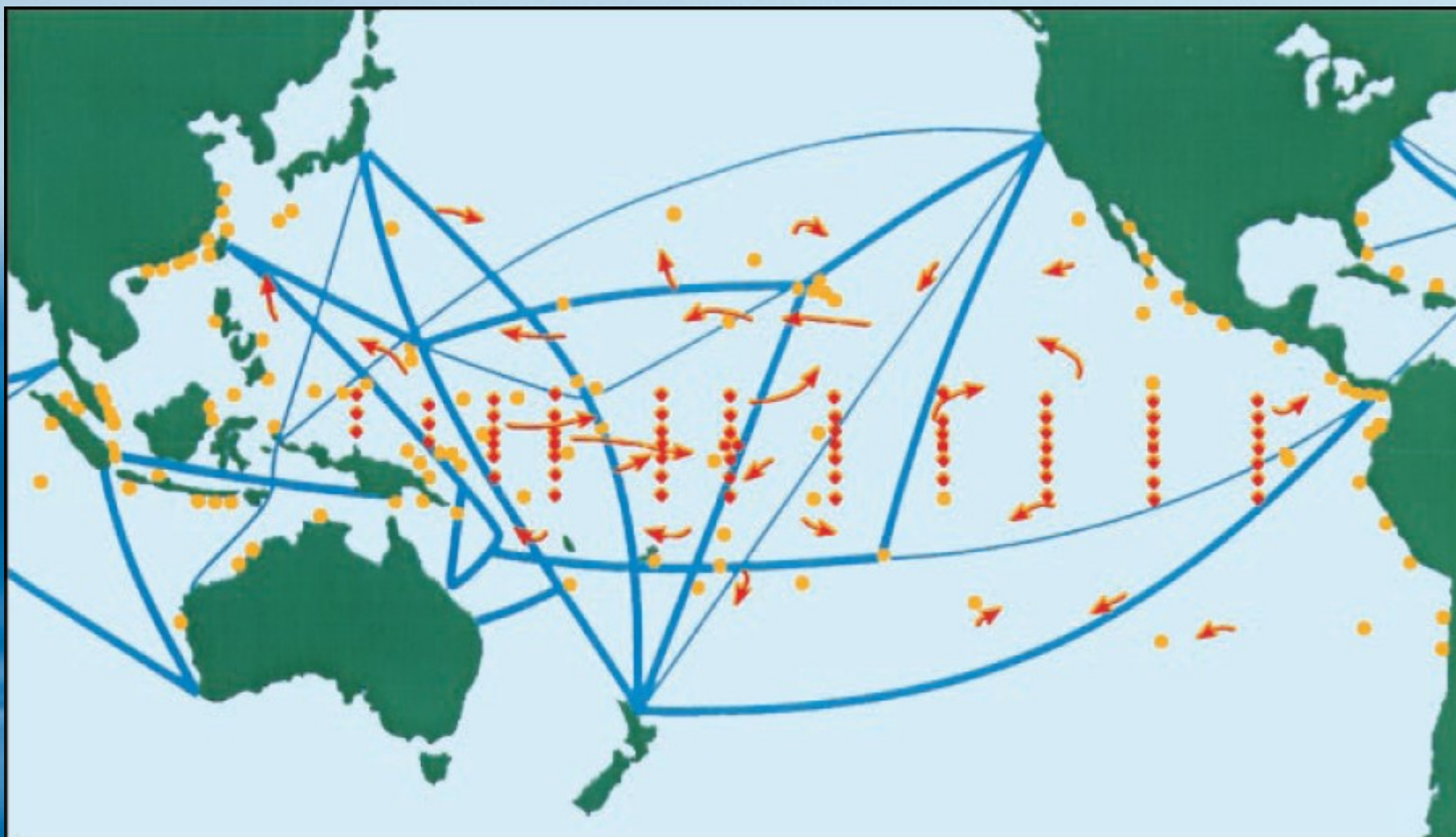
El Nino 2015/16 na tle poprzednich



Temperatury Pacyfiku podczas El Nino 2015/16 dorównały temperaturom dwóch poprzednich rekordowych (1982/83 i 1997/98). Jednak ponieważ Pacyfik ogrzał się od tego czasu w wyniku globalnego ocieplenia, faktycznie najnowsze El Nino mogło być nieco słabsze od tamtych.

Jacox et al 2016 (GRL)

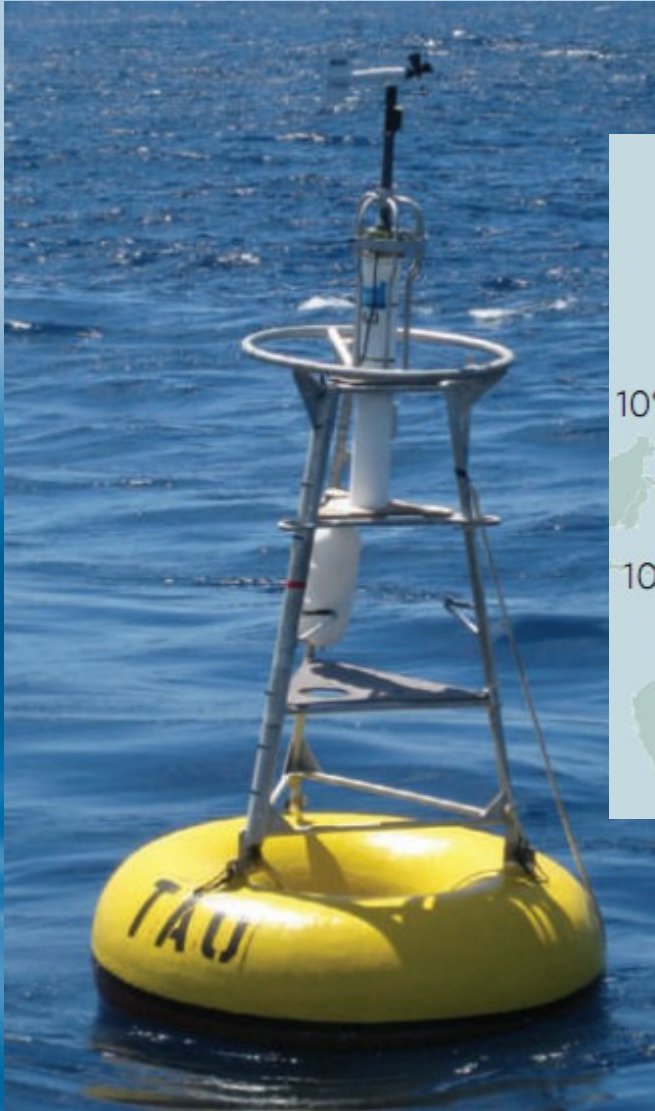
Skąd o tym wiemy?



Sieć pomiarów oceanograficznych na Pacyfiku. Wśród nich: statki handlowe z instrumentami oceanograficznymi (niebieskie linie), mierniki poziomu morza (żółte kropki), boje dryfujące (czerwone strzałki) i mooringi oceanograficzne (czerwone kropki).

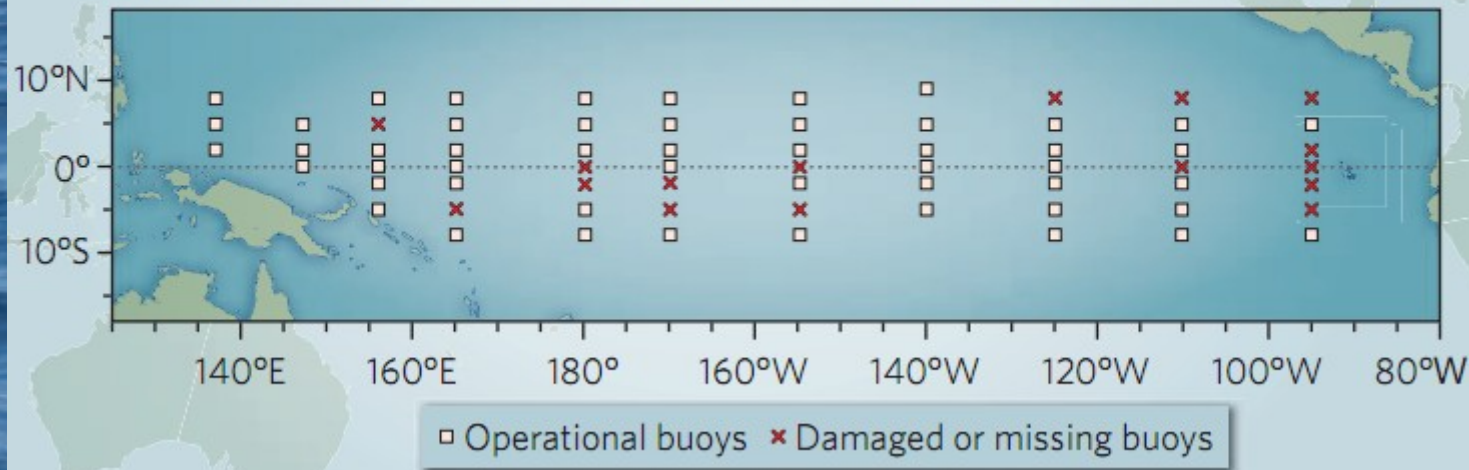
Fedorov & Philander 2000 (Science)

I czy dostatecznie dbamy o sieć pomiarową?



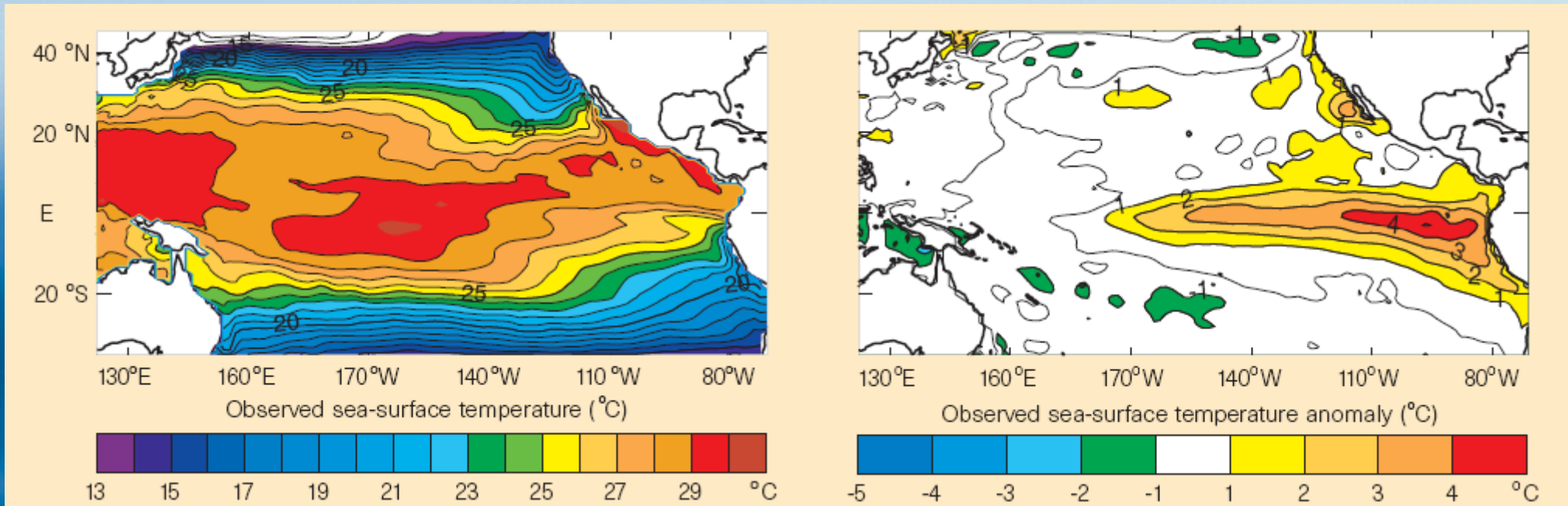
BUOYS DOWN IN THE PACIFIC OCEAN

Many buoys in the Tropical Atmosphere Ocean array are not functioning in the eastern Pacific — where data are needed for El Niño forecasting.



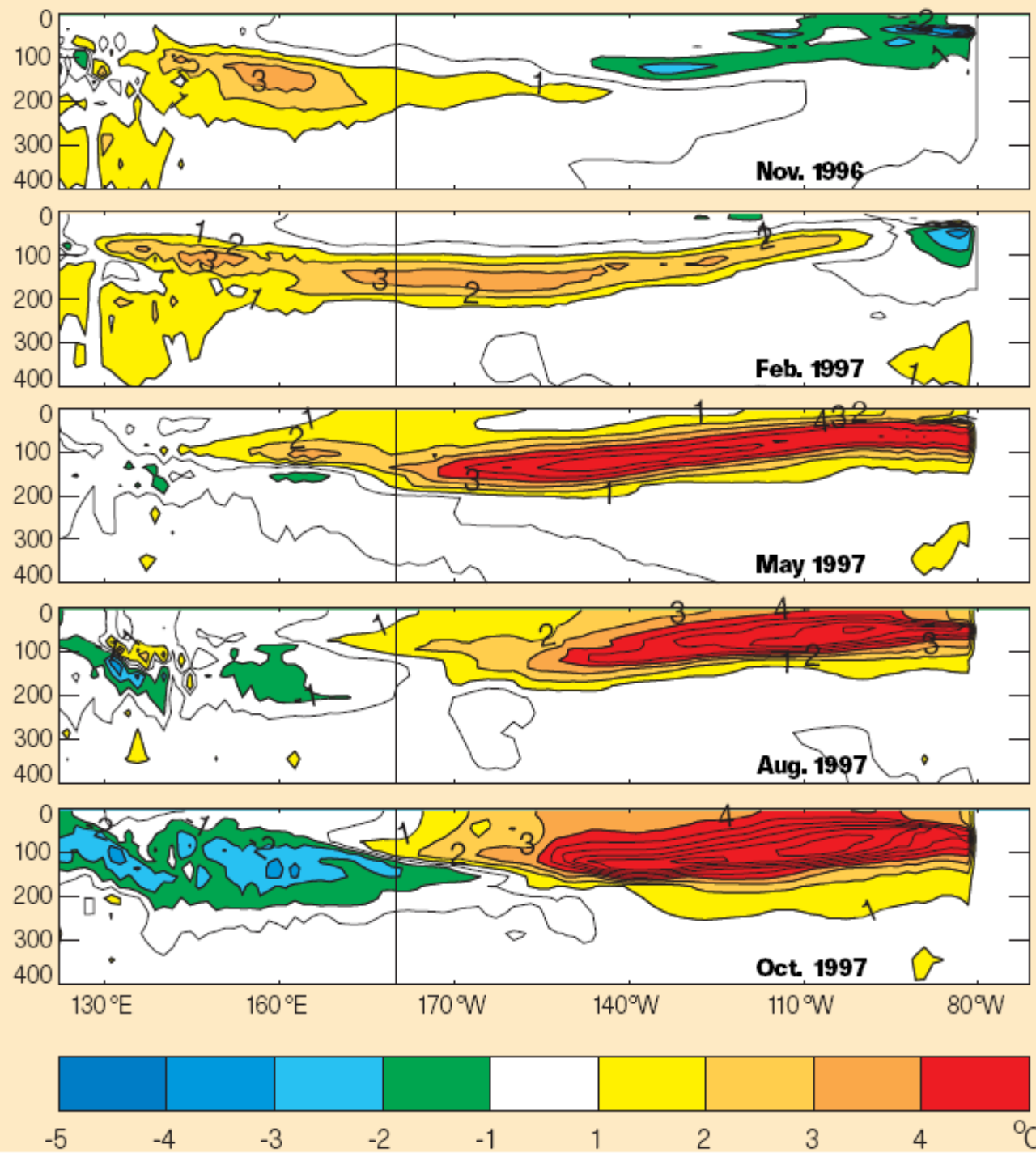
Sieć pomiarów oceanograficznych na Pacyfiku wymaga jednak kosztownego utrzymania. Na rysunku stan sieci boi na początku El Nino w roku 2009. Czerwone krzyżyki to nie działające albo zaginione boje.

Powstawanie El Niño: październik 1997



Temperatura wód powierzchniowych (SST) w październiku 1997 oraz jej zmiana względem długoterminowej średniej dla tego miesiąca (anomalia). Charakterystyczny ciepły klin w pobliżu Ameryki Południowej jest prawie 5 stopni cieplejszy od średniej wieloletniej.

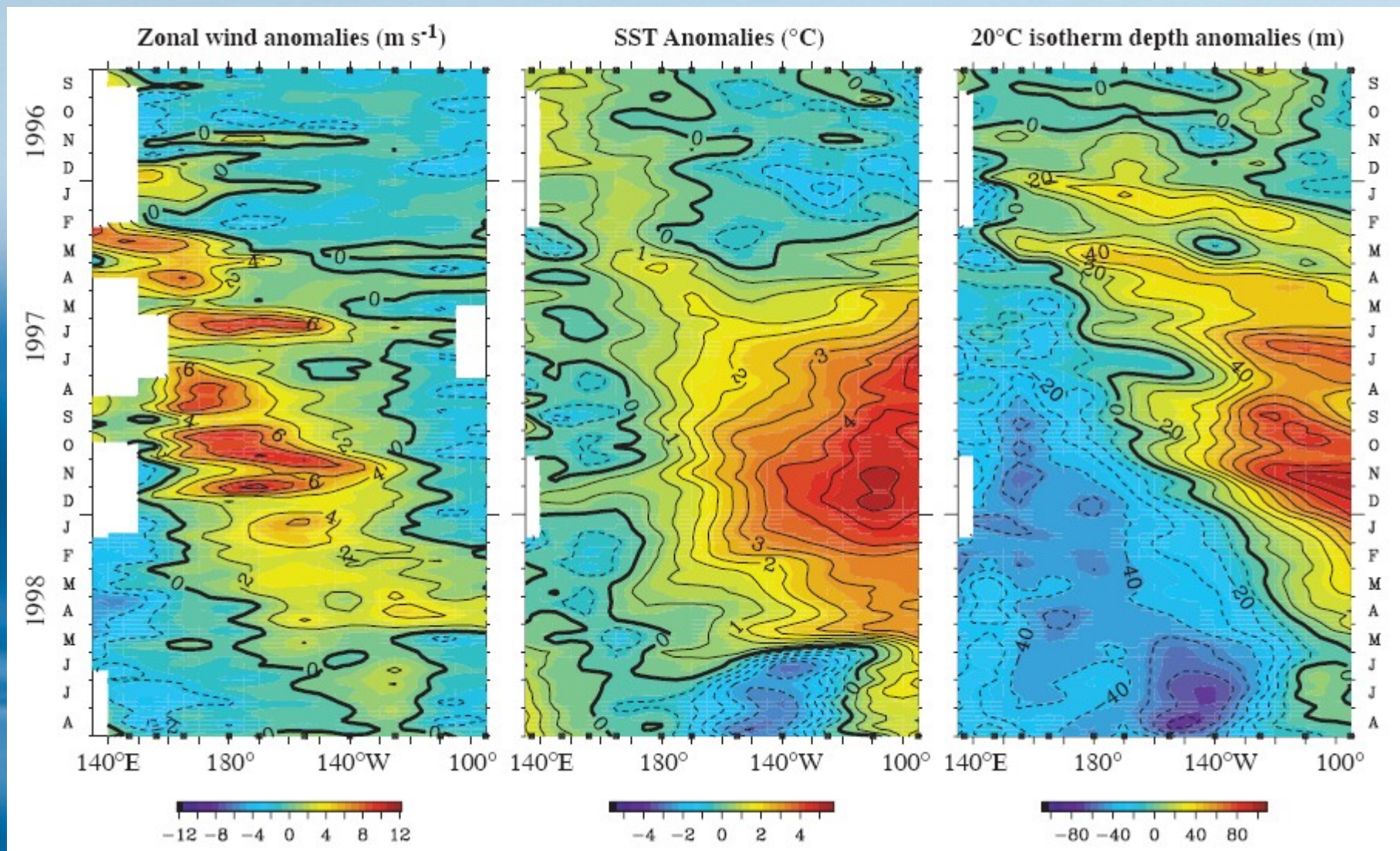
Początki El Niño: 11.1996 - 10.1997



Odchylenia od wieloletniej średniej miesięcznej SST Pacyfiku podczas rozwoju El Niño 1997/1998.

Webster & Palmer 1997 (Nature)

Rozwój El Niño: jeszcze inny obraz



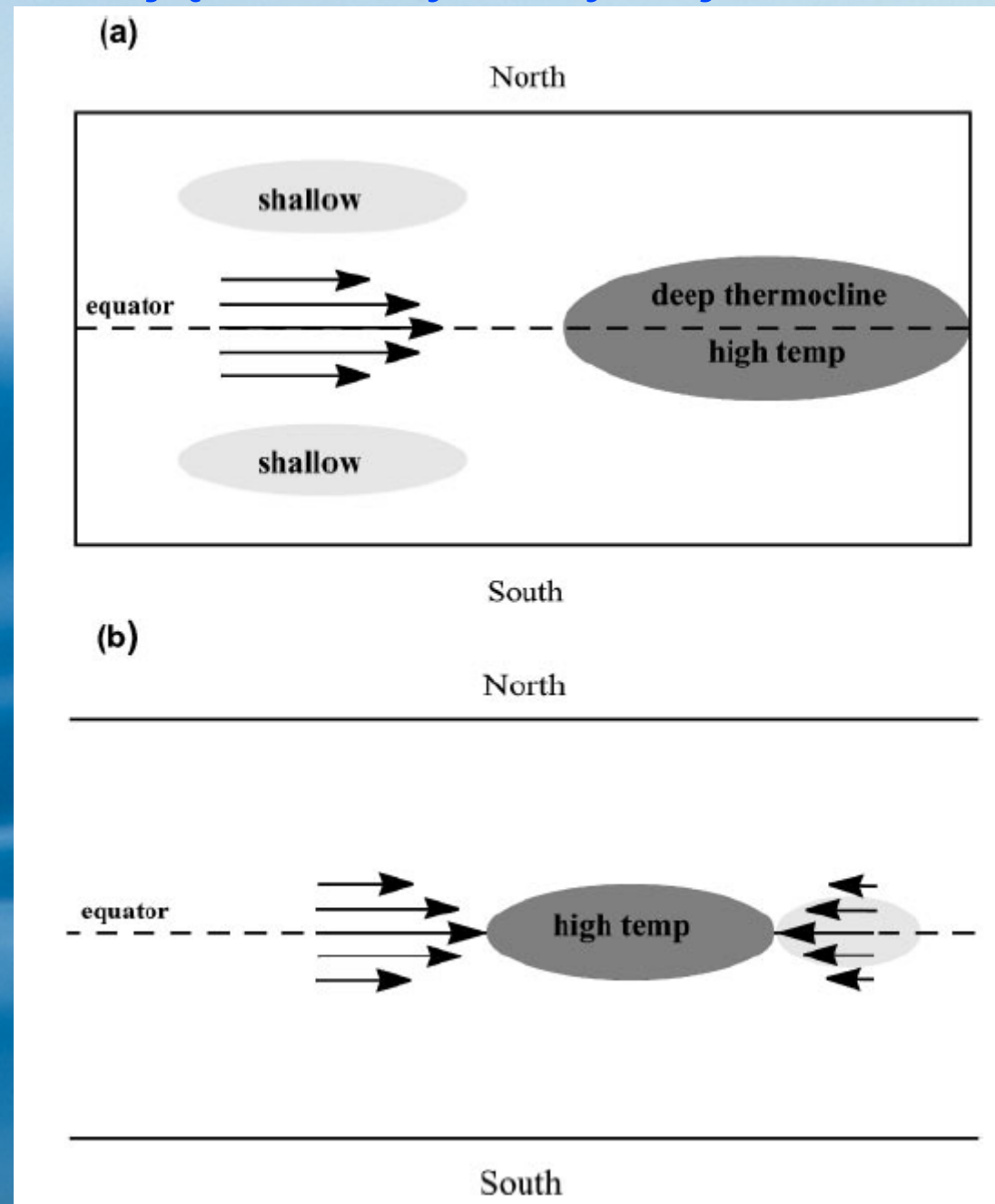
Ewolucja w czasie anomalii wiatrów (czerwone to bardziej zachodnie), temperatury powierzchni morza i głębokości izotermi 20° C (czerwona to bardziej głęboka).

Teoria ENSO: dwa dominujące mody oscylacji

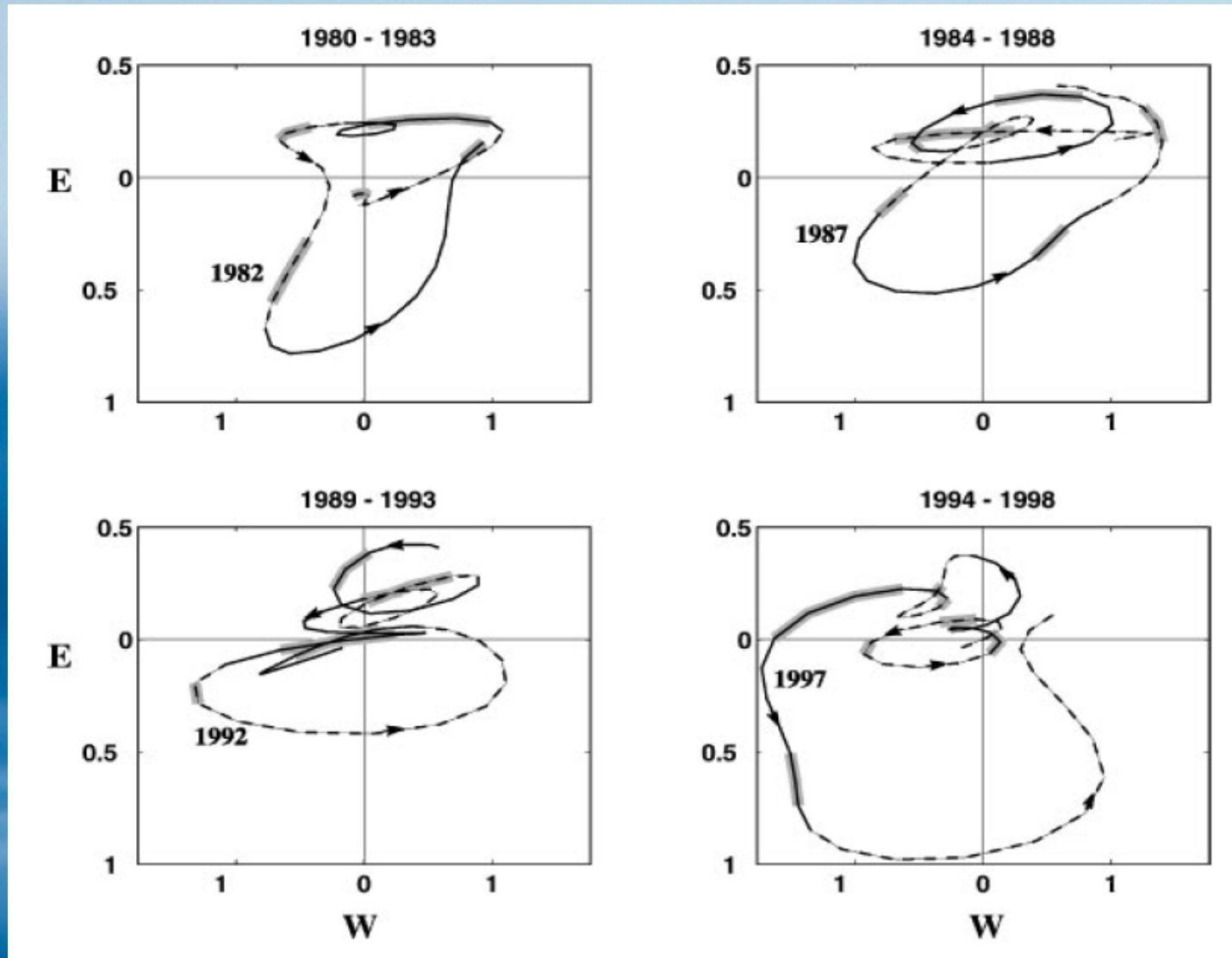
Dwa wyidealizowane mody El Niño:

- (a) “opóźniony oscylator”: zmiany głębokości termokliny na wschodzie związane z siłą i kierunkiem wiatrów na zachodzie.
- (b) “mod lokalny”: przesuwanie się gorącego obszaru Pacyfiku pod wpływem niesymetrycznej adwekcji wód powierzchniowych (nie występują w nim zmiany głębokości termokliny)

Oba mody występują jednocześnie, lecz nie muszą być jednakowo silne. Uważa się, że przed rokiem 1980 dominował mod (b) a obecnie przeważa mod (a).



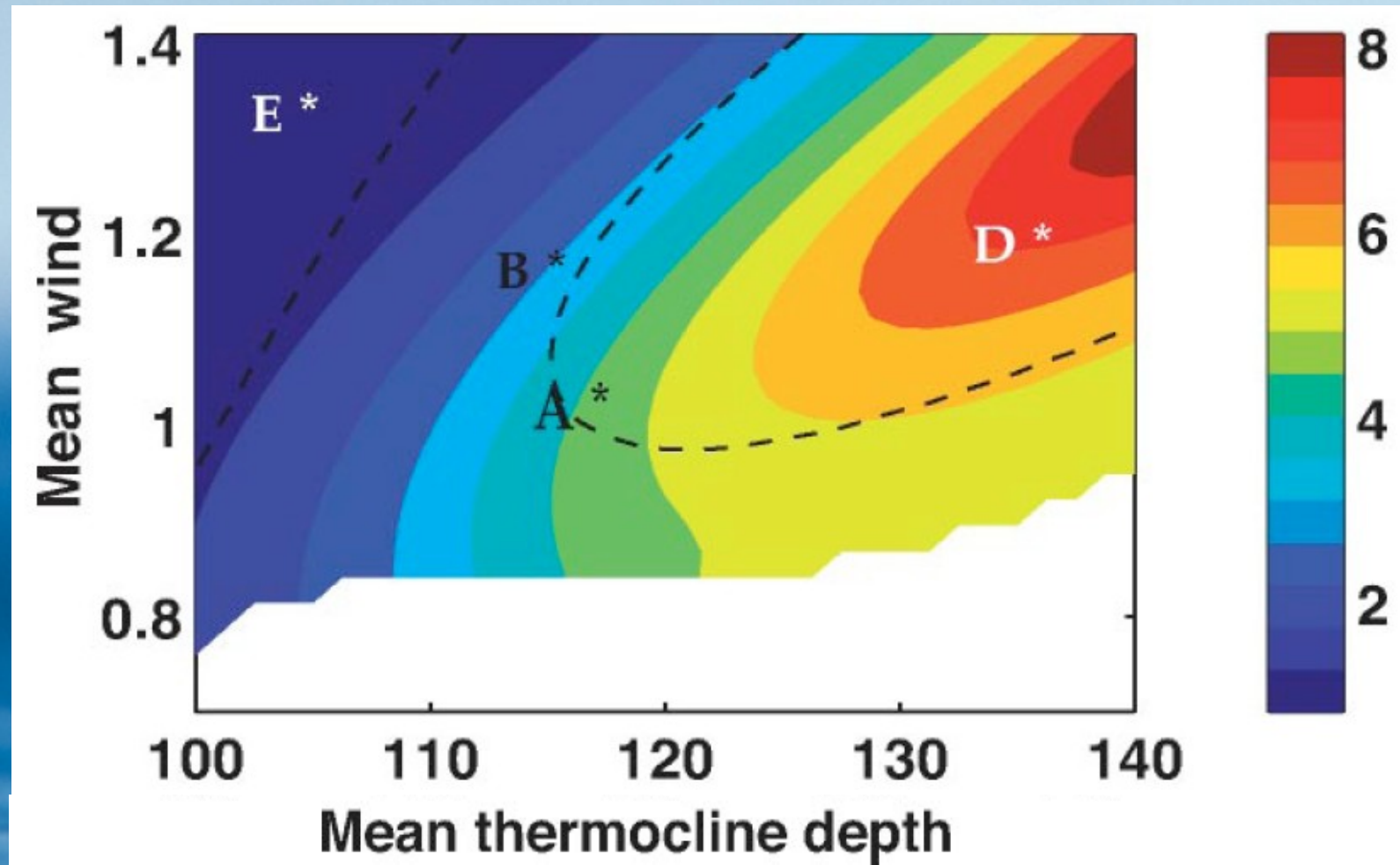
Dowód na cykliczność ENSO



Trajektoria w czasie energii potencjalnej związanej z przechyleniem termokliny (E) i mocy przekazywanej oceanowi przez wiatr (W) wskazuje na cykliczność zjawiska (ruch odwrotny do wskazówek zegara). Odcinki “poszarzone” to okresy zachodnich wiatrów. Górna część rysunku to La Niña a dolna El Niño.

Philander & Fedorov 2003 (Annu. Rev. Earth Planet. Sci.)

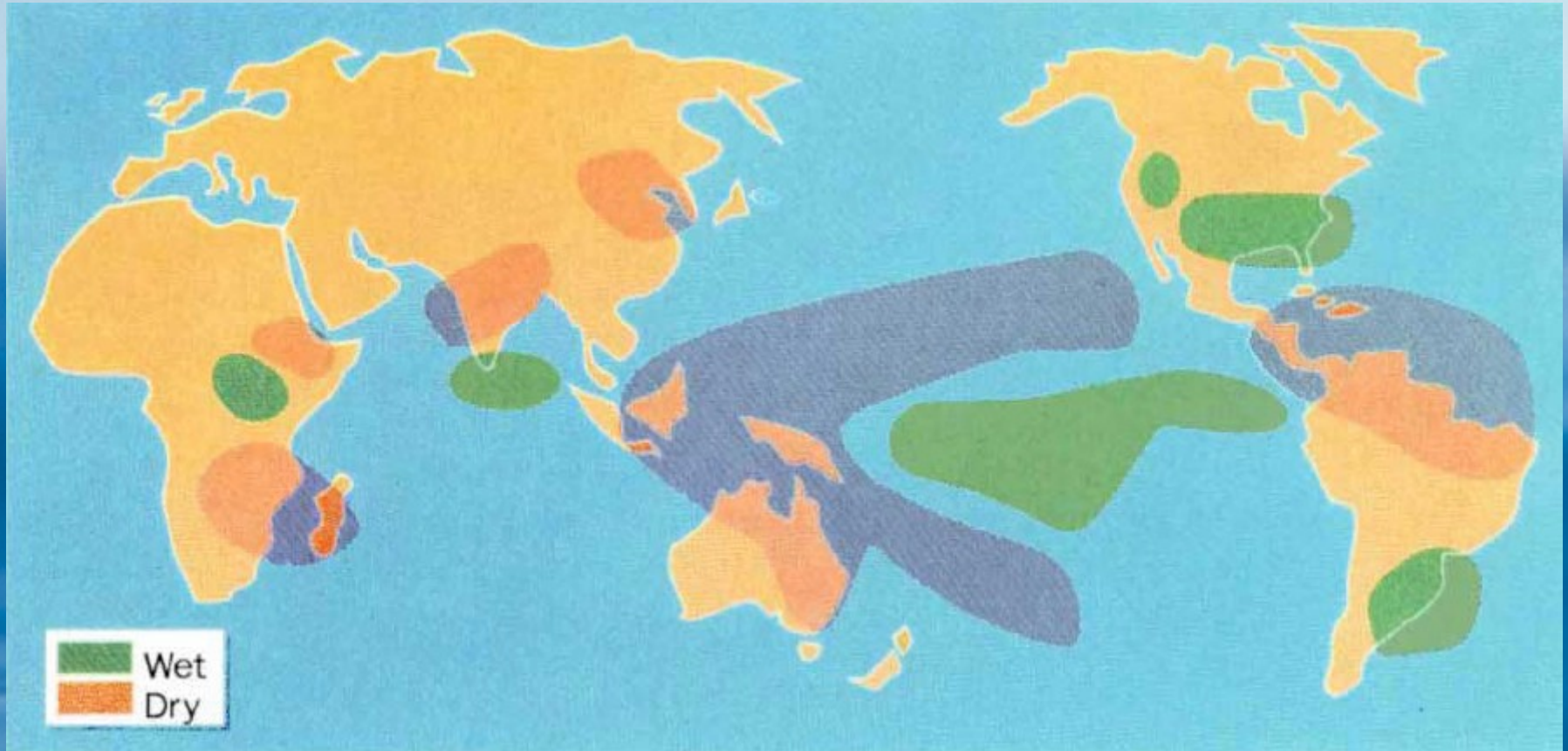
Teoria ENSO: wyniki modelowania



Okres dominującej oscylacji ENSO w funkcji prędkości średnich wiatrów (właściwie jej kwadratu) i głębokości termokliny na Wschodnim Pacyfiku. Przerywana linia oznacza neutralną stabilność. Okolice punktu D to obszar opóźnionego oscylatora, a E modu lokalnego. Około roku 1980 stan ENSO przeszedł z punktu B do A pod wpływem ogrzania wód powierzchniowych co zmieniło średni okres ENSO z 3 do 5 lat.

Philander & Fedorov 2003 (Annu. Rev. Earth Planet. Sci.)

Światowy zasięg efektów El Niño (stary i prosty obraz)

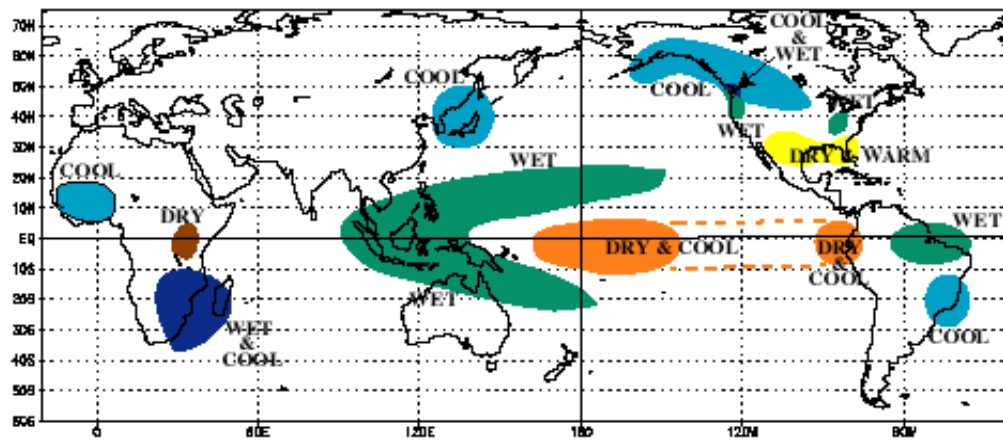


Faza El Niño powoduje zauważalne zmiany w opadach na dużej części kuli ziemskiej: susze w Indonezji, Australii, Ameryce Środkowej (stąd mniej huraganów w latach El Niño) i Afryce Wschodniej i Indiach (słaby monsun) oraz zwiększone opady np. w części Stanów Zjednoczonych i w Argentynie.

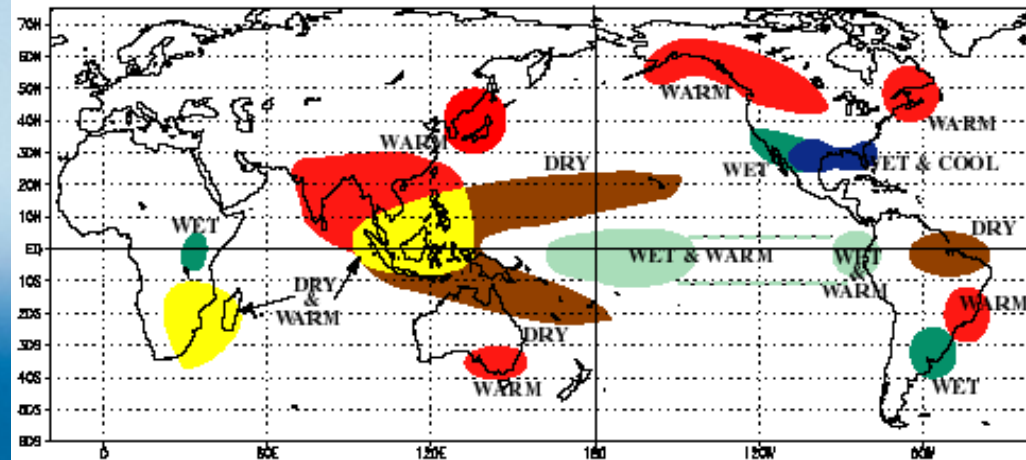
Rosenzweig 1994 (Nature) after Nicholls 1993

Bardziej współczesny obraz wpływu ENSO na klimat

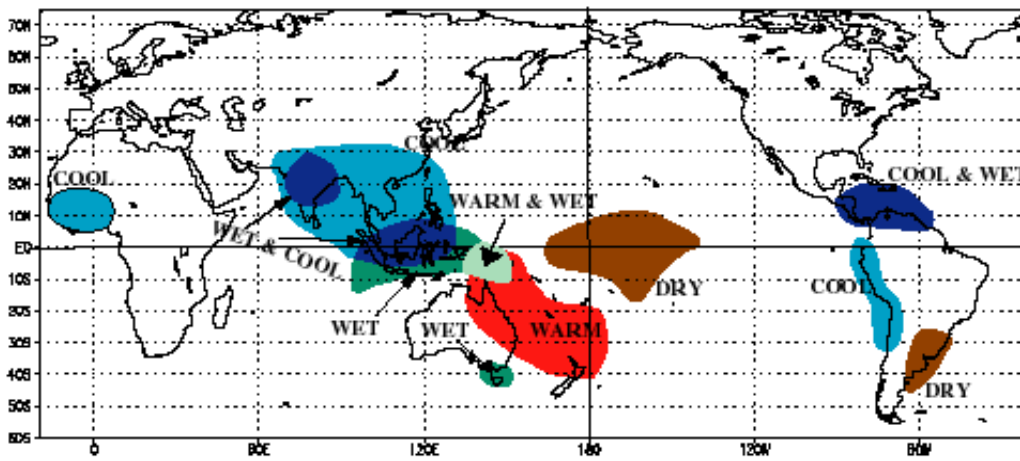
COLD EPISODE RELATIONSHIPS DECEMBER - FEBRUARY



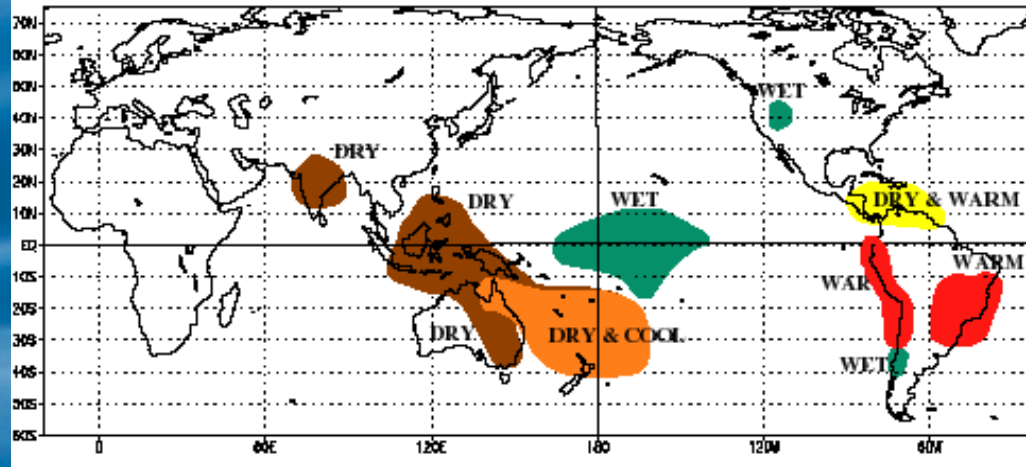
WARM EPISODE RELATIONSHIPS DECEMBER - FEBRUARY



COLD EPISODE RELATIONSHIPS JUNE - AUGUST

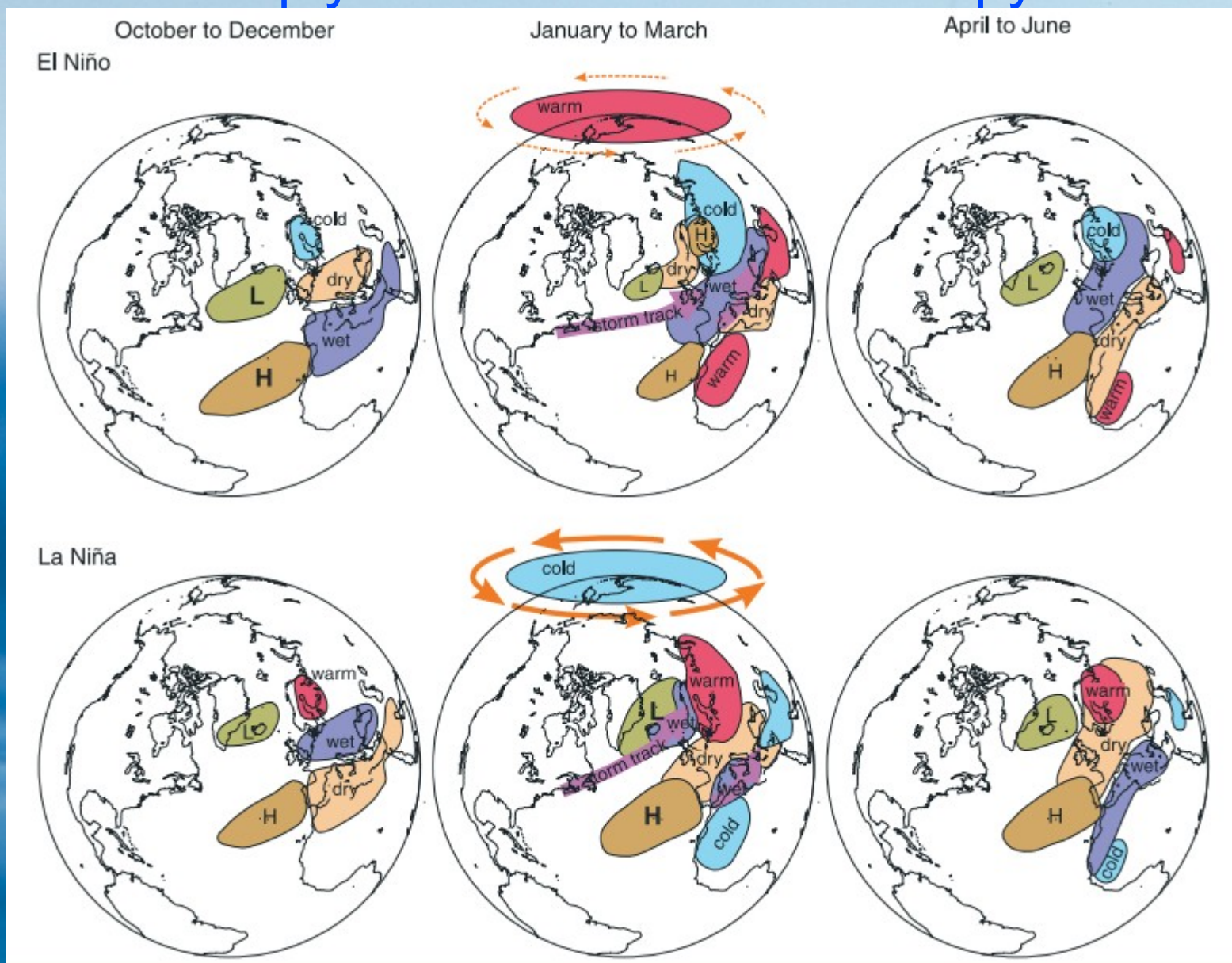


WARM EPISODE RELATIONSHIPS JUNE - AUGUST



Wpływ zimnej (La Niña) oraz ciepłej (El Niño) fazy ENSO na klimat zimą *DJF* (na górze) i latem *JJA* (na dole). W tym obrazie aktualnym do 2009 r. Nie wykrywano jeszcze wpływu ENSO na klimat Europy.

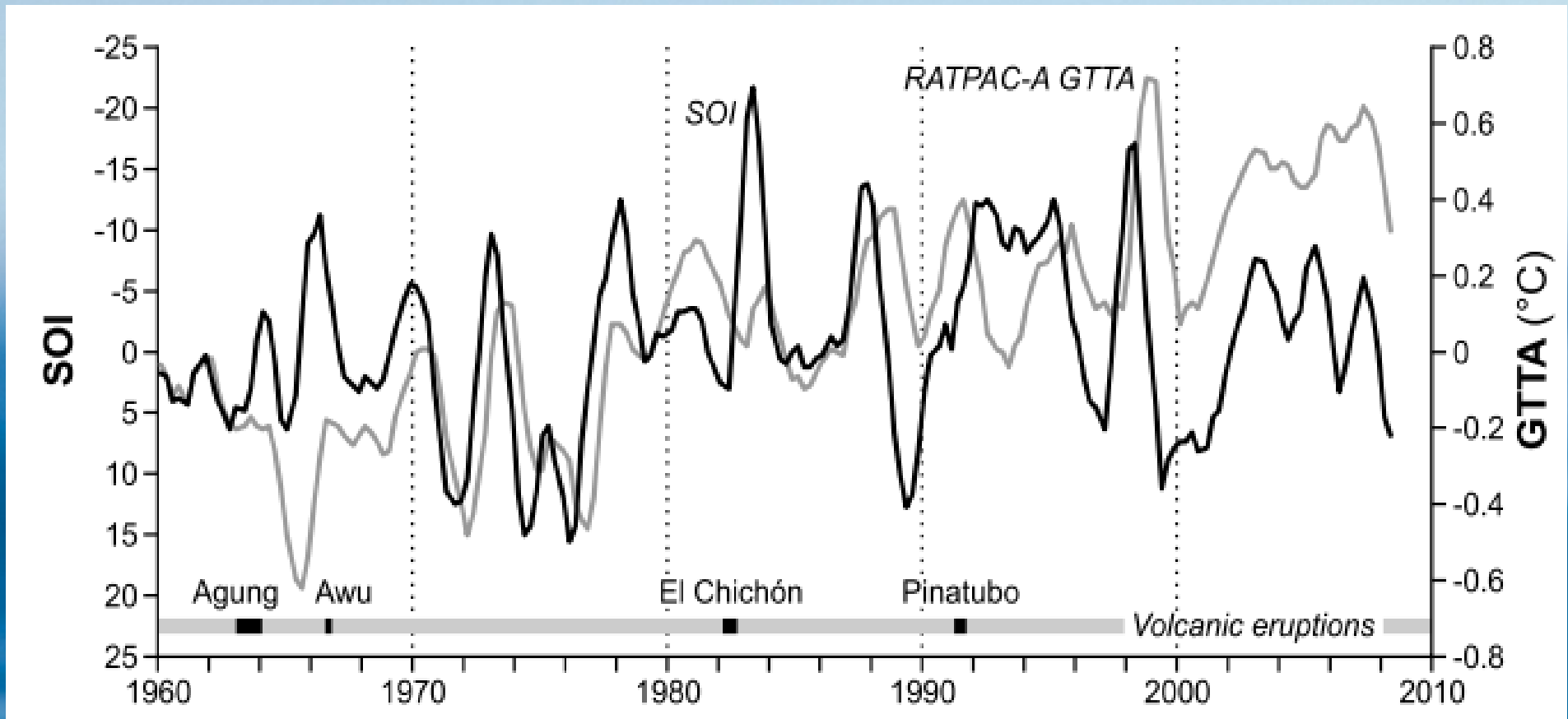
Wpływ ENSO na klimat Europy



Wpływ cieplej (El Niño) oraz zimnej (La Niña) fazy ENSO na klimat Europy od października do czerwca. Zwracają uwagę zmiany NAO pomiędzy styczniem a marcem.

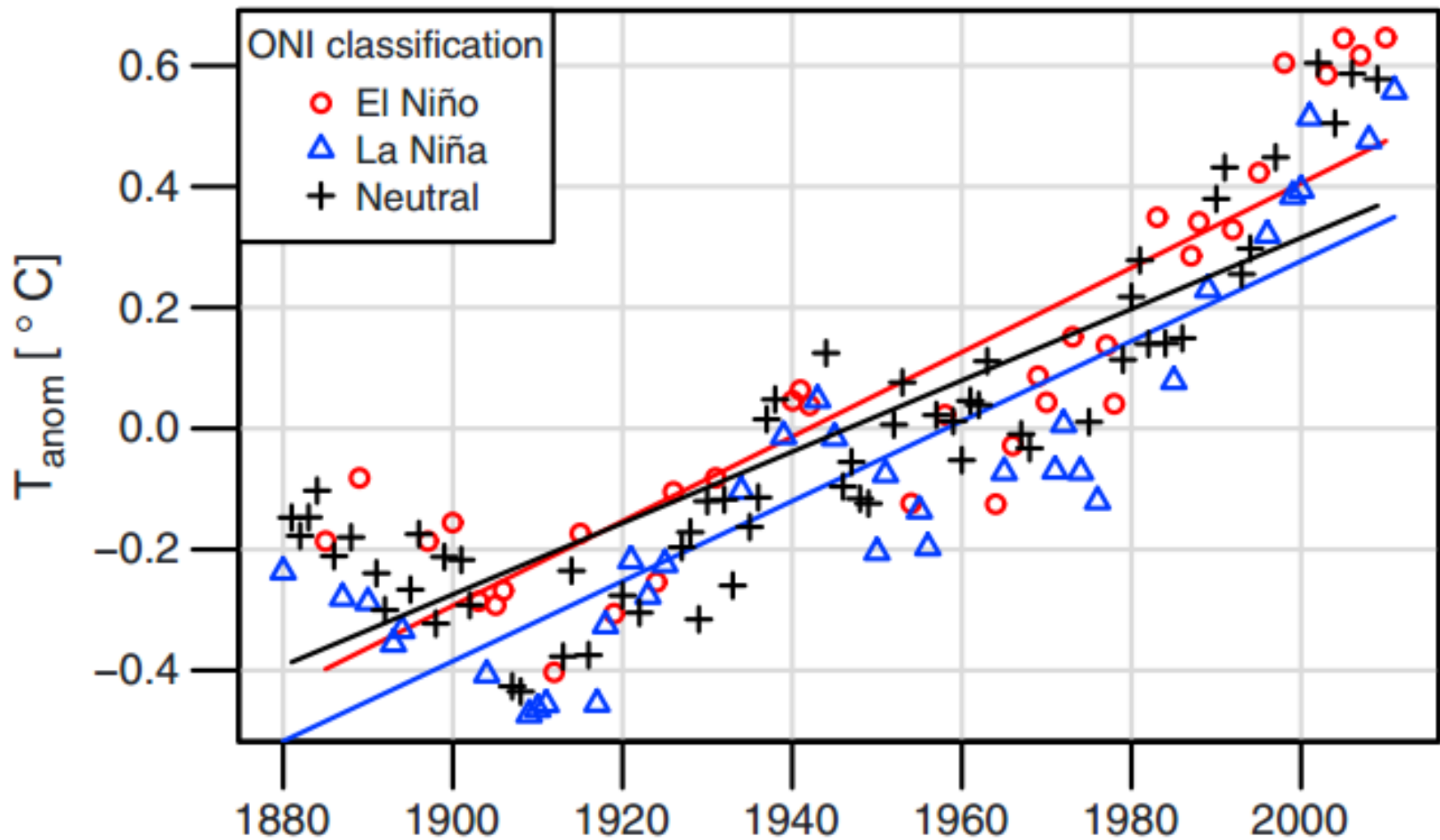
Bronnimann 2007 (Reviews of Geophysics)

Wpływ ENSO na klimat globalny



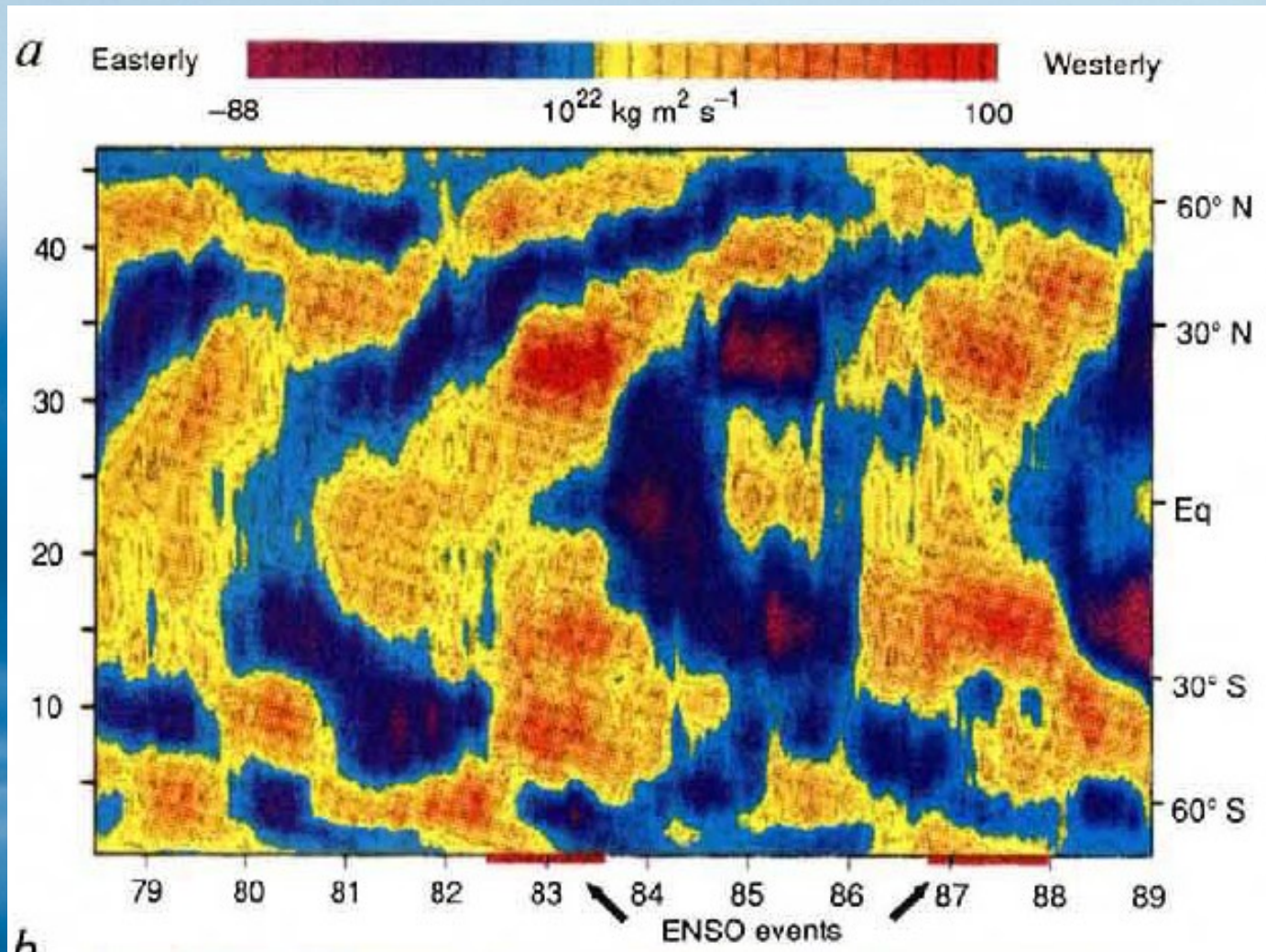
Wpływ cyklu ENSO (tu reprezentowanego przez indeks SOI) na temperaturę globalną (Global Tropospheric Temperature Anomaly) dochodzi do ponad 0.5 stopnia. Na rysunku zaznaczono też większe wybuchy wulkanów. Zwraca uwagę występowanie El Nino po tropikalnych wybuchach wulkanów i nałożony na cykl El Nino stały wzrost temperatury (tzw. globalne ocieplenie).

Wpływ ENSO na klimat globalny



Anomalie średnich rocznych temperatur globalnych (seria GISS) podzielonych na lata El Nino, La Nini i neutralne (pokazano także trendy dla każdej z tych kategorii)

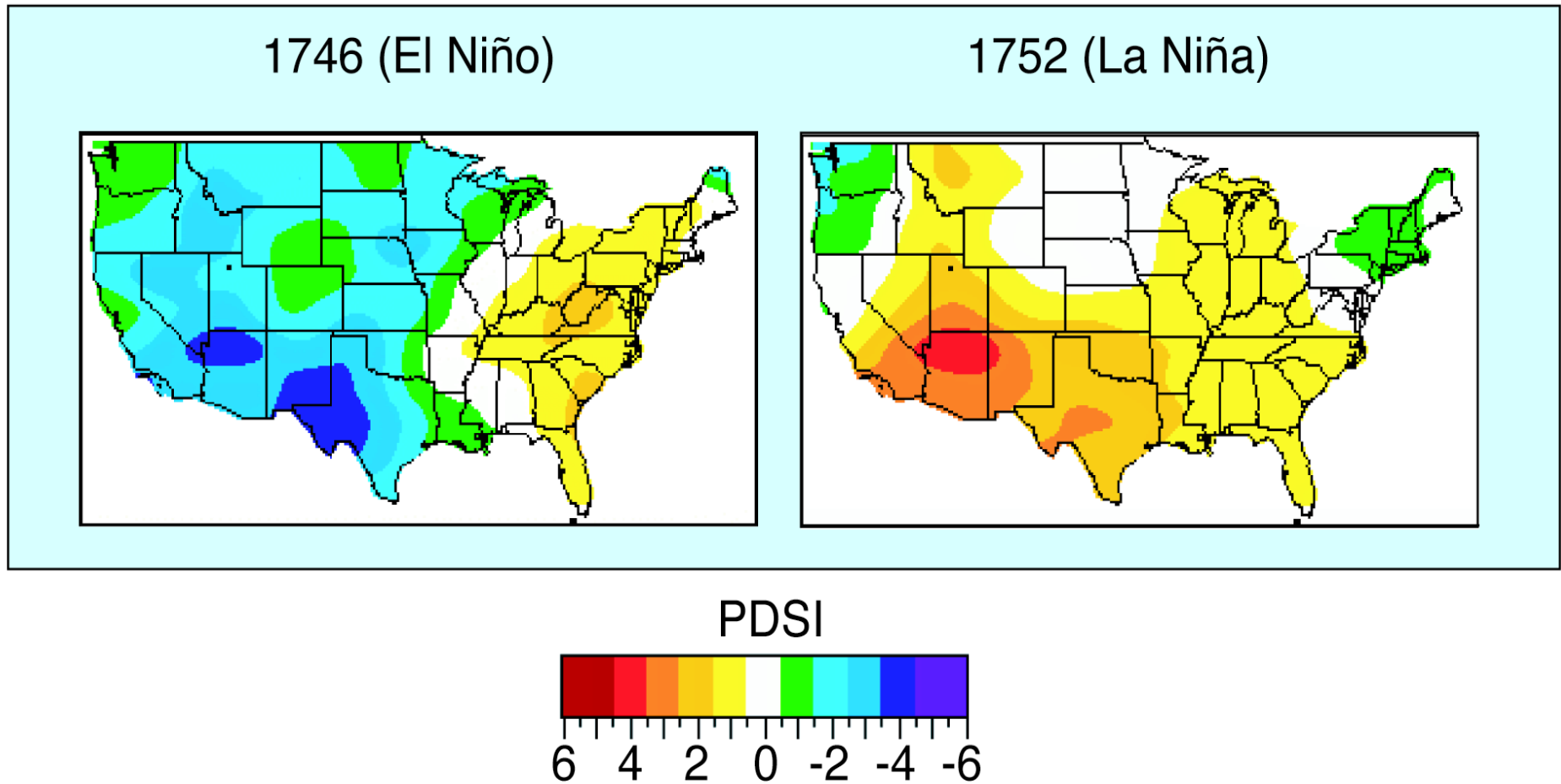
Mechanizm rozprzestrzeniania się efektów klimatycznych ENSO: cyrkulacja atmosferyczna



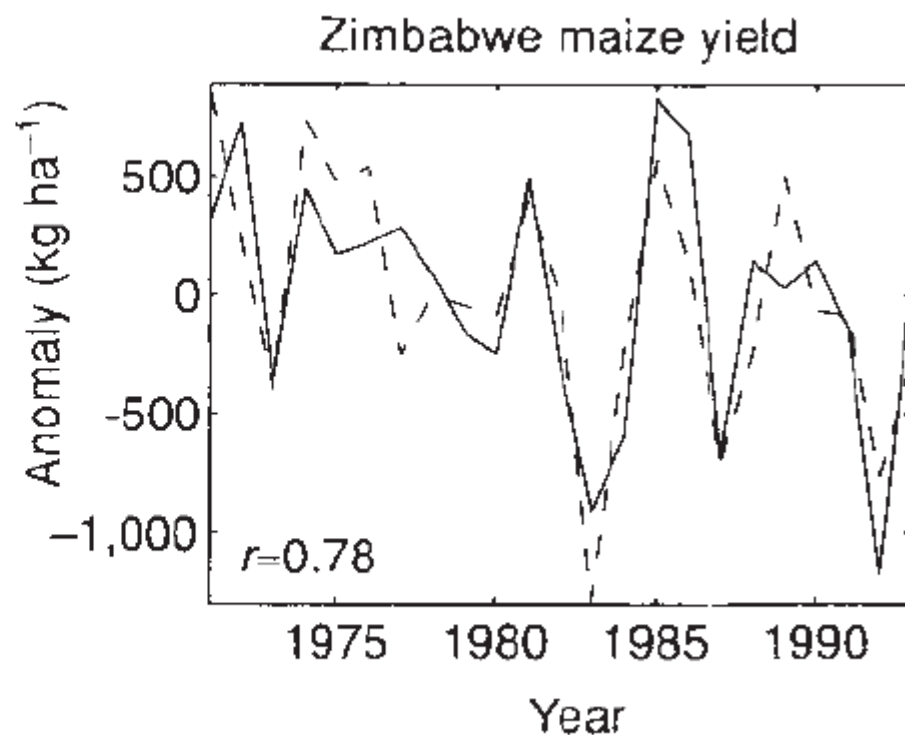
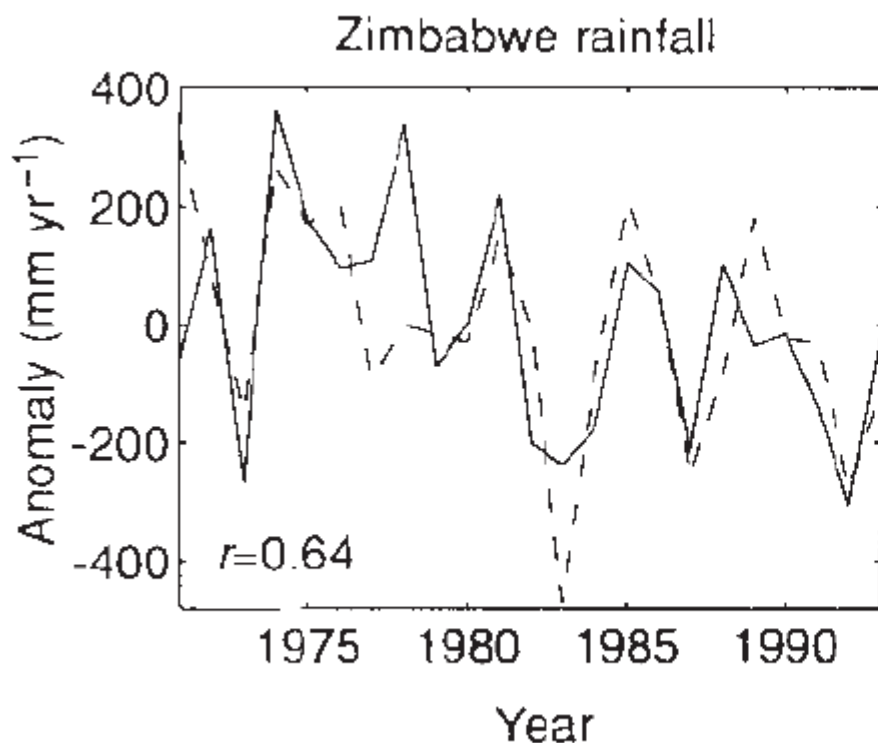
Zmiany cyrkulacji atmosferycznej w funkcji czasu i szerokości geograficznej. Widać rozchodzenie się momentu pędu zachodnich wiatrów (czerwone) w kierunku biegunów po każdym El Niño.

Dickey, Marcus & Hide 1992 (Nature)

Summer Palmer Drought Severity Index (PDSI) Reconstructed from a Continental Network of Drought-Sensitive Tree Ring Records

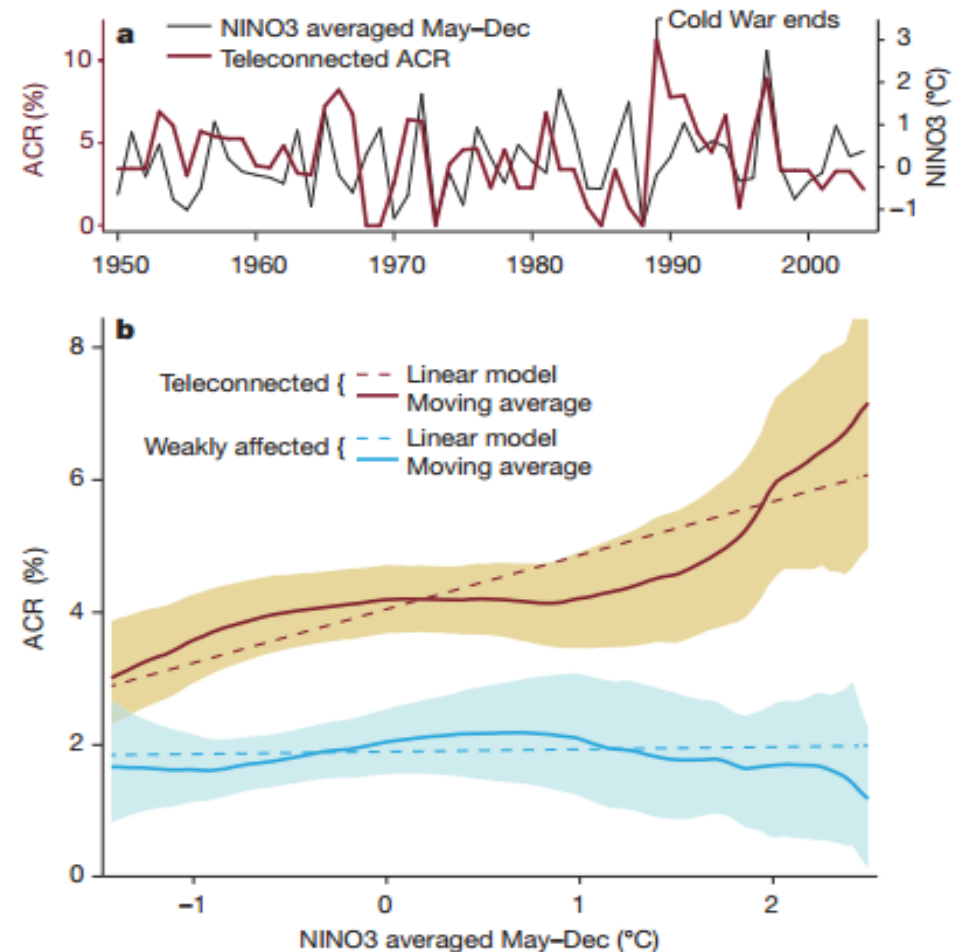
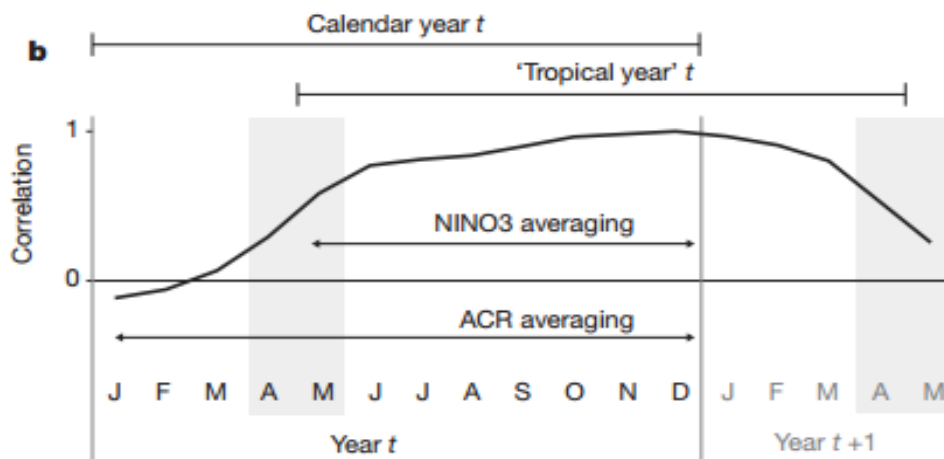
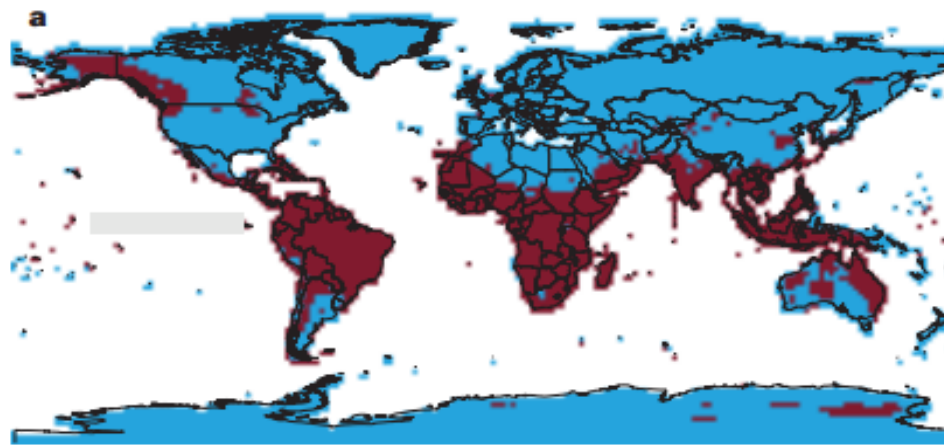


Wpływ El Niño na opady i zbiory kukurydzy z Zimbabwe



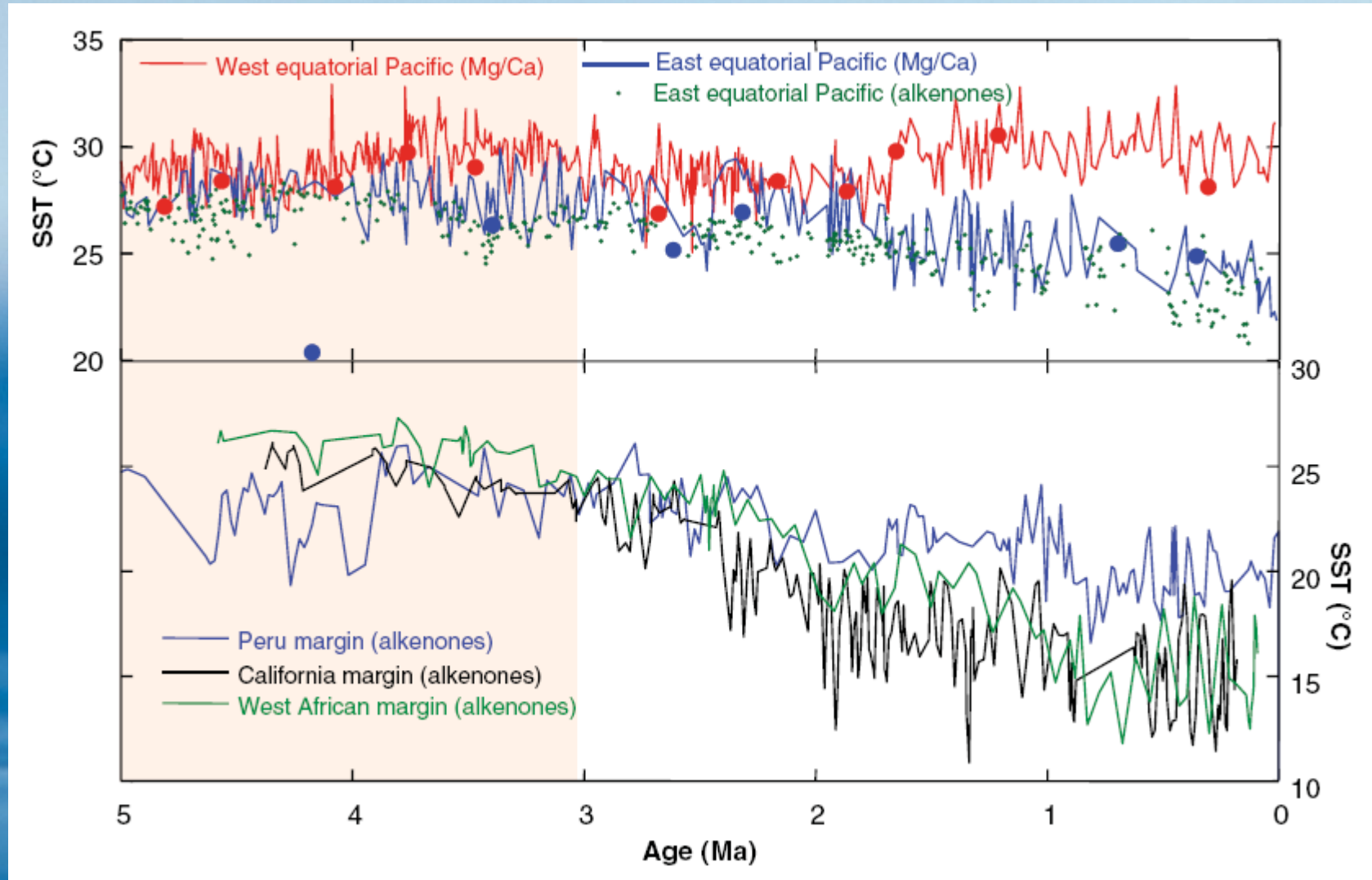
Indeks ENSO-3 (linie przerywane) jest silnie skorelowany z opadami i planami kukurydzy w Zimbabwe. Co ciekawe korelacja ze zbiorami jest nawet wyższa (co świadczy prawdopodobnie o wpływie ENSO również na temperaturę w Zimbabwe).

Wpływ El Niño na częstotliwość wojen?



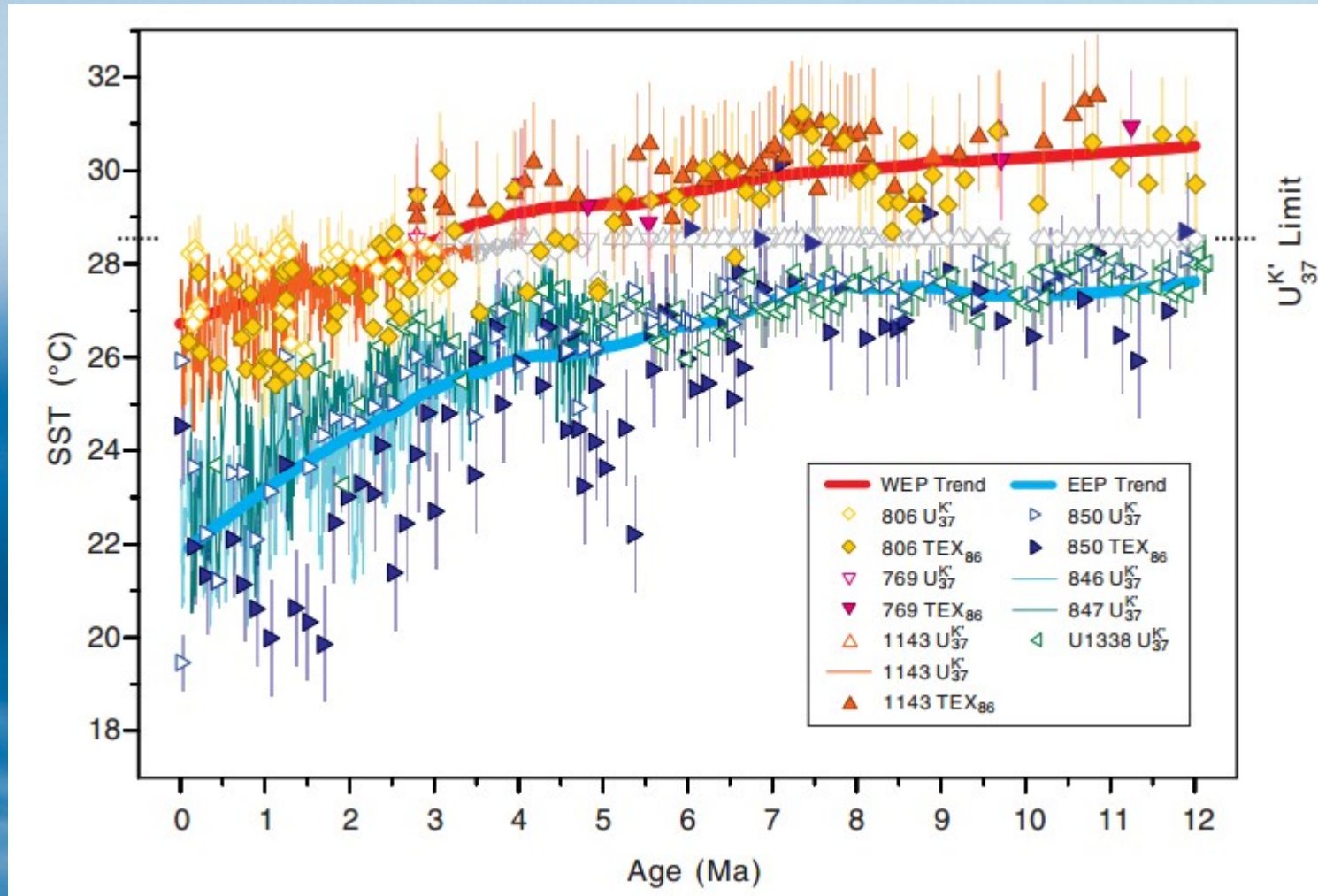
Liczna rozpoczynanych wojen (ARC) jest większa przy dodatnim NINO3 (czyli El Nino) w krajach będących pod wpływem zmienności ENSO (brązowe). Autorzy używają “lat ENSO” zaczynających się w maju, gdyż wtedy zaczynają się nowe El Nino.

ENSO w Pliocenie: nieustające El Niño?



Zrekonstruowana temperatura **Zachodniego** i **Wschodniego** Pacyfiku (na górze) oraz wód zdominowanych obecnie przez upwelling (na dole) świadczy, że przed nastaniem Plejstocenu (epoki lodowej) termoklina była zbyt głęboko aby mogła występować faza zimna ENSO.

ENSO w Pliocenie: ~~nieustające El Niño?~~ Nie!



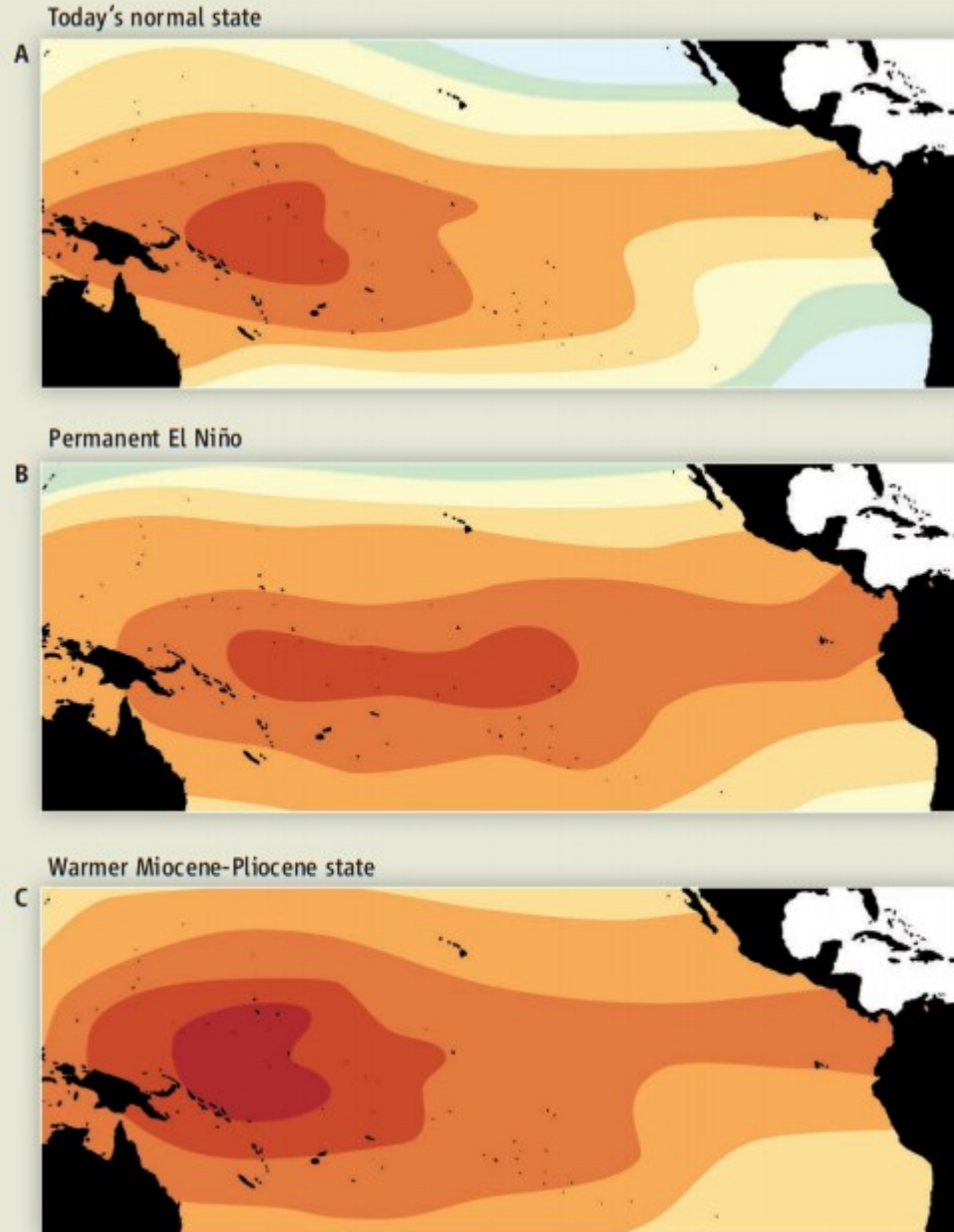
Zrekonstruowana temperatura **Zachodniego** i **Wschodniego** Pacyfiku (na górze) oraz wód zdominowanych obecnie przez upwelling (na dole) świadczy, że w Plejstocenu różnica temperatur między zachodnim a wschodnim tropikalnym Pacyfikiem była niewiele mniejsza niż współcześnie.

Zhang, Pagani & Liou 2014 (Science)

Not So Permanent El Niño

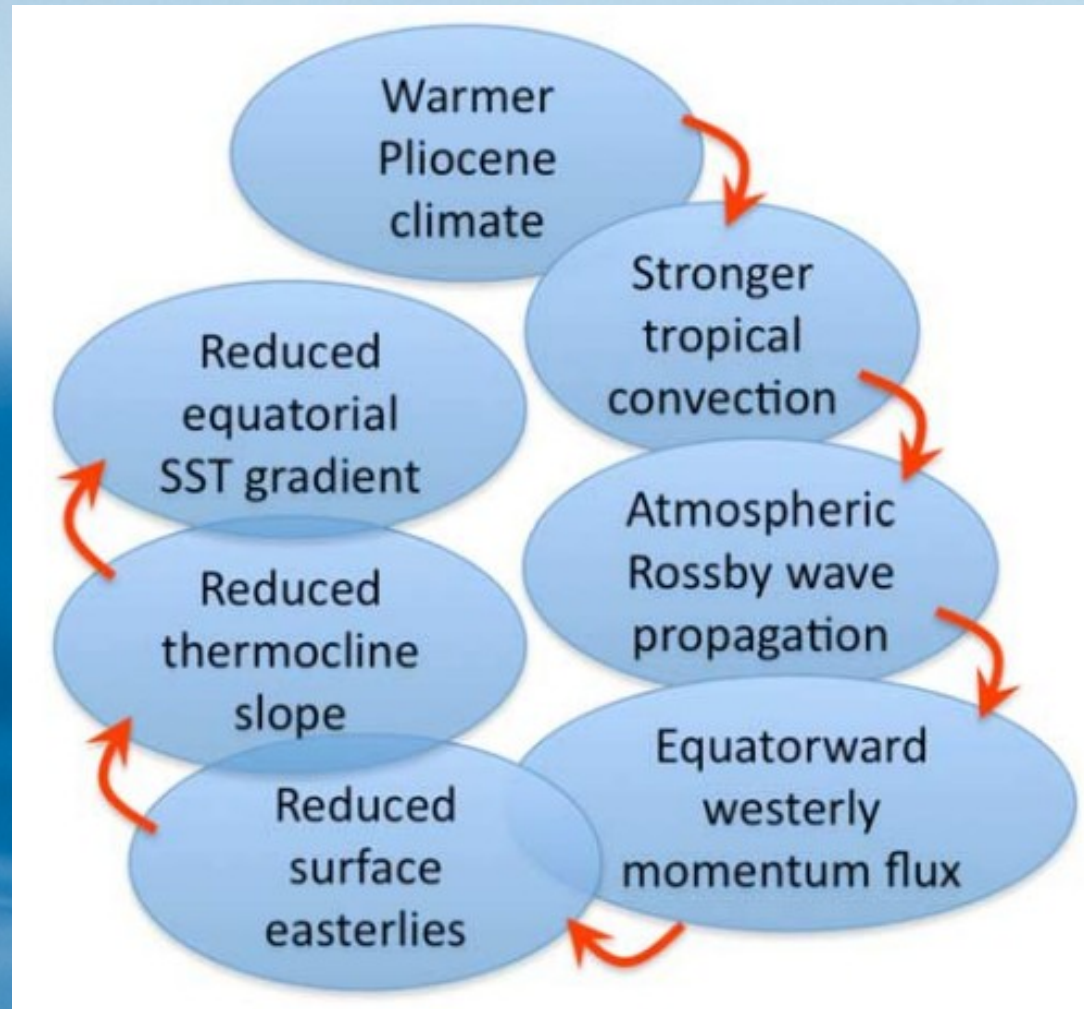
David W. Lea

Paleoclimate data point to a warm tropical ocean with a clear east-west temperature gradient during the warm climates of the Pliocene and Miocene.



Różnica między dzisiejszym normalnym stanem Pacyfiku (na górze), hipotetycznym permanentnym El Niño w pliocenie oraz wynikającym z paleodanych stanem cieplejszego tropikalnego Pacyfiku w miocenie i pliocenie.

Możliwy mechanizm nieustającego El Nino w Pliocenie



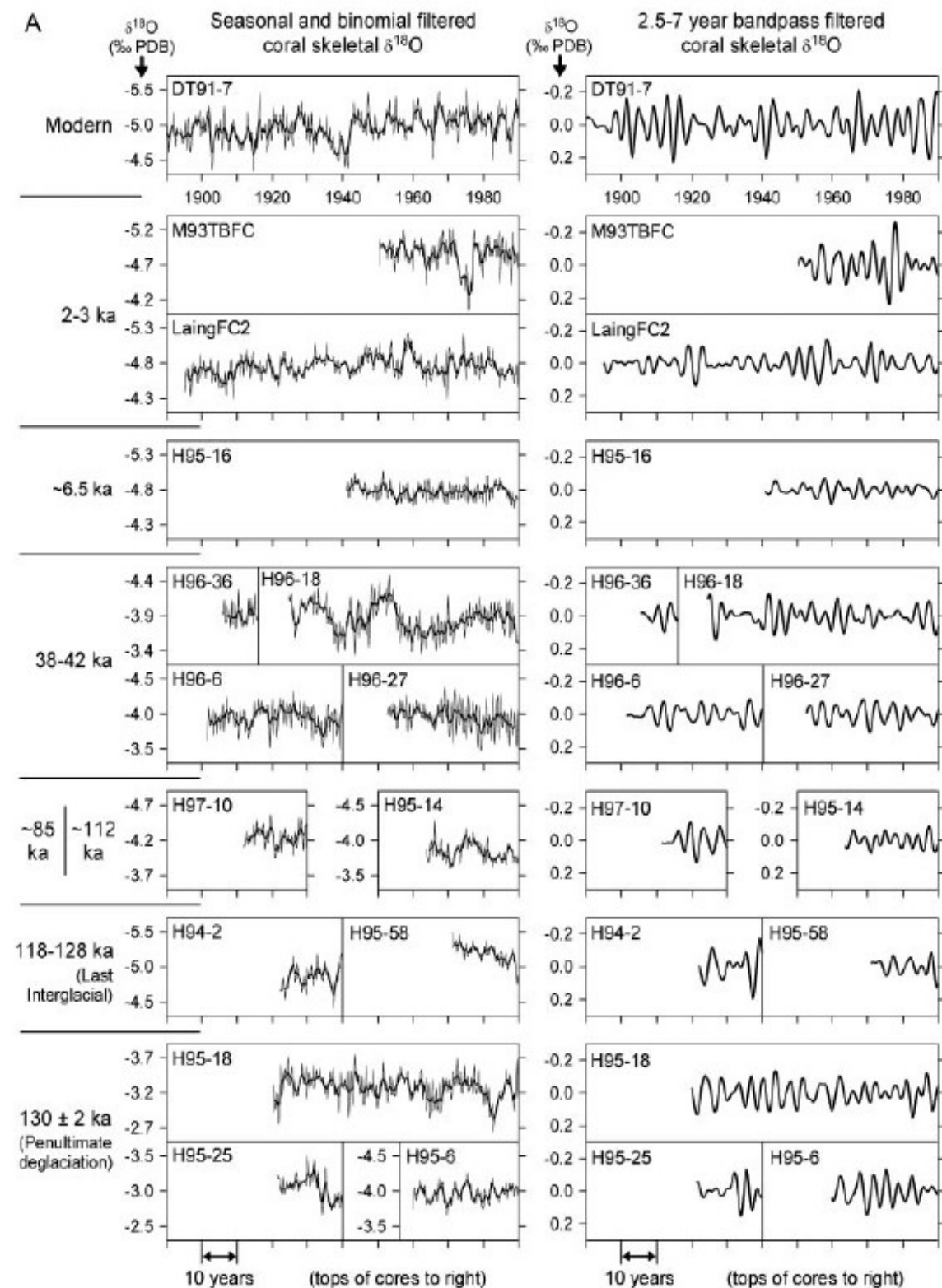
Możliwy mechanizm nieustającego El Nino w pliocenie. Ale czy musi to być takie skomplikowane? Czy nie ma prostszego mechanizmu?

ENSO w epoce lodowej

Zmienność sezonowa (po lewej) i wartości przefiltrowane filtrem przepuszczającym okres 2.5-7 lat dla koralu współczesnych (na górze) i kopalnych (w dół coraz starsze).

Widoczne jest, że ENSO występowało również w epoce lodowej. Wyjątkowo słabe było jedynie w maksimum klimatycznym holocenu (8-6ka).

Tudhope et al. 2001 (Science)



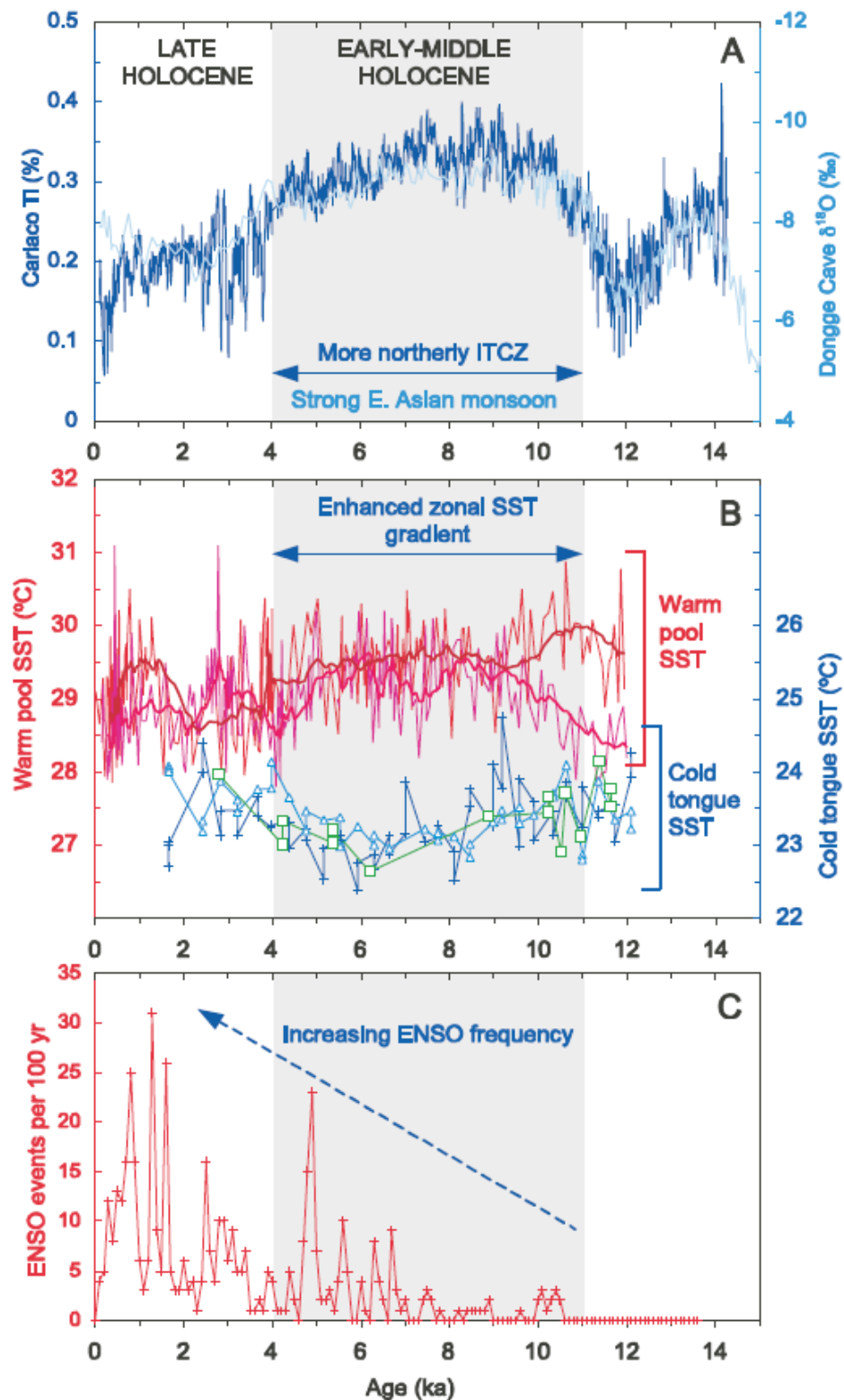
ENSO w holocenie

Pozycja ITCZ (na podstawie siły monsunu), temperatury **Zachodniego** i **Wschodniego** Pacyfiku oraz częstotliwość zjawisk ENSO w ciągu ostatnich 14ka.

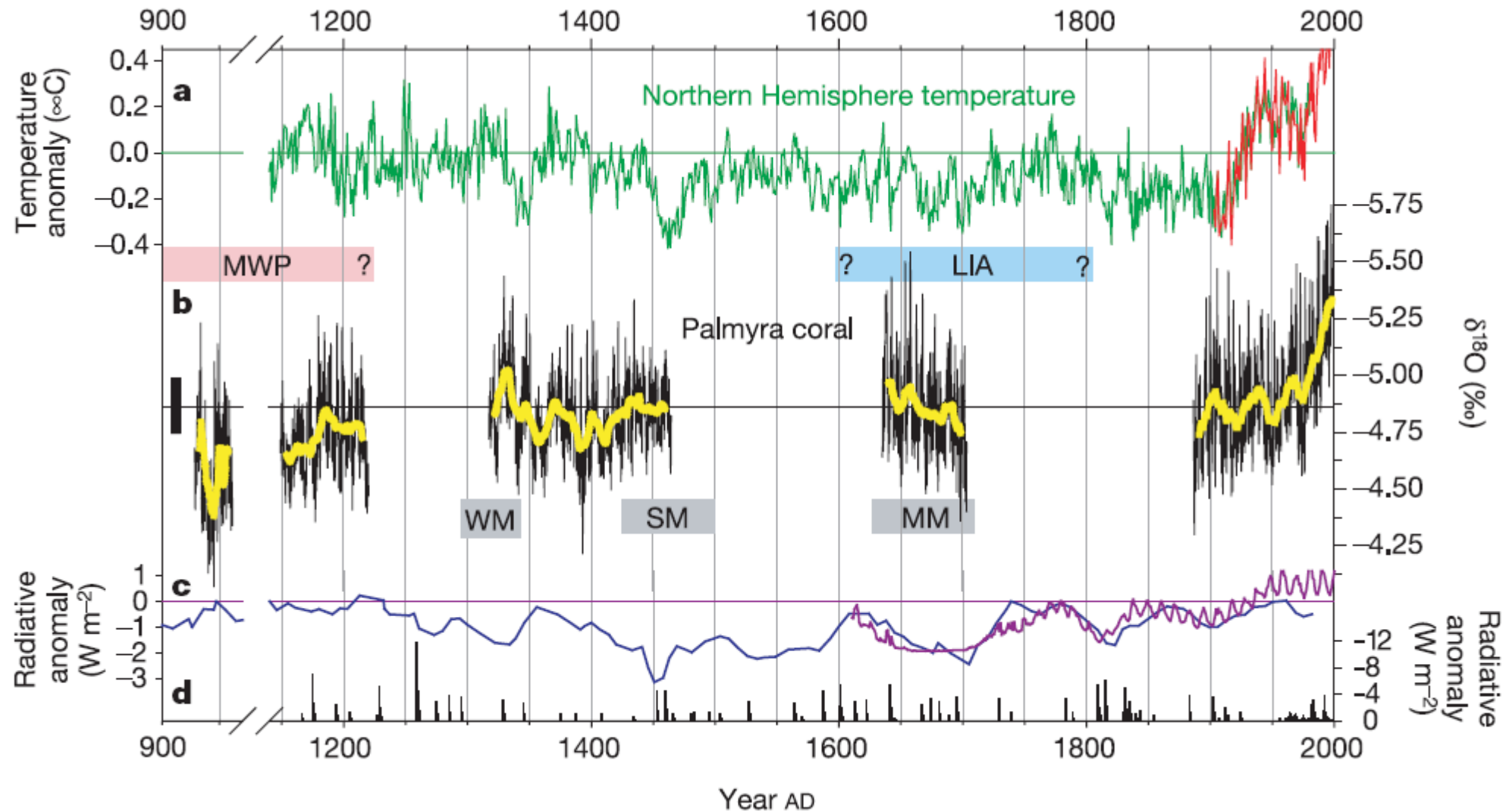
Widoczne jest minimum aktywności ENSO w okresie optimum klimatycznego holocenu.

Uwaga: Niska aktywność w epoce lodowej nie jest zgodna z przedstawionymi wynikami Tudhope et al 2001. Autorzy mimo przedstawienia jej na rysunku w artykule nie wyciągają wniosków co do epoki lodowej

Koutavas et al. 2006 (Geology)



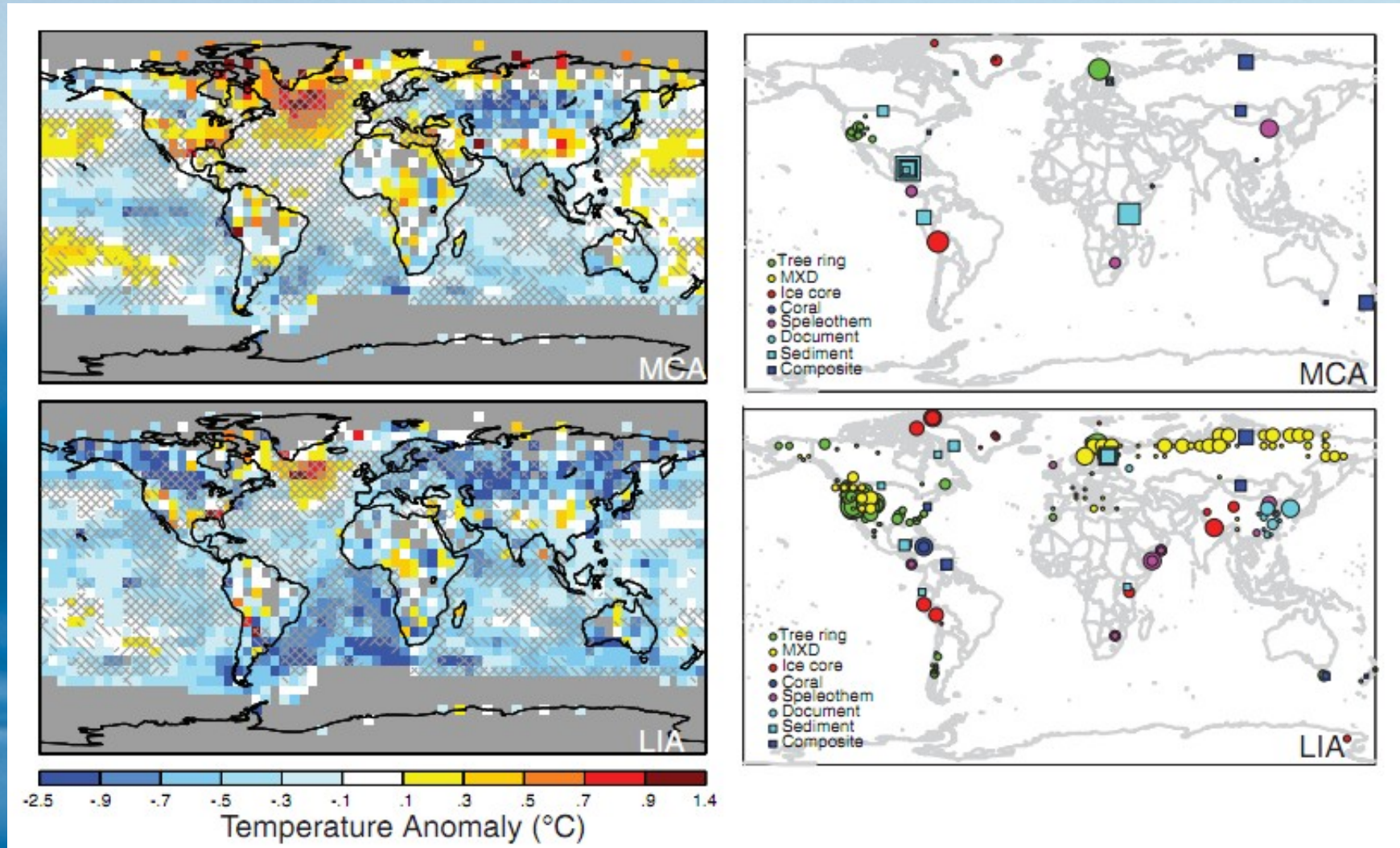
ENSO w ostatnim tysiącleciu



Zmienność sezonowa temperatur ($\delta^{18}\text{O}$) koralu kopalnych z Palmyry wskazuje na występowanie ENSO praktycznie niezależnie od zmienności temperatury i oświetlenia.

Cobb et al. 2003 (Nature)

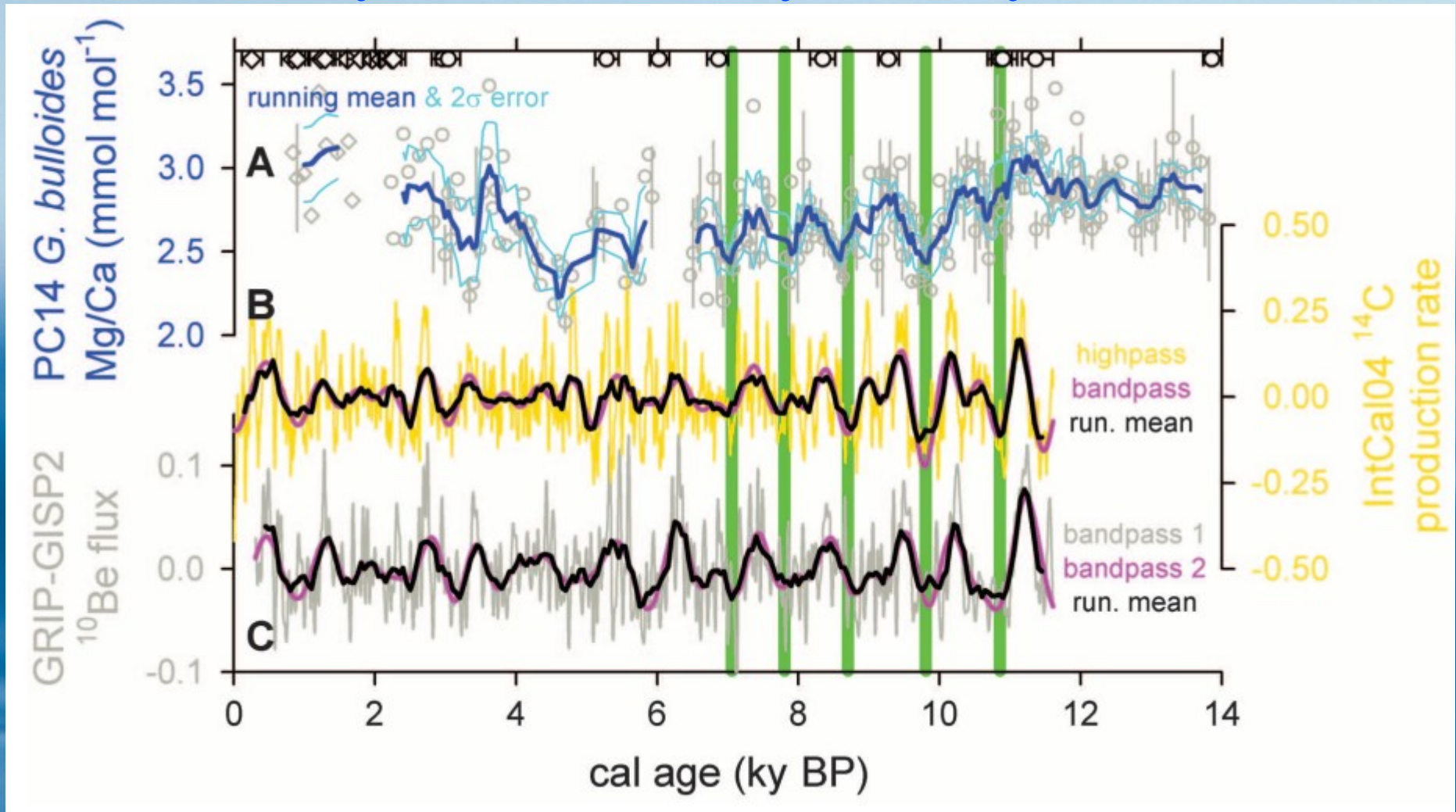
Przypomnienie: anomalia średniowieczna i mała epoka lodowa



Na podstawie istniejących proxy (po prawej) Mann i inni 2009 odważyli się zrekonstruować globalnie MCA (na górze) i LIA (na dole). Rekonstrukcja wskazuje na silny element zmian THC oraz na zimny wschodni tropikalny Pacyfik (permanentna La Niña) w średniowieczu oraz na ogólne oziębienie (szczególnie kontynentów) w XVII-XIX wieku.

Mann et al 2009 (Science)

Związek ENSO z aktywnością Słońca



Wykres pokazuje związek stosunku koncentracji Mg/Ca w skorupkach otwornic (proxy temperatury wody morskiej) koło Baja California (o zmienności zdominowanej współcześnie przez ENSO) z ¹⁴C ze słoń drzew i ¹⁰Ba z rdzeni lodowych Grenlandii (oba proxy aktywności słońca – o odwróconym znaku!). Zatem większej aktywności słońca odpowiada zimniejsze ENSO (przewaga La Ninii nad El Ninio). *Marchitto et al 2010 (Science)*

Temperature hemisphere (N-S) difference and ENSO

Period	ENSO	Source
Pliocene	Permanent La Niña Zhang Pagani Liu 2014	Fedorov et al. 2006
Glacial periods	Zonal SST gradient slightly stronger than present	Tudhope et al. 2001
Holocene climate optimum	Few El Niños	Koutavas et al. 2006
Medieval Climate Anomaly	<u>Permanent La Niña</u>	Mann et al. 2009
Little Ice Age	Pacific's zonal SST gradient smaller during the LIA	Cobb et al. 2003

Every time Northern hemisphere is warmer than Southern, El Niños are frequent (and the other way). The only exception was Pliocene wrongly marked as warm in the North. But the permanent Pliocene La Niña turned out to be measurement error. *Piskozub & Gutowska 2013 (EGU) – poprawione!*

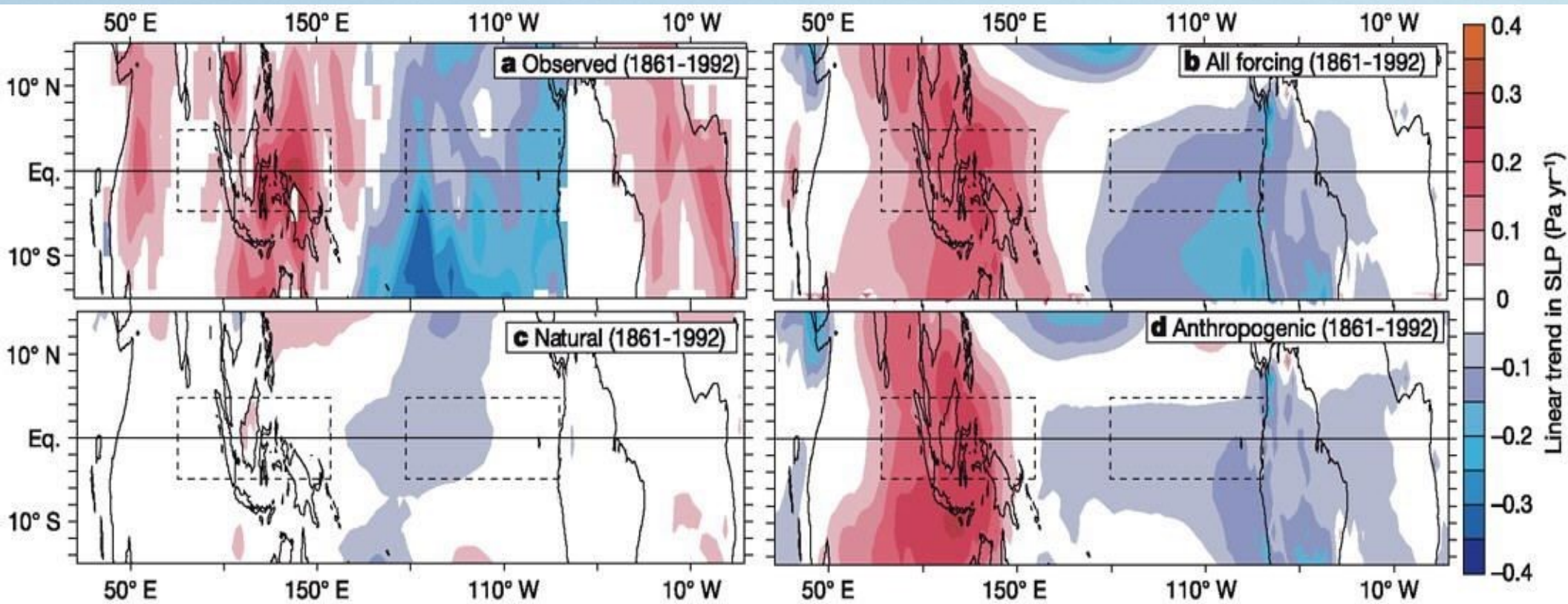
Czy jest jakiś schemat ogólny przewagi El Nino lub La Ninii w historii klimatu?

Wydaje się, że oprócz nieustannego El Nino w znacznie cieplejszym pliocenie, widać wyraźny schemat w tej zmienności:

Cieplejsza półkula północna odpowiada zimniejszemu ENSO (przewadze La Ninii) i odwrotnie. Pasuje tu także odwrotna zależność tego cyklu od aktywności słońca półkula północna bardziej zmienia swoją temperaturę przy zmianach temperatury rzędu dziesiątek (a nawet setek lat) gdyż zawiera więcej kontynentów szybciej zmieniających temperaturę niż oceany.

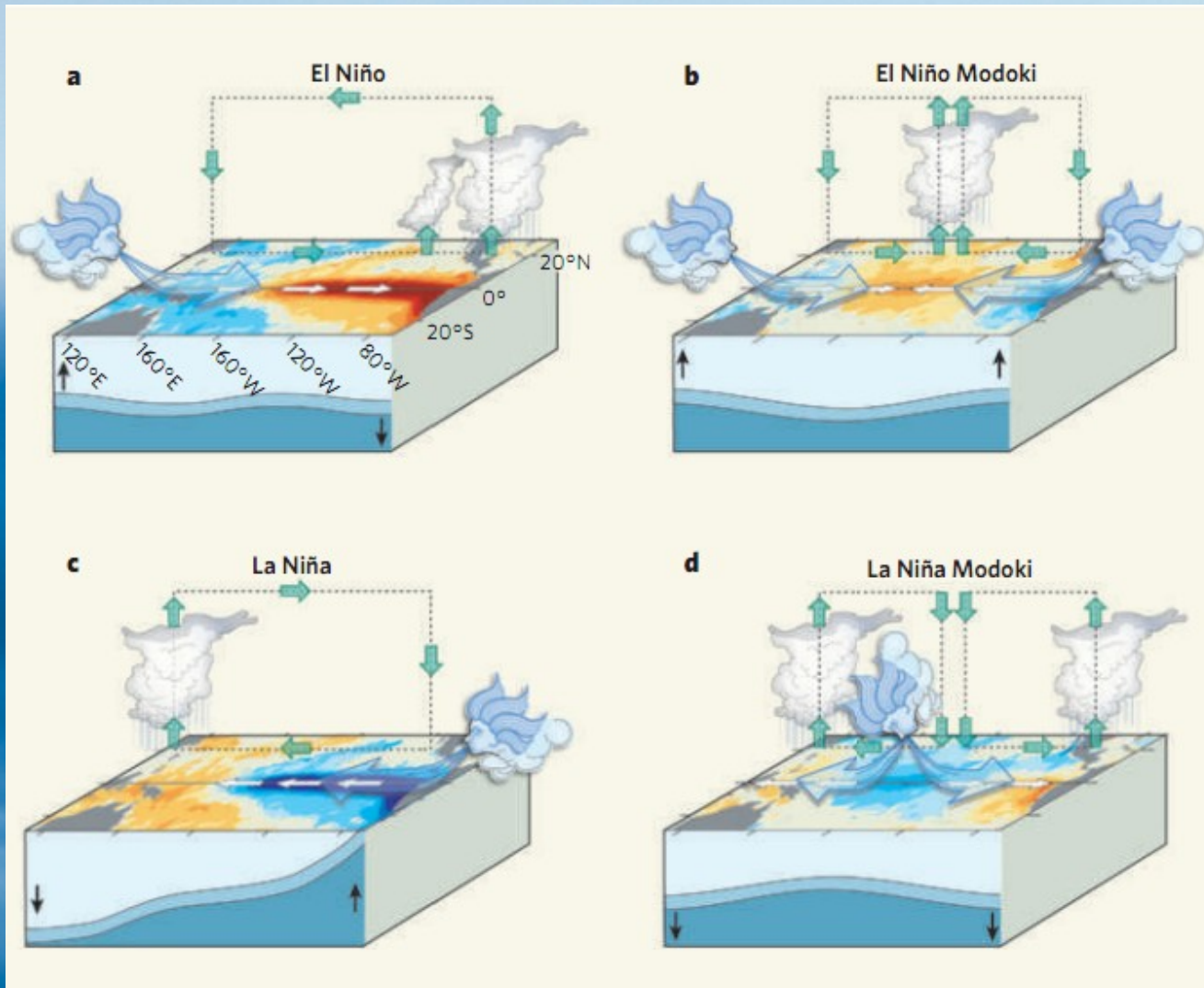
Jeśli tak to mechanizmem tłumaczącym te zmiany byłoby (jak zwykle!) przesuwanie się konwergencji międzyzwrotnikowej (ITCZ) w stronę cieplejszej półkuli i spowodowanej tym zmiany położenia pasatów. Niestety nie ma jeszcze w literaturze artykułów na ten temat...

Zmiany cyrkulacji tropikalnej



W ciągu ostatnich 100+ lat różnice ciśnienia napędzające cyrkulację Walkera zmalały o 2.5 – 3 % (panel a). Zmianę tę daje się wymodelować (b). Widoczne est że nie naturalne wymuszania (c) ale wpływ antropogeniczny (d) odpowiedzialny jest za zmiany cyrkulacji w troposferze.

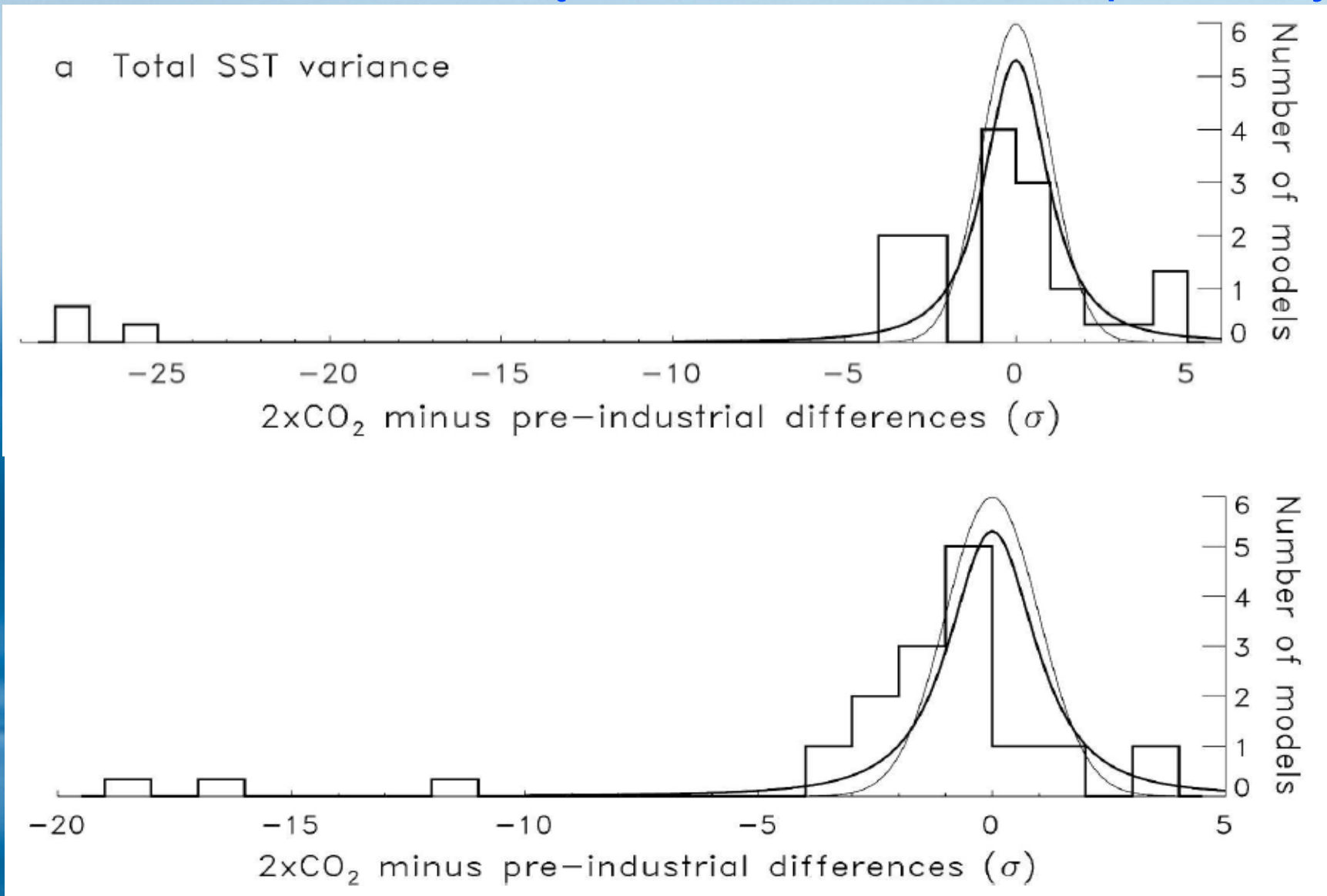
Nowa forma ENSO: El Nino (i La Nina) Modoki



Ashok (2007) wykrył w danych historycznych odmienny cykl, którego ciepła faza wiąże się z ociepleniem Centralnego (zamiast Wschodniego) Pacyfiku. Nazwał ją El Nino Modoki a odwrotna fazę La Niña Modoki. Modoki znaczy po japońsku “podobny ale inny”. Najnowsze El Nino Modoki wystąpiły w 2002 i 2004

Ashok & Yamagata 2009 (Nature)

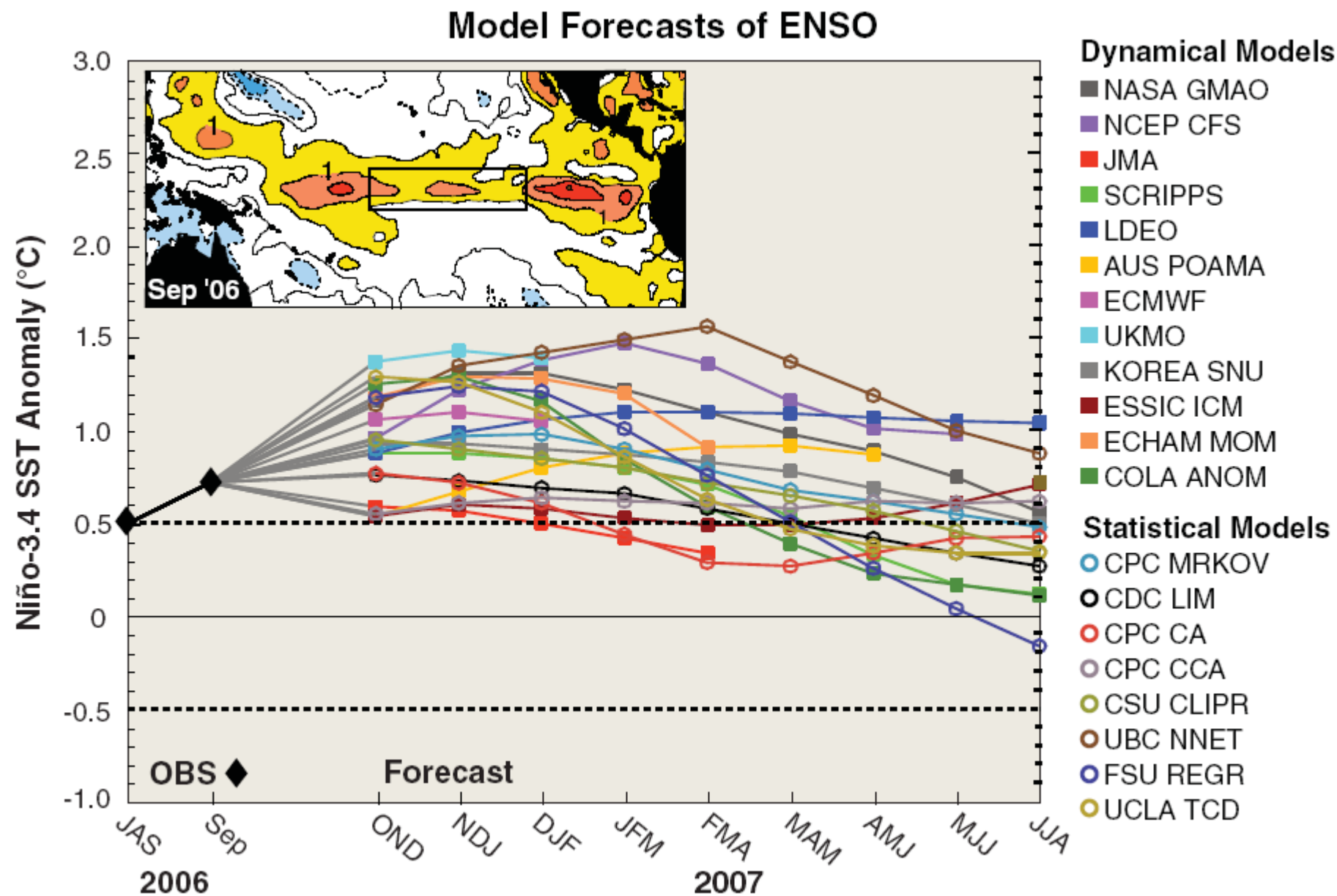
Jak zatem zachowa się ENSO w świecie cieplarnianym?



Zmienność (na górze) i okres ENSO (na dole) nie ulega zmianie w świecie podwojonego CO₂: uśredniony wynik z 15 modeli klimatycznych. Na ile jednak możemy im wierzyć?

Merryfield 2006 (Journal of Climate)

Prognozowanie ENSO



Progniza ENSO na rok 2007 przy pomocy 20 modeli klimatycznych.
Czy się sprawdzi w marcu?

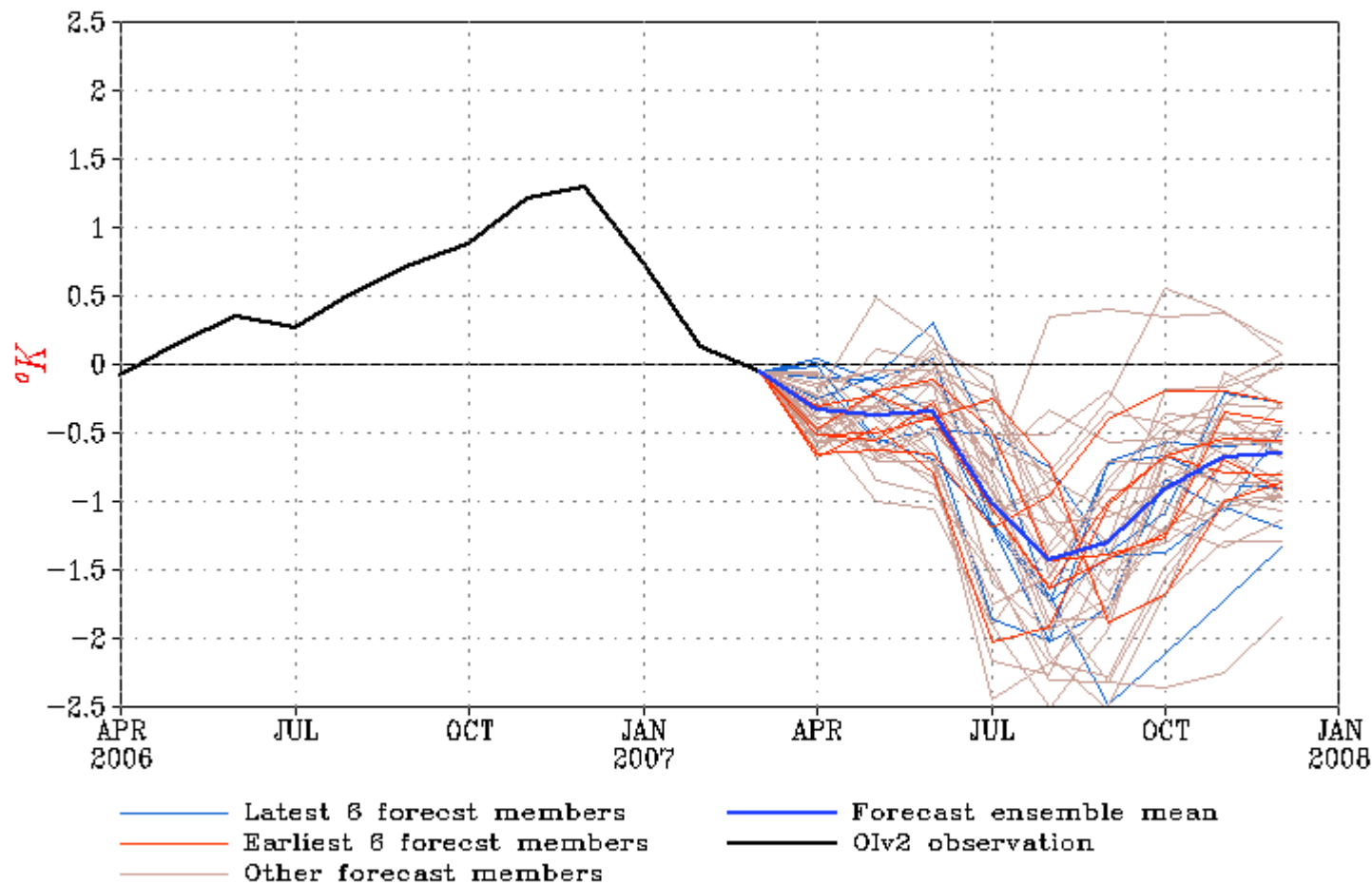
McPhaden, Zebiak & Glantz 2006 (Science)



NWS/NCEP

Last update: Fri Mar 30 2007
Initial conditions: 3Mar2007–22Mar2007

Forecast Nino3.4 SST anomalies from CFS



Forecast initial conditions: 3Mar2007 to 22Mar2007.

Base period for climatology is 1971–2000. Base period for bias correction is 1982–2003.

Jak widać jest dobrze, chociaż nie beznadziejnie.
Zerowej wartości w marcu nie przewidział żaden z 20 modeli.

Podsumowanie 1/3

- ENSO (El Niño Southern Oscillation) jest oscylacją systemu ocean-atmosfera tropikalnego Pacyfiku o okresie 2-7 lat
- Faza ciepła (El Niño) wiąże się z osłabieniem cyrkulacji Walkera, pasatów, upwellingu zimnej wody przy wybrzeżach Ameryki Południowej, monsunu azjatyckiego, huraganów na Atlantyku i Pacyfiku, natomiast zimna (La Niña) przywraca stan dawniej uważany za „normalny”.
- Wpływ ENSO wyczuwalny jest na dużej części planety i stanowi największe źródło zmienności o okresie dłuższym niż rok.
- ~~W plejstocenie (>3Ma) panowało nieustające El Niño.~~ W pozostałych okresach zwykle cieplejsza półkula północna odpowiadała przewadze La Ninii (zimnej fazy) i na odwrót.
- Nie da się na razie przewidzieć czy ENSO zmieni swą aktywność w przyszłym świecie cieplarnianym.

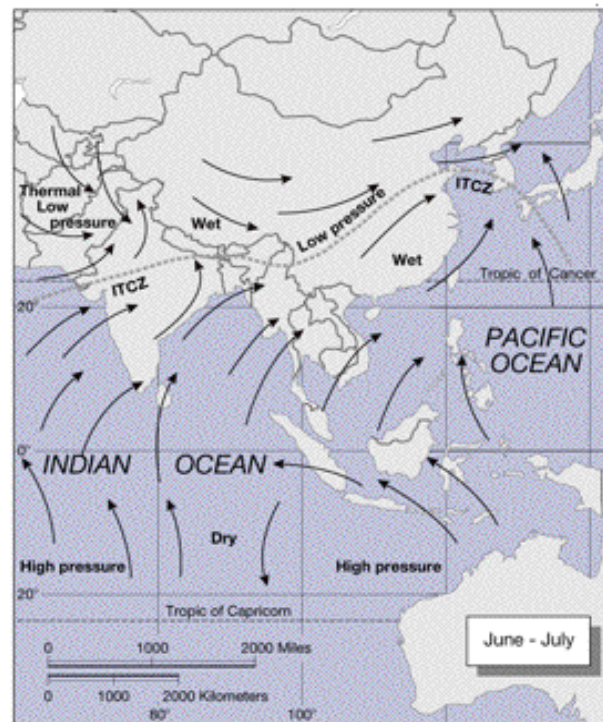


Wylew San Diego River podczas El Niño Modoki w 2005 roku

Monsuny: bryza o cyklu rocznym

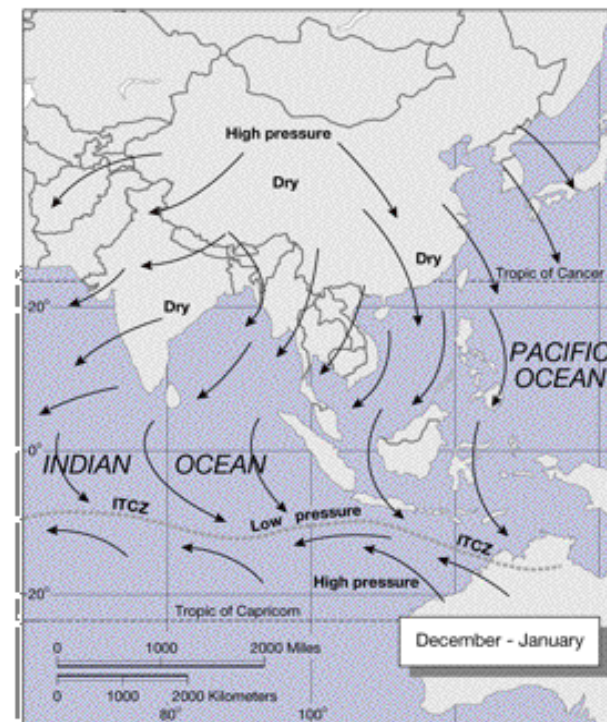
Monsoons - the ultimate in seasonal variability

Northern hemisphere summer



(a)

Northern hemisphere winter

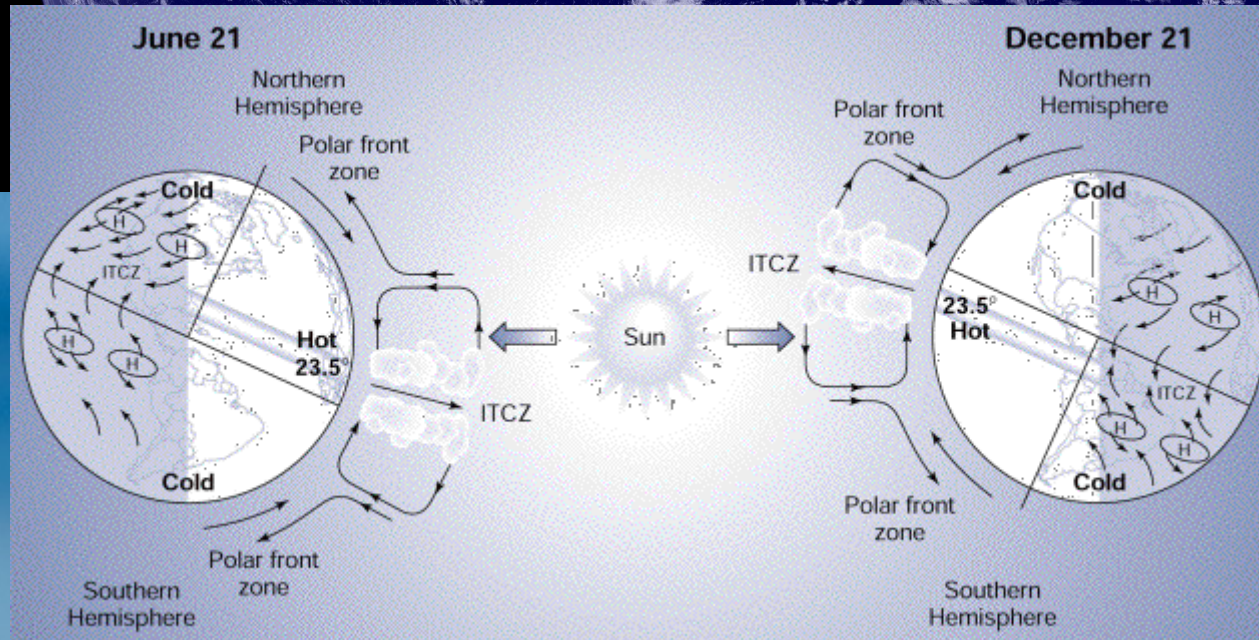
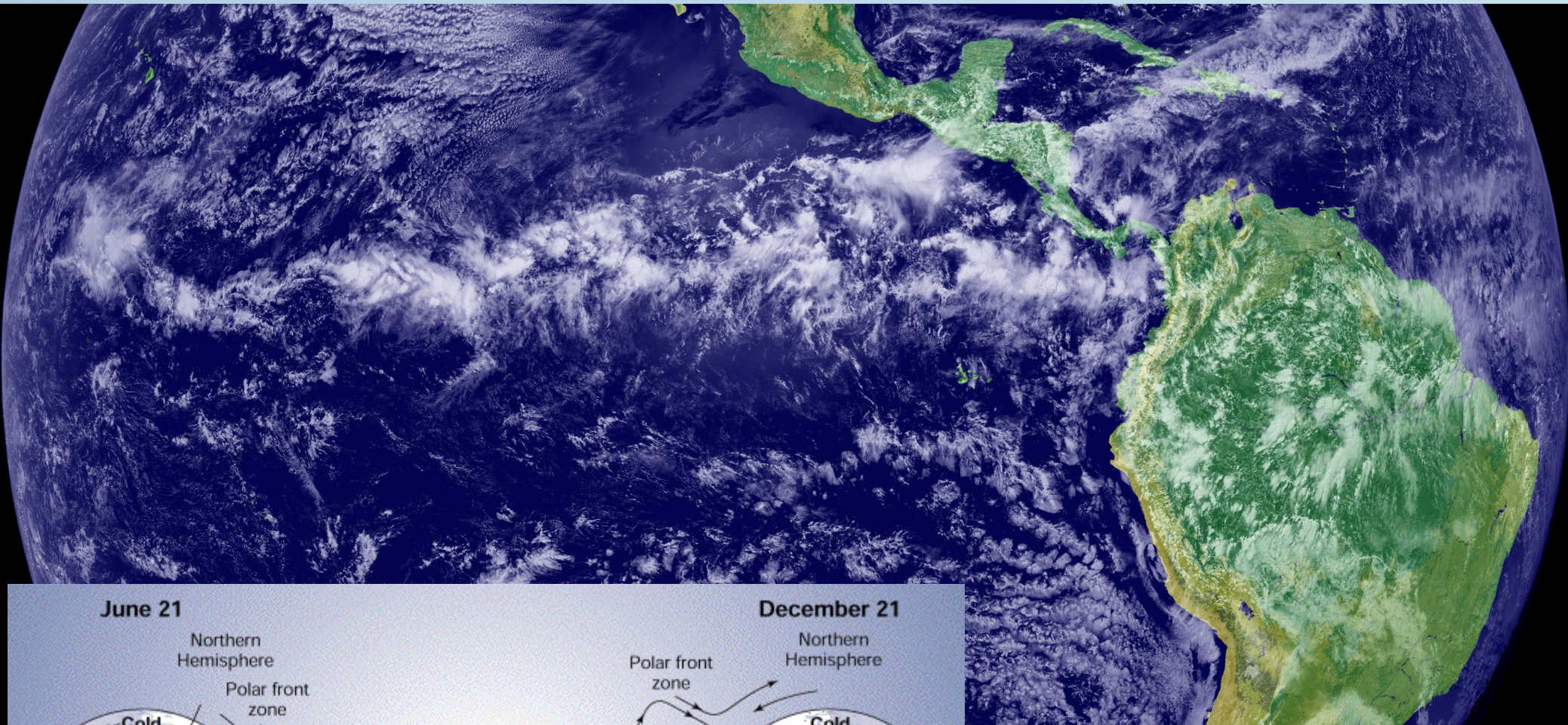


(b)

Copyright © 2004 Pearson Prentice Hall, Inc.

Monsuny działają jak bryza: wieją w kierunku gorącego lądu latem i od wyziębionego zimą. Stanowią drugi obok cyrkulacji termohalinowej łącznik klimatyczny między półkulą północną i południową.

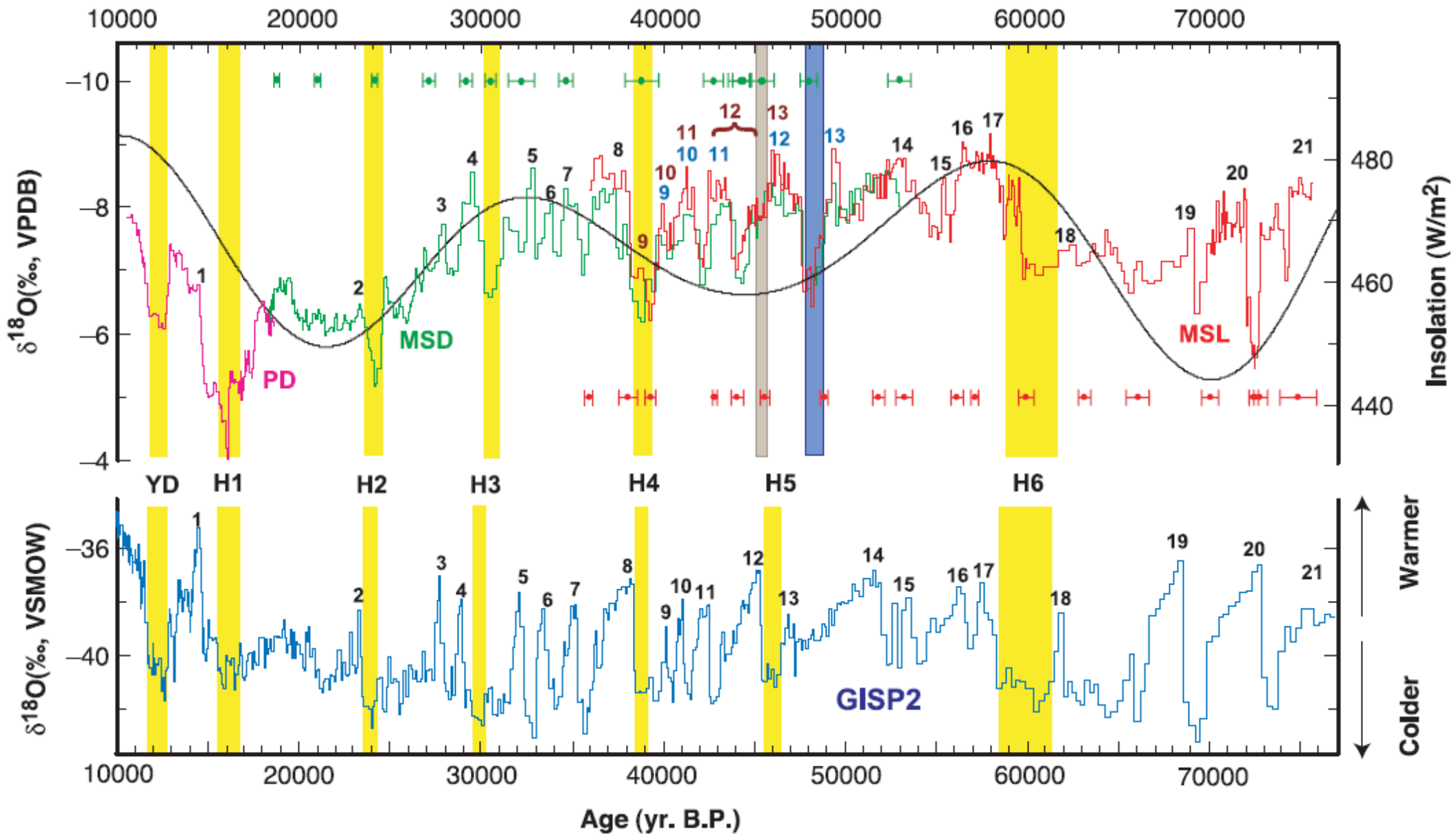
Tropikalna Strefa Konwergencji



W ciągu roku ITCZ przesuwa się w kierunku bardziej nasłonecznionej półkuli (co widać – chociaż słabo - na dolnym rysunku)

Kump et al. 2004

Od czego zależy siła monsunu?



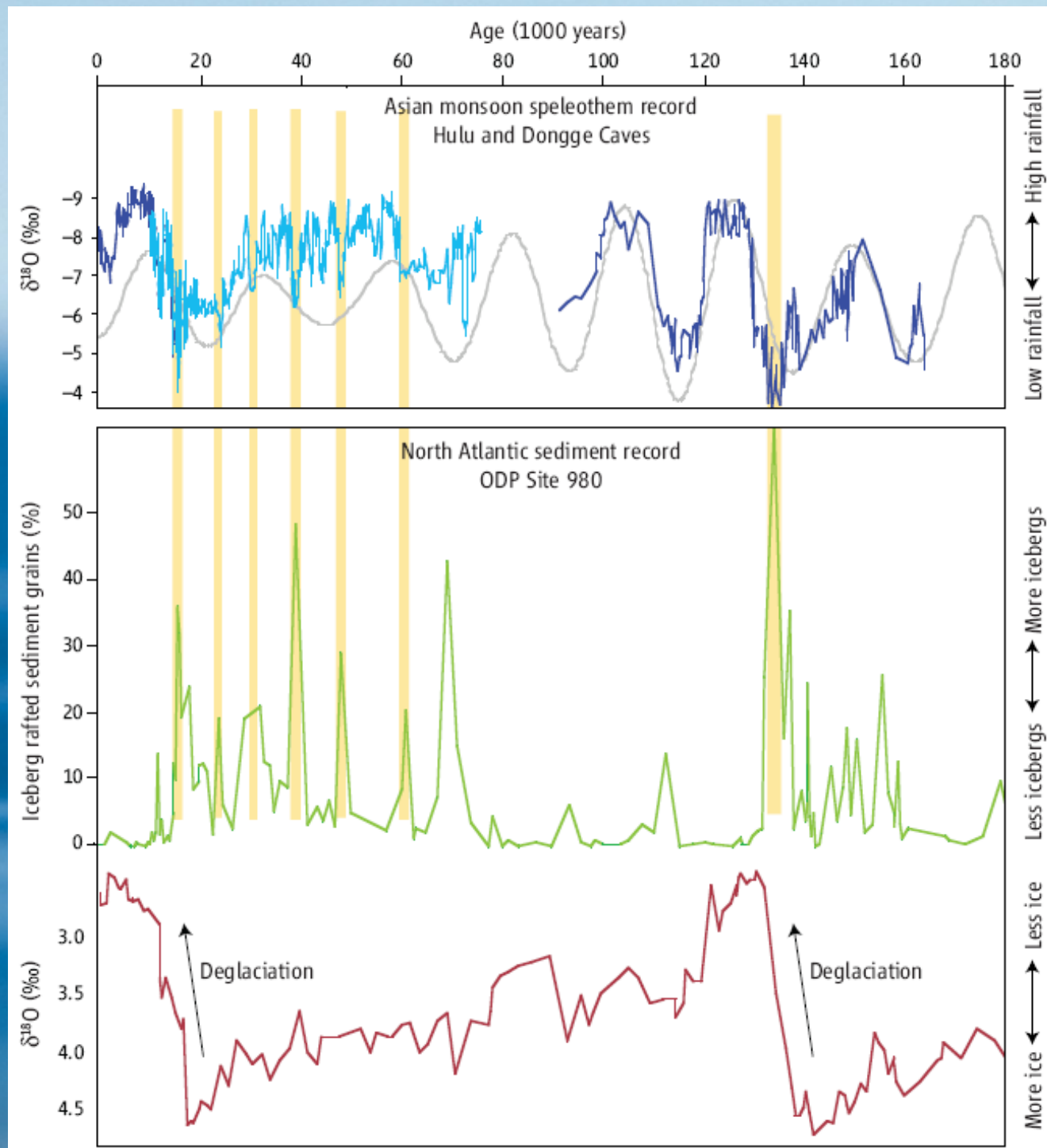
Izotopy tlenu stalagmitów z jaskini Hulu (Chiny) pokazują, że siła monsunu zależy jednocześnie od THC i nasłonecznienia półkuli północnej.

Wang et al. 2001 (Science)

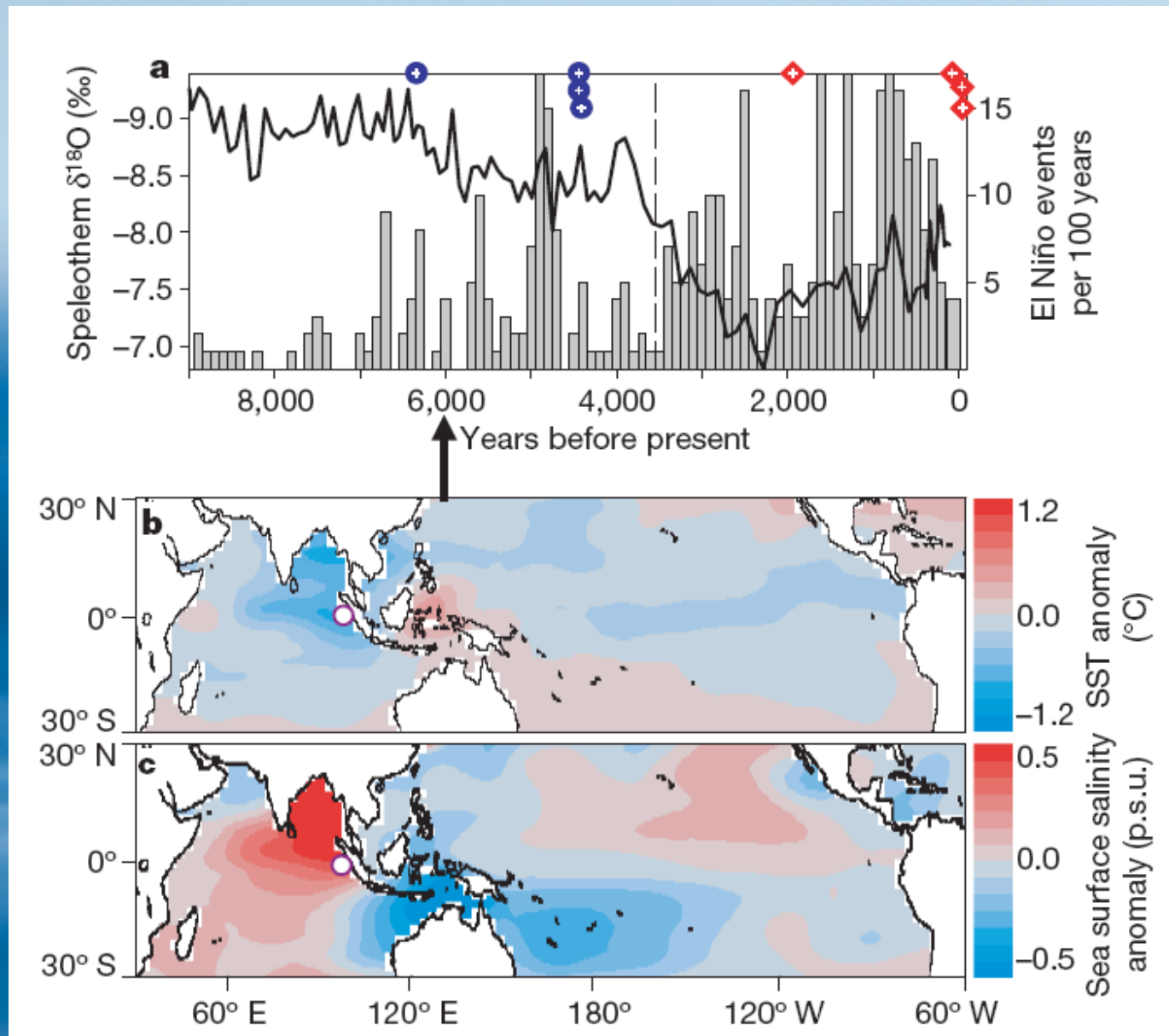
THC i słońce...

Nieco dłuższa skala czasowa, ale te same wnioski:

Intensywność monsunu zależy jednocześnie od nasłonecznienia półkuli północnej o od intensywności cyrkulacji termohalinowej (THC).



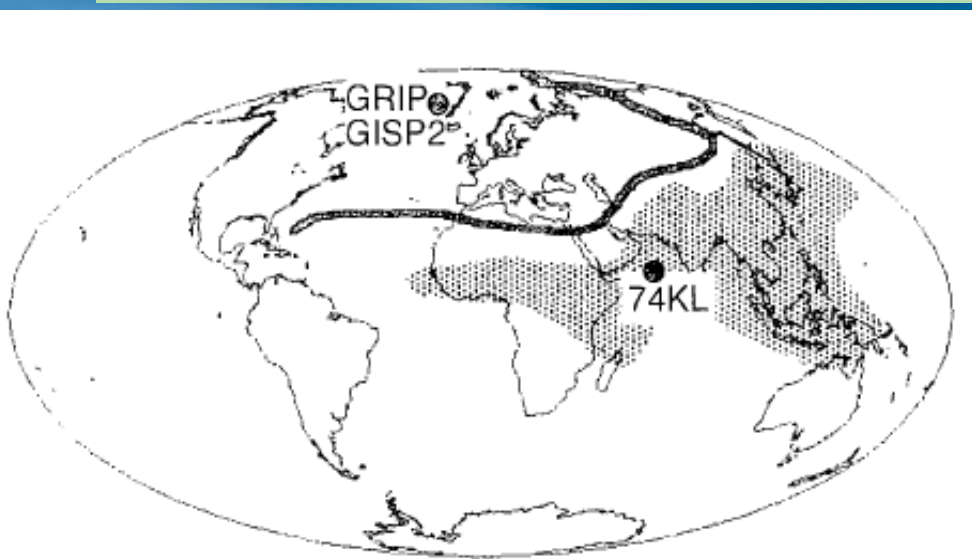
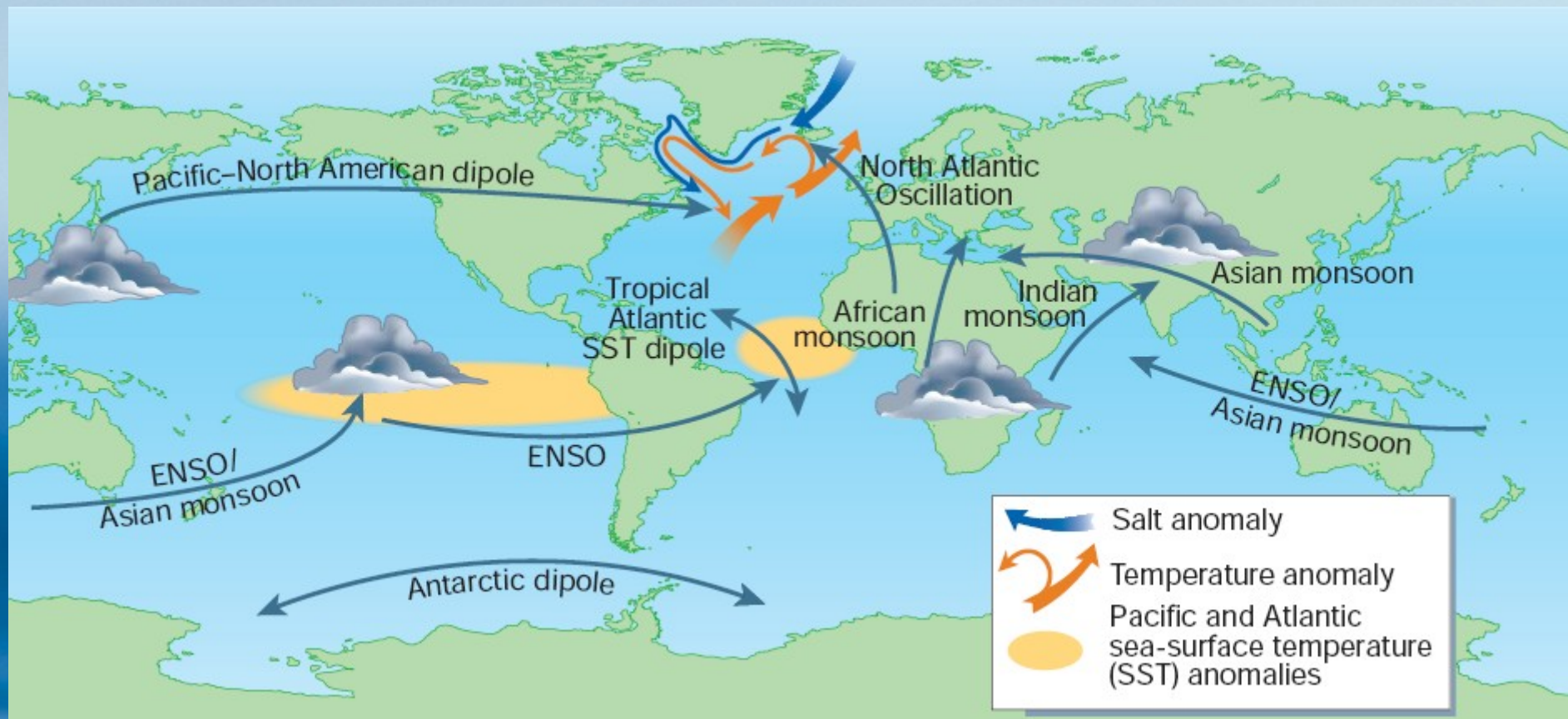
Monsun (i ENSO) w holocenie



Intensywność monsunów i ENSO ewoluowała w holocenie w przeciwnych kierunkach. Na dole: rekonstrukcja temperatury i zasolenia 6000 lat temu (zmiany w stosunku do stanu dzisiejszego).

Abram et al. 2007 (Nature)

“Telekonekcje” klimatyczne

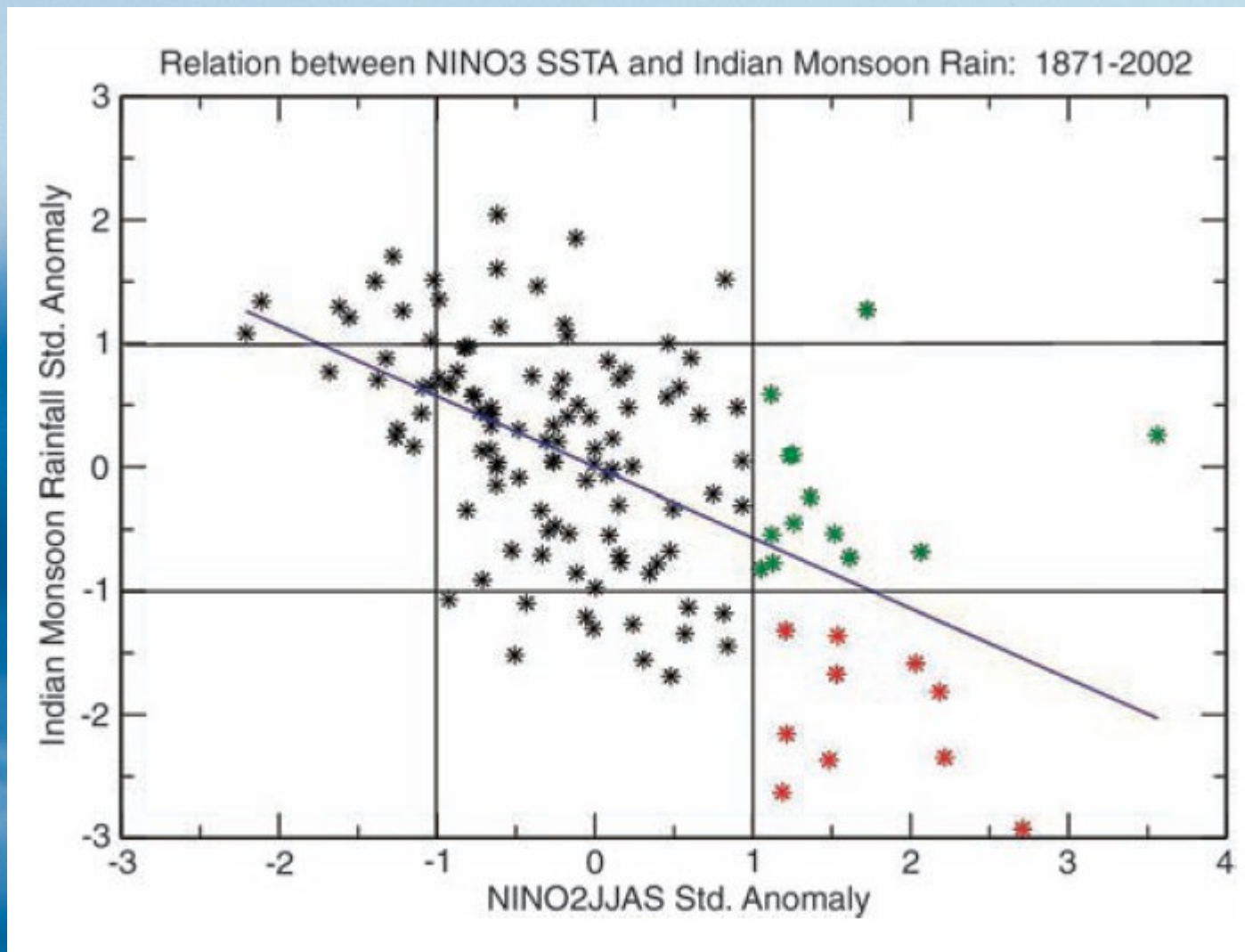


Wpływ THC na monsun łatwo wyjaśnić (THC wpływa na temperaturę Eurazji).

Inne “telekonekcje” (powyżej) nie są już takie oczywiste: nie zawsze wiemy co jest przyczyną a co skutkiem.

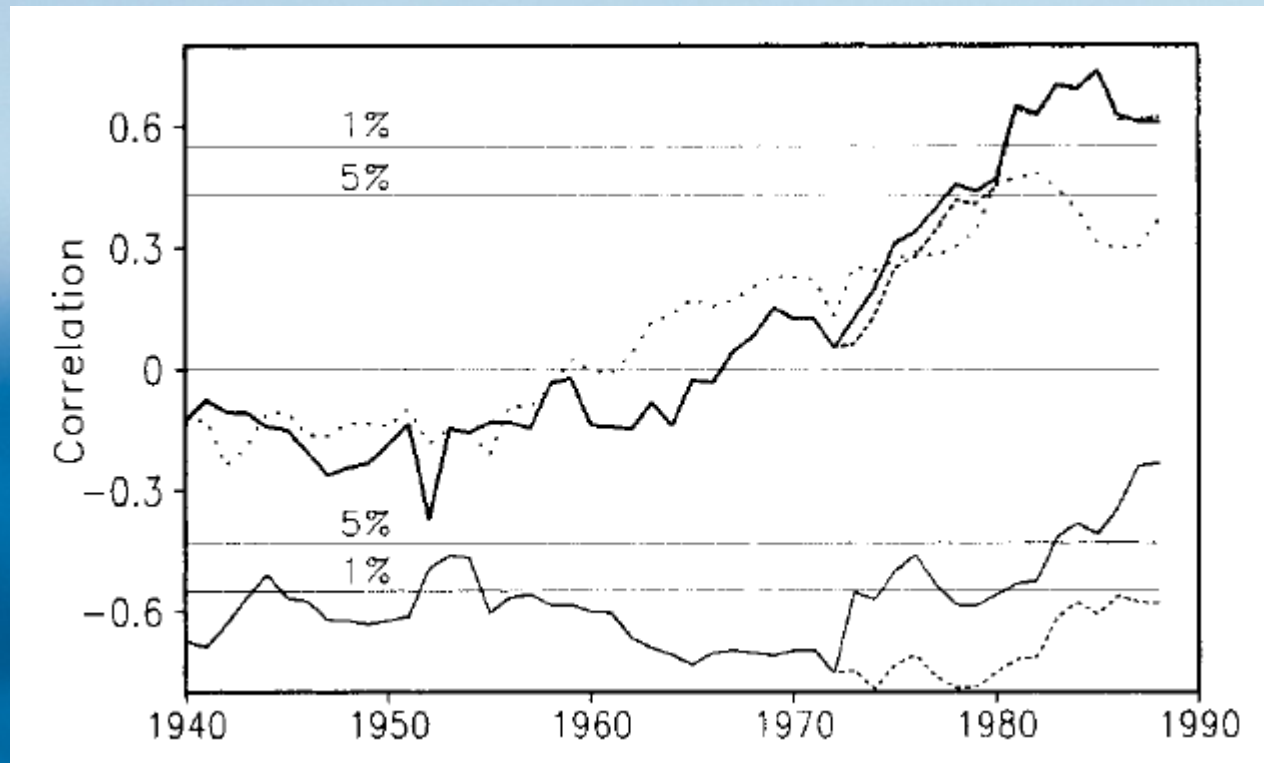
Zahn 2003 (Nature); Sirocko et al. 1996 (Nature)

Monsun a ENSO



Wykres intensywności deszczów monsunowych w Indiach w funkcji ENSO-3 wskazuje na silną antykorelację. Duże susze (<-2) zdarzają się wyłącznie podczas fazy El Niño.

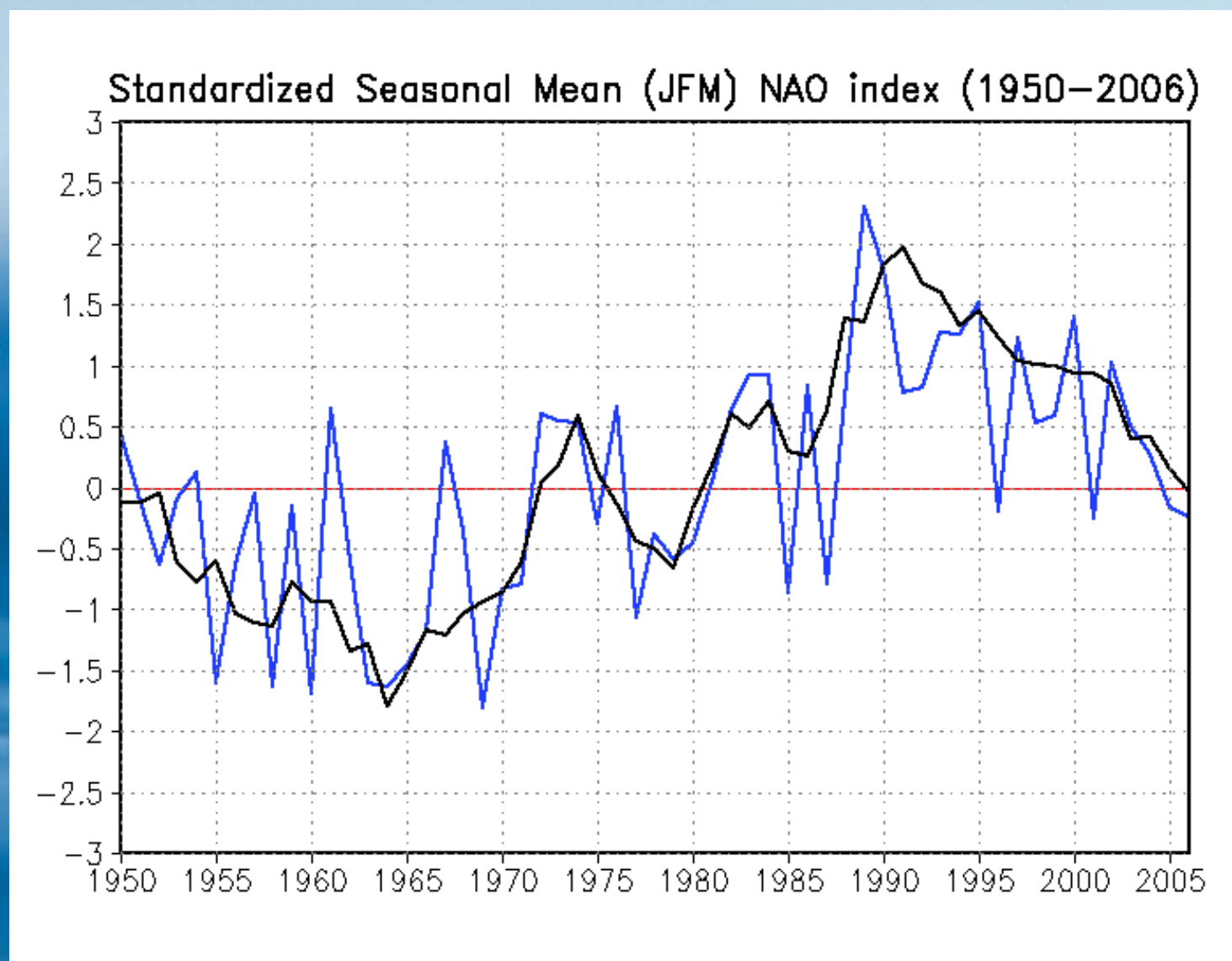
ENSO i NAO a monsun



Korelacja między opadami monsunowymi w Indiach a Nino-3 (cienka linia i gęsto kropkowana: po odrzuceniu dwóch wyjątkowych lat 1983 i 1997), zimową temperaturą powietrza w Europie zachodniej (gruba linia) i Środkowej (kropkowana linia). Widać silną antykorelację monsunu z ENSO. Temperatura zimy w Europie koreluje w sposób statystycznie istotny (poziome linie) tylko przy dodatnim NAO. Nie jest to dziwne bo oznacza to silną cyrkulację zachodnią powodującą wpływ temperatury Europy na środkową Eurazję.

Chang, Harr & Ju 2001 (Journal of Climate)

Przypomnienie: Zimowe wartości indeksu NAO od 1950



Zwraca uwagę okres niskich wartości w latach 60-tych i wysokich w 90-tych.

Podsumowanie 2/3

- W holocenie siła monsunu antykorelowała ze zmiennością ENSO.
- Intensywność monsunu azjatyckiego zależy od oświetlenia półkuli północnej oraz (w krótszej skali czasowej) od zmian intensywności THC (korelacje dodatnie). Spowodowane jest to wpływem obu zjawisk na letnią temperaturę kontynentalnej Euroazji.
- W jeszcze krótszej skali czasowej monsun antykoreluje z ENSO (susza podczas El Niño i silne deszcze podczas La Niña).
- Przyczyny tej (jak i innych) “telekonekcji” (zdalnych oddziaływań) klimatycznych nie są jeszcze do końca wyjaśnione. Nawet silna korelacja nie tłumaczy przyczynowości.

*Stalagmit z jaskini Dongge
(Pd. Chiny) - zapis 9000 lat
historii monsunów*



Huragany

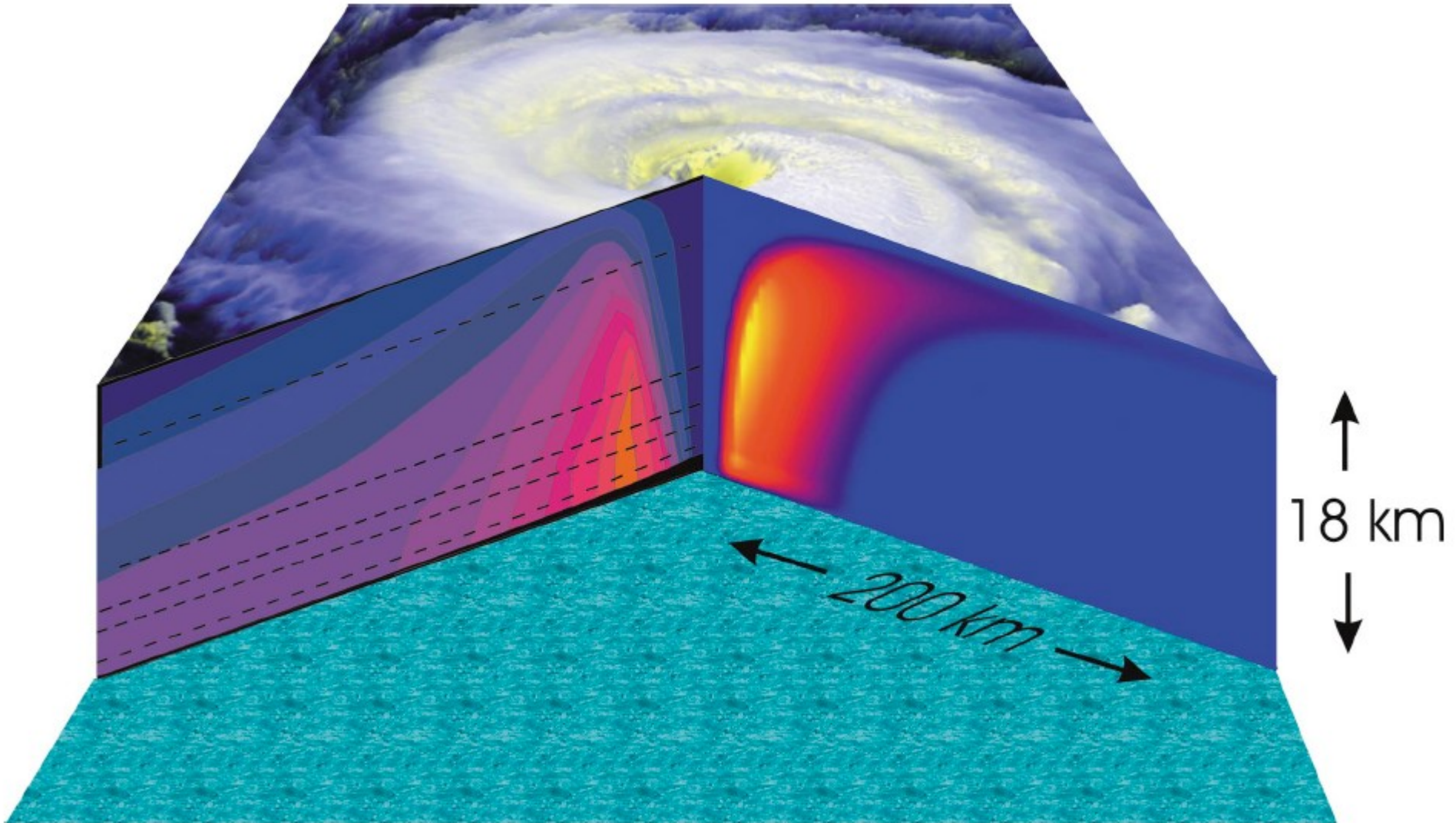
Skala Saffira-Simpsona:

- Szstorm tropik.: 17.5 -32 m/s
- Kategoria 1: 33–42 m/s
- Kategoria 2: 43–49 m/s
- Kategoria 3: 50–58 m/s
- Kategoria 4: 59–69 m/s
- Kategoria 5: ≥ 70 m/s

Huragany (cyklony, tajfuny), niżej tropikalne o długotrwałej prędkości wiatru powyżej 33 m/s tworzą się nad tropikalnymi oceanami o temperaturze powierzchni powyżej 27° C. Nad lądem szybko zanikają. Na Atlantyku sezon huraganów to (umownie) 1 czerwca - 30 listopada.

Huragan Isabel, 2003, International Space Station

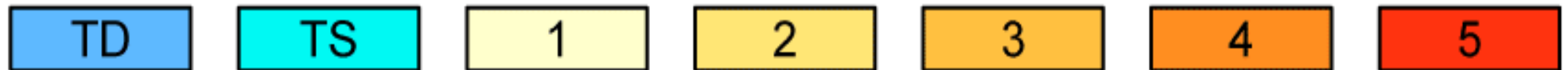
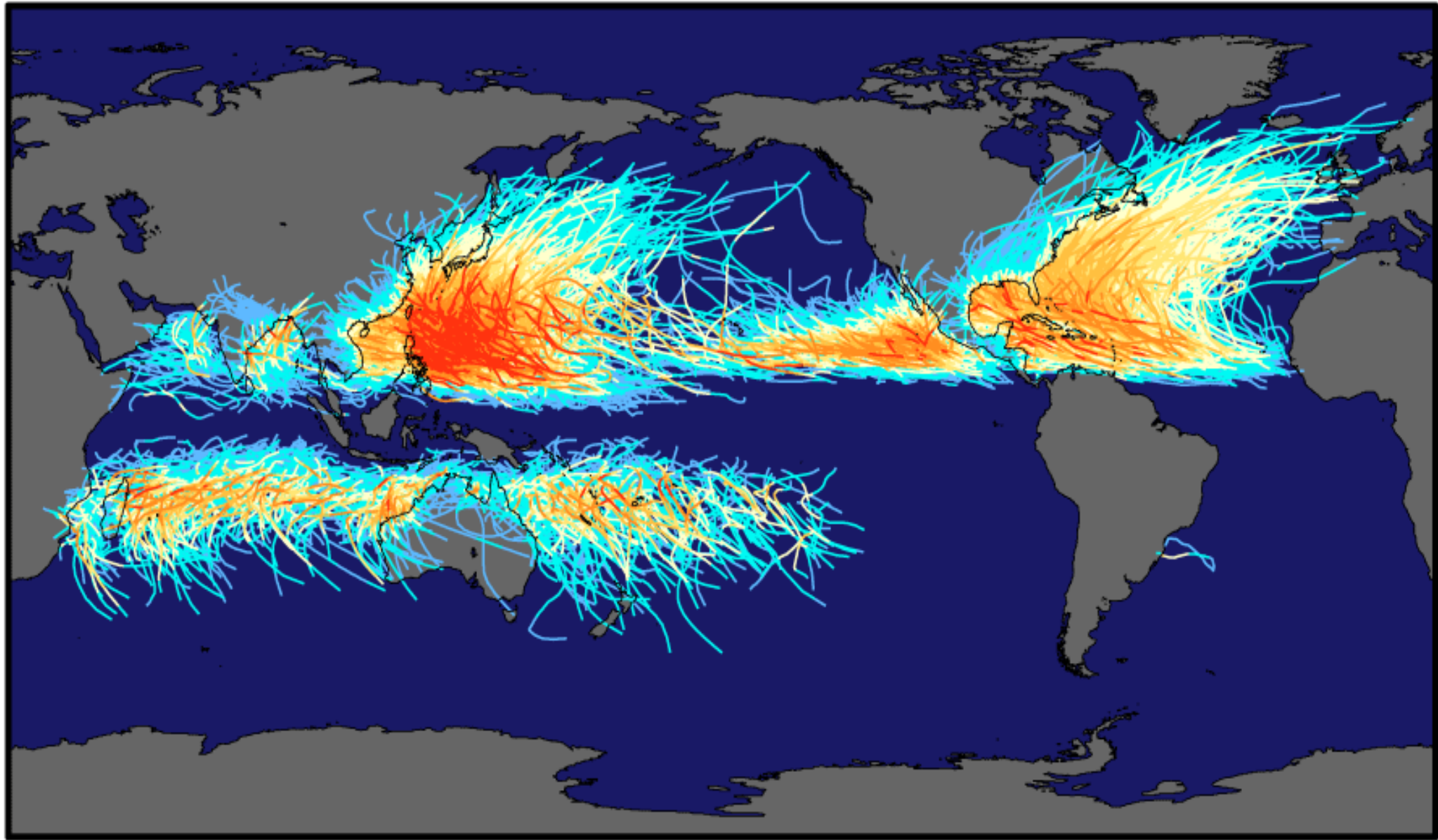
Przekrój przez huragan



Po lewej prędkości poziome (skala do 50 m/s), po prawej prędkości pionowe (czerwone do góry, niebieskie w dół)

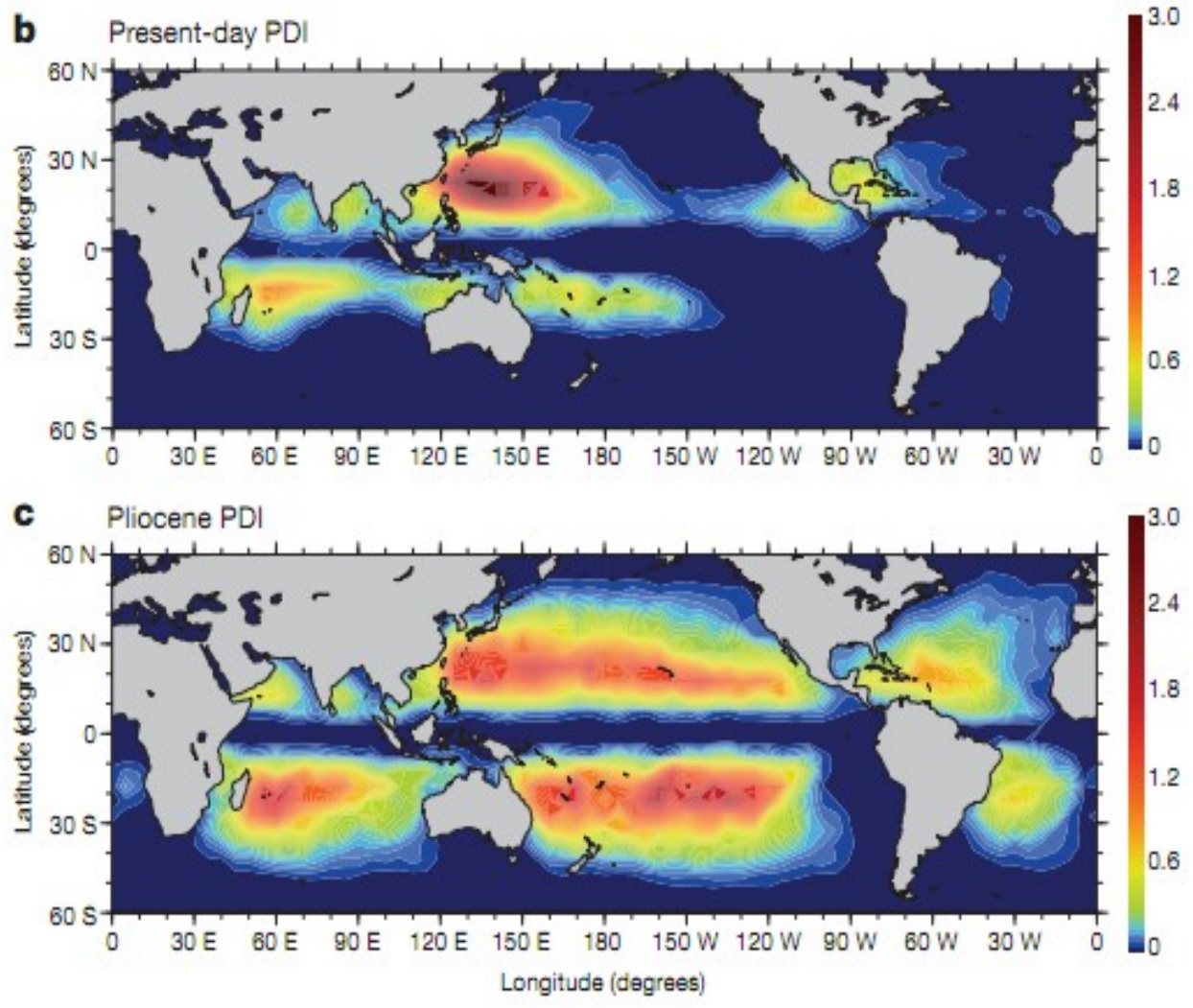
Emmanuel 2003 (Ann. Rev. Earth Planet Sci.)

Tracks and Intensity of All Tropical Storms



Saffir-Simpson Hurricane Intensity Scale

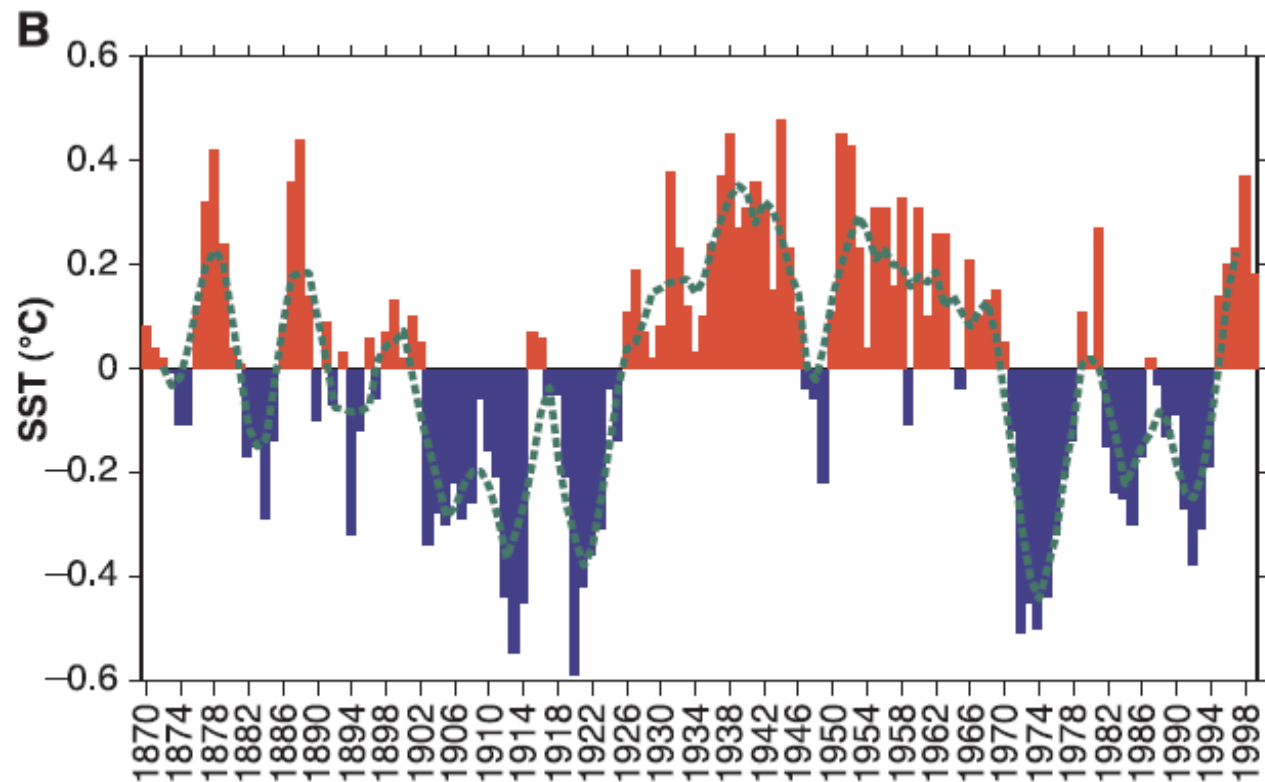
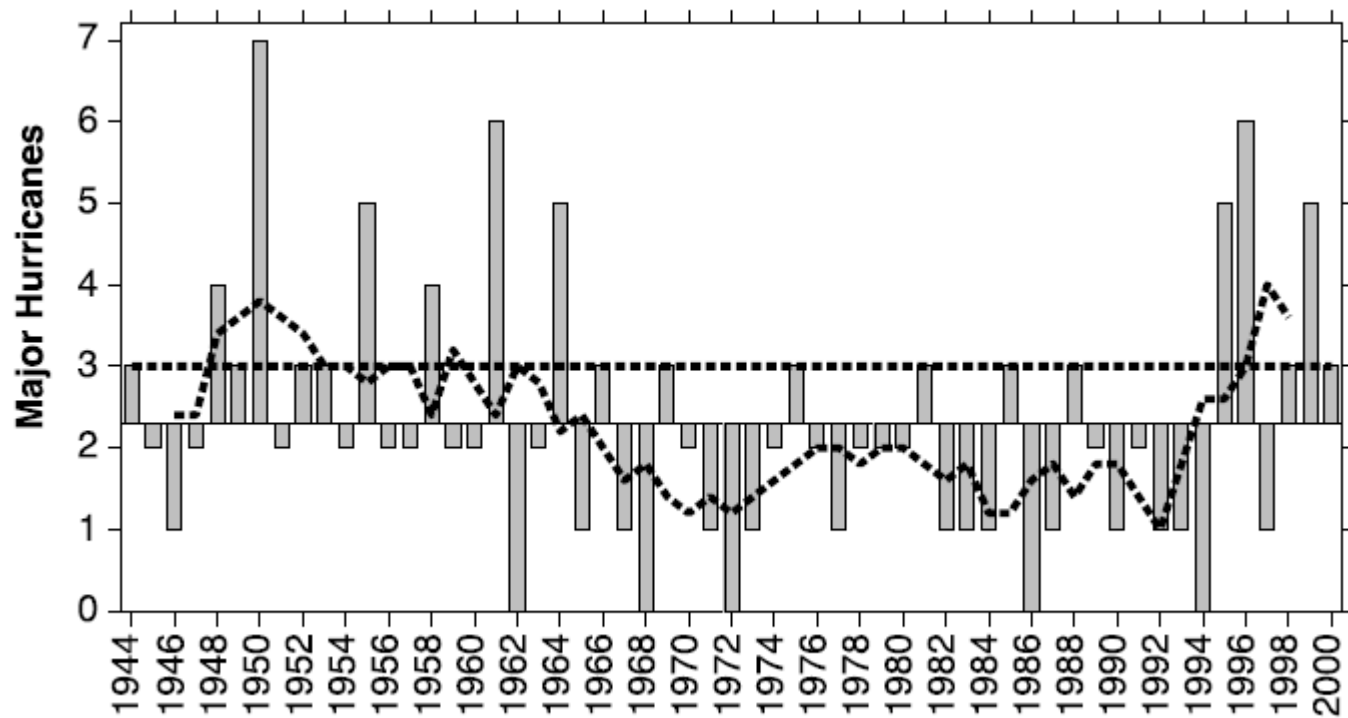
Huragany przyczyną nieustającego El Nino w plejstocenie?



Na rysunku intensywność (PDI) huraganów współcześnie i we wczesnym plejstocenie.

Fedorov et al 2010 pokazują na wynikach modelu klimatologicznego, że zwiększone mieszanie oceanu przez huragany może doprowadzić do nieustającego El Nino. Jeśli tak to może i w świecie cieplarnianym nam to grozi?

Huragany a SST



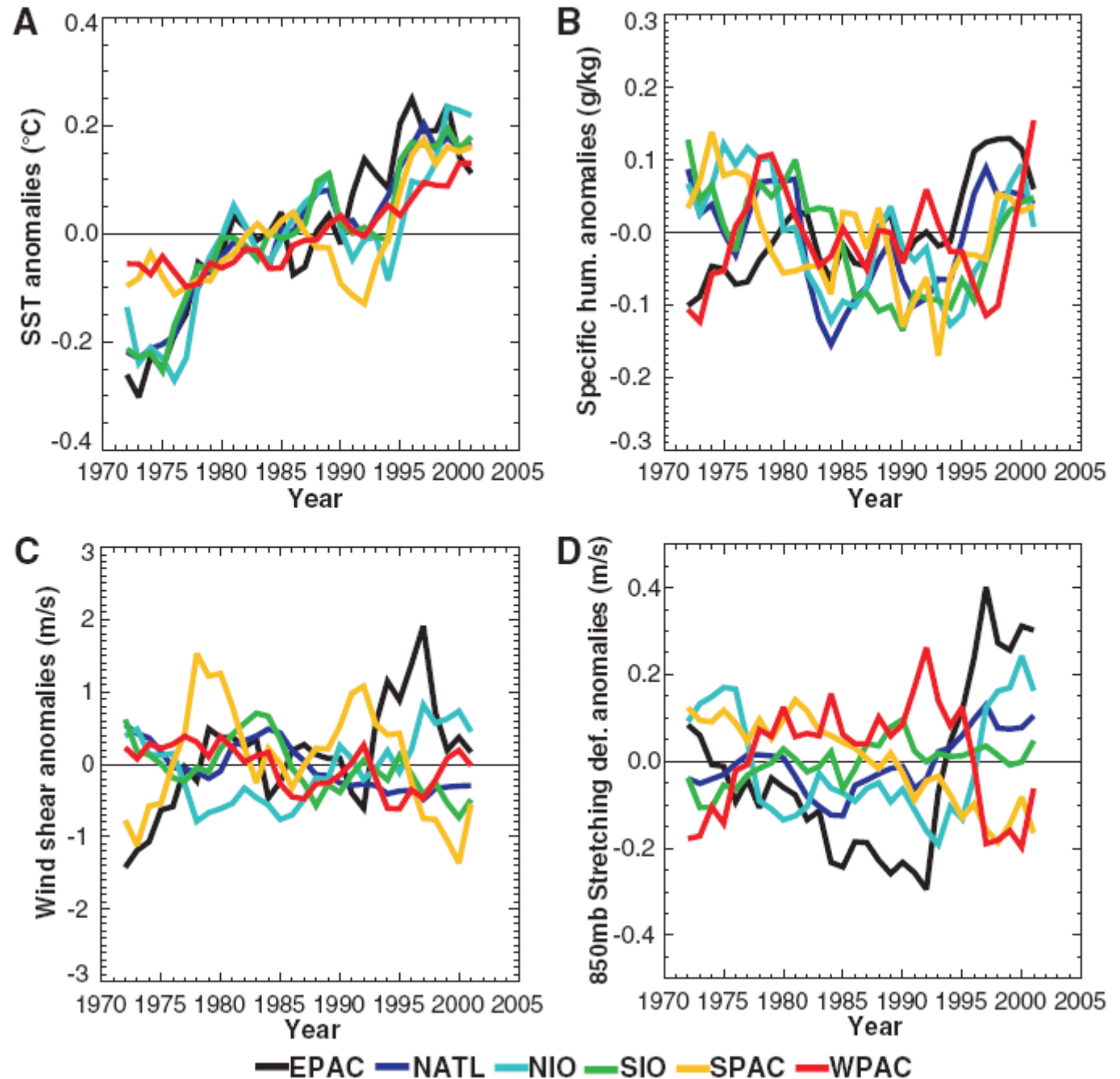
Ponieważ huragany tworzą się jedynie w wodach o temperaturze $> 28^{\circ}\text{C}$ czy ich liczna zależy od temperatury oceanu?

Ilość huraganów na Atlantyku i średnia temperatura Atlantyku północnej półkuli.

Goldenberg et al. 2001 (Science)

Huragany korelują z SST i z... niczym innym

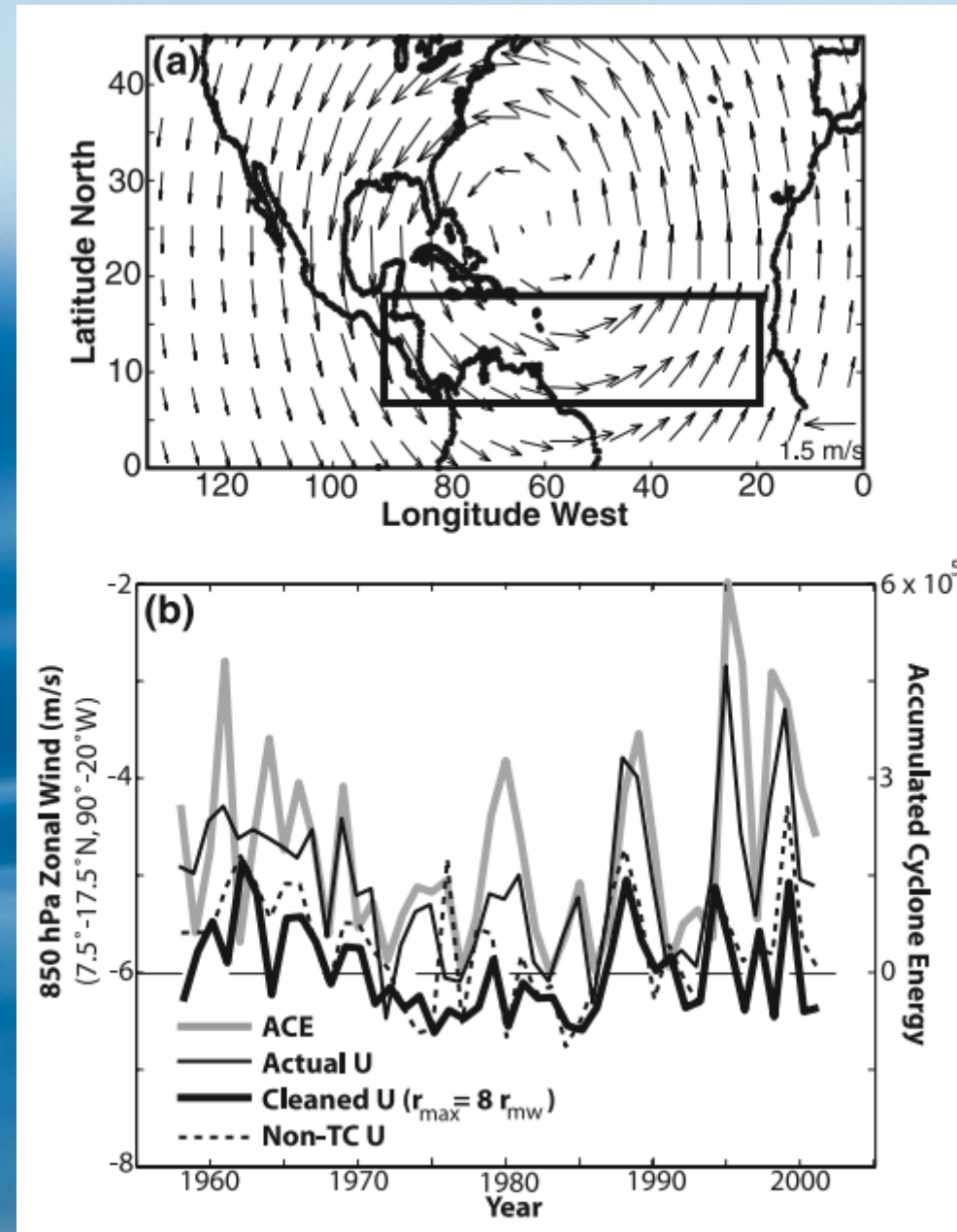
Analiza danych z różnych rejonów świata wykazuje, że ilość huraganów kategorii 4 i 5 koreluje w istotny sposób jedynie z temperaturą powierzchni wody SST (A), natomiast brak im istotnych korelacji z wilgotnością powietrza (B), gradientem pionowym (C) i poziomym (D) prędkości wiatru.



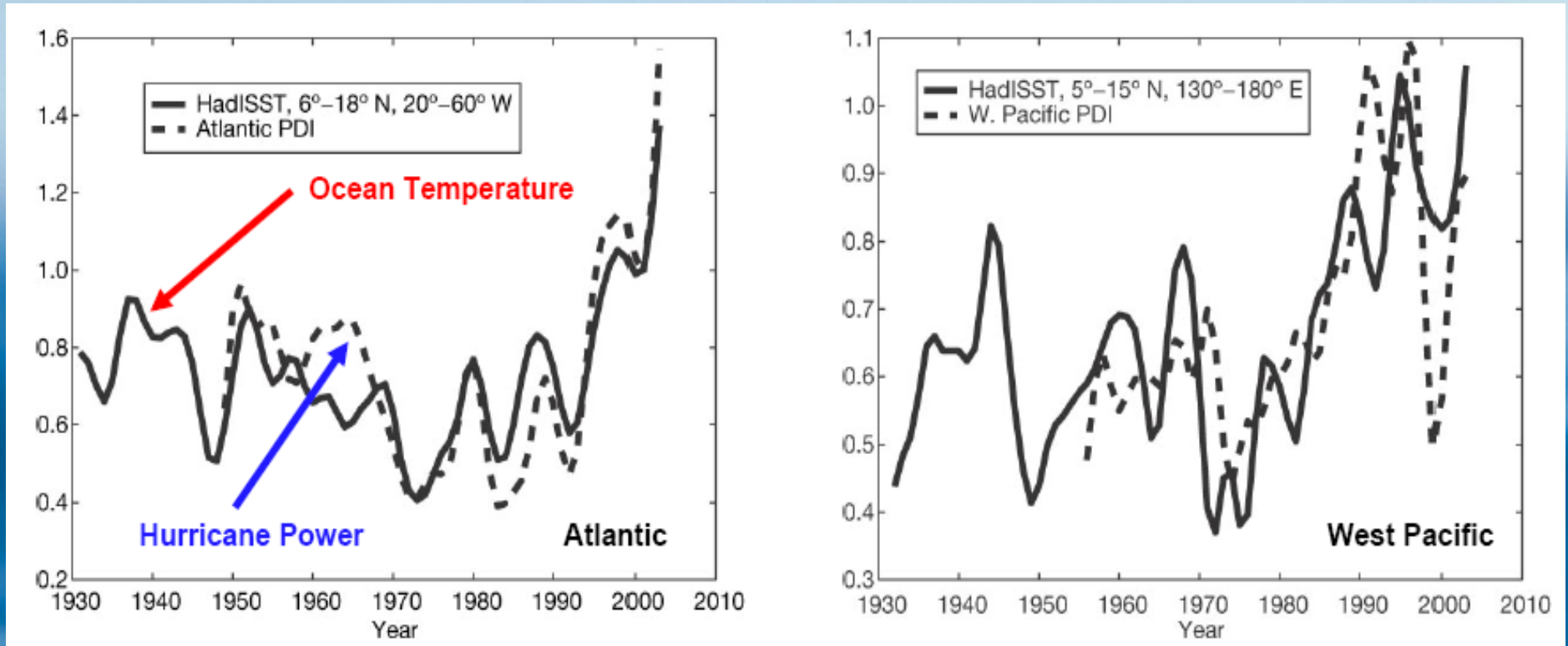
Wtręt dla meteorologów: czy anomalie wiatrów rzeczywiście wpływają na powstanie huraganów?

Cyklony wpływają na pole wiatru nad całym Północnym Atlantykiem (panel górny dla wiatrów na poziomie 850 hPa).

Analiza tego efektu pozwoliła na zakwestionowanie długo pokutującej tezy o negatywnym wpływie anomalii wiatrów, w tym pionowego gradientu wiatru („*shear*”) na powstawanie huraganów. Siła huraganów w danym sezonie (ACE) koreluje się dobrze z siłą wiatrów strefowych w obszarze tworzenia huraganów (zaznaczona na mapce). Jednak po odjęciu wiatrów spowodowanych przez same huragany („Cleaned U”) albo braniu pod uwagę wyłącznie dni bez huraganów (Non-TC U) likwiduje tę korelację pokazując, że to huragany są powodem anomalii wiatrów, a nie odwrotnie.

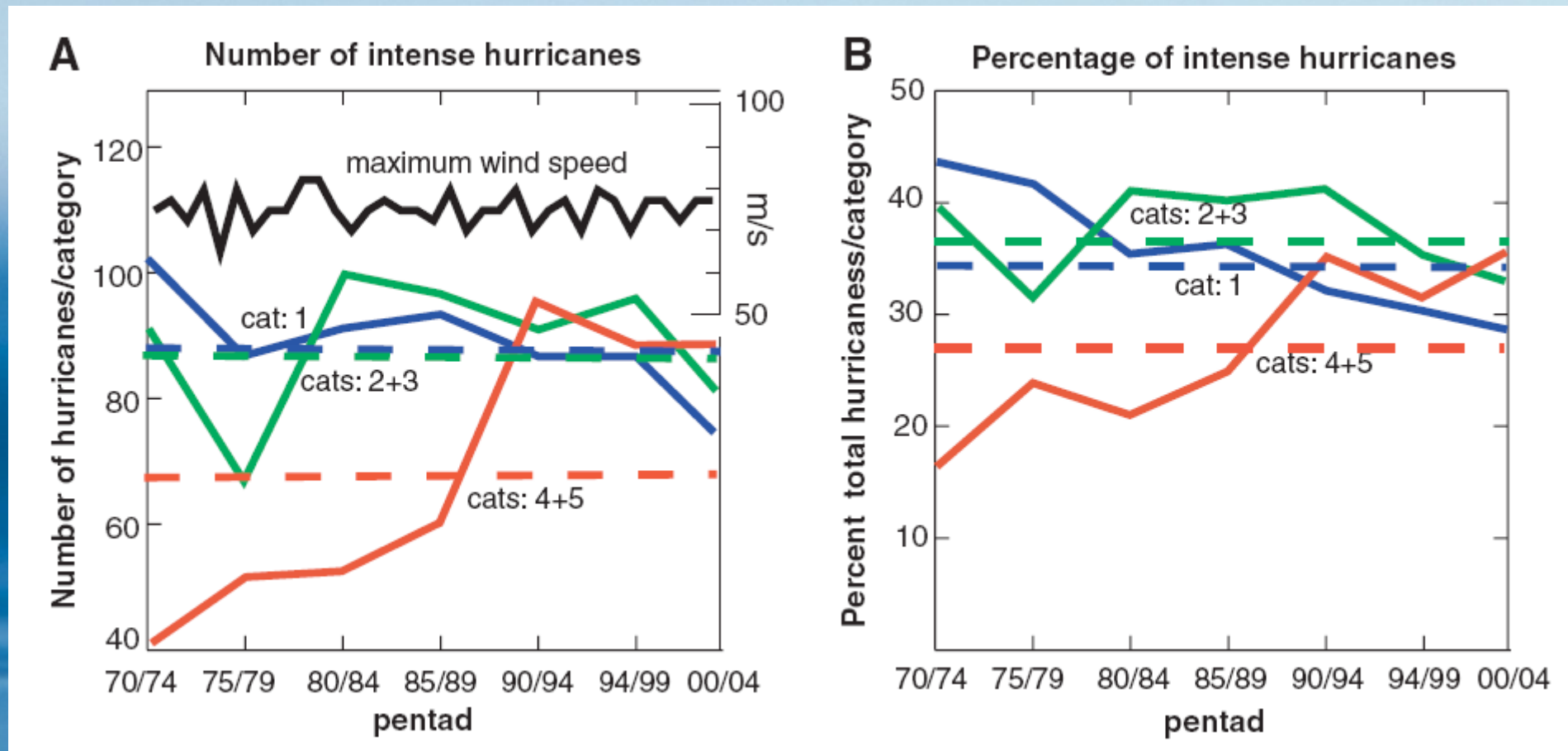


Huragany a SST: dowód wprost?



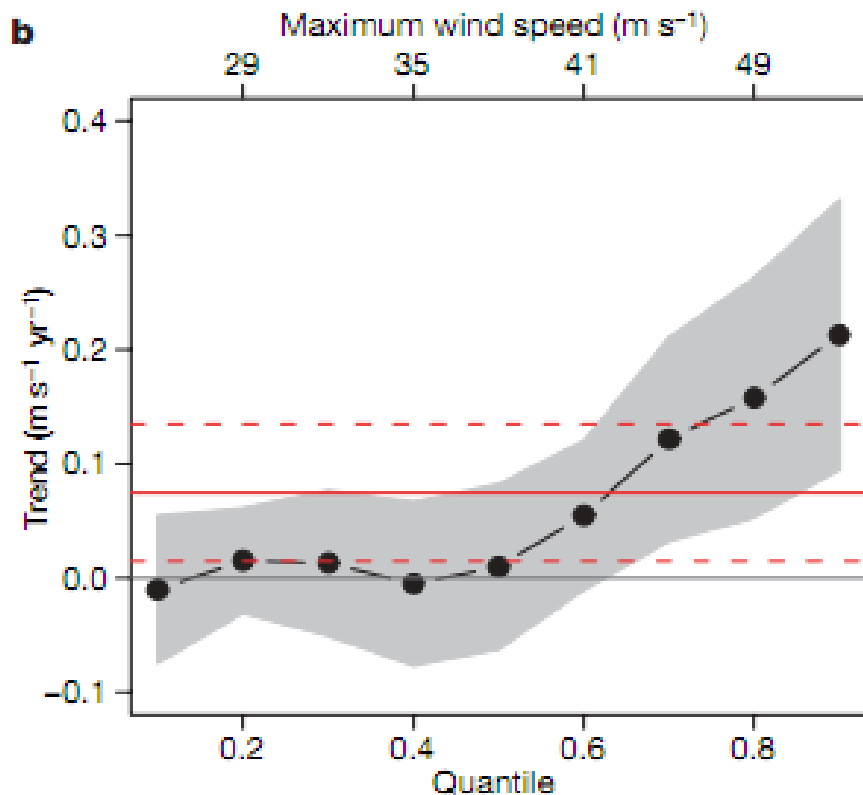
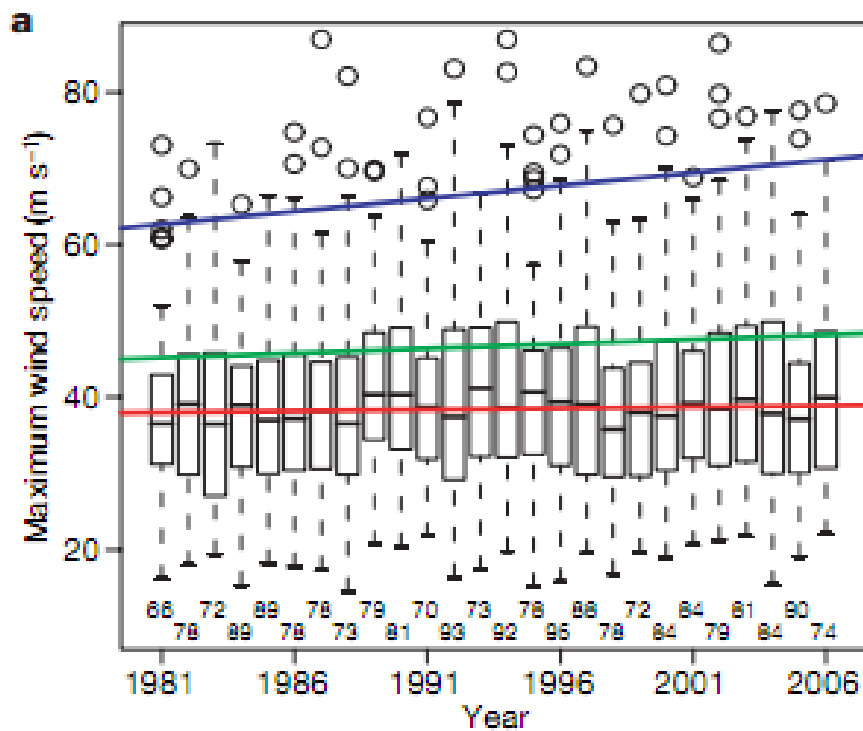
Całkowita moc huraganów w czasie danego roku oraz średnia temperatura obszaru ich generacji na Atlantyku (po lewej) i Pacyfiku (po prawej) silnie koreluje (odpowiednio $r^2=0.65$ i $r^2=0.67$).

Coraz więcej jest silnych huraganów 1/2



Wbrew modelom nie wzrasta maksymalna prędkość wiatru w huraganach. Za to coraz więcej z nich jest w pobliżu górnej granicy (kategoria 4 i 5)

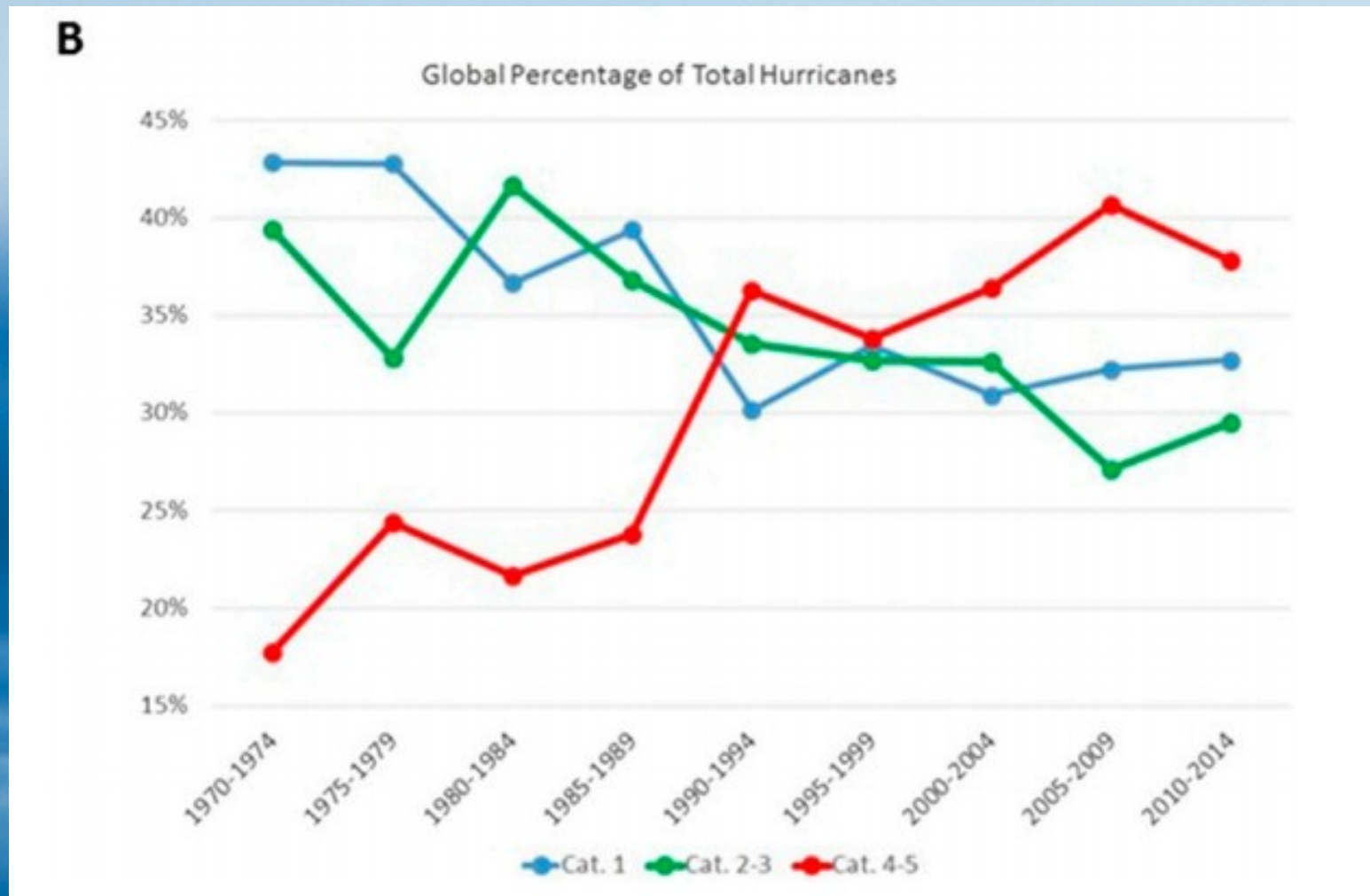
Coraz więcej jest silnych huraganów 2/2



Po podzieleniu wszystkich huraganów atlantyckich na 10 “kwantyli” wg. ich maksymalnej prędkości wiatru, przedstawiono (na górze) trendy mediany (czerwony), kwantyla 0.75 (zielony) oraz 1.5 razy odstęp między kwantylami (pierwszym i ostatnim).

Na dole trendy zmian dla każdego z 10 kwantyli w m/s na rok oraz linie ufności 90%. Widać, że najistotniejsze statystycznie są zmiany dla najsilniejszych huraganów.

Coraz więcej jest silnych huraganów 2/2



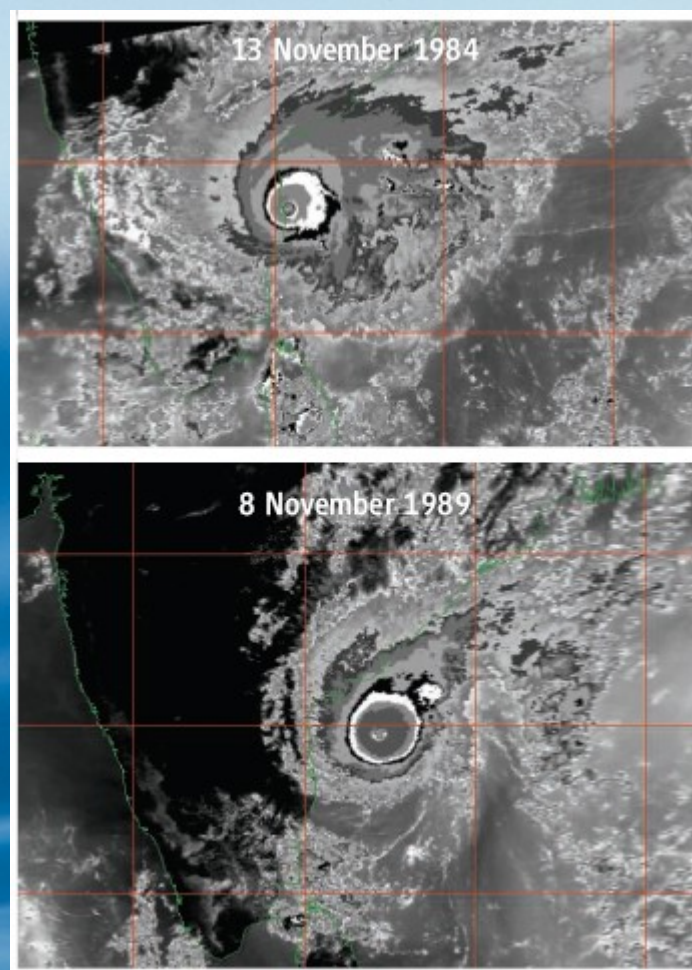
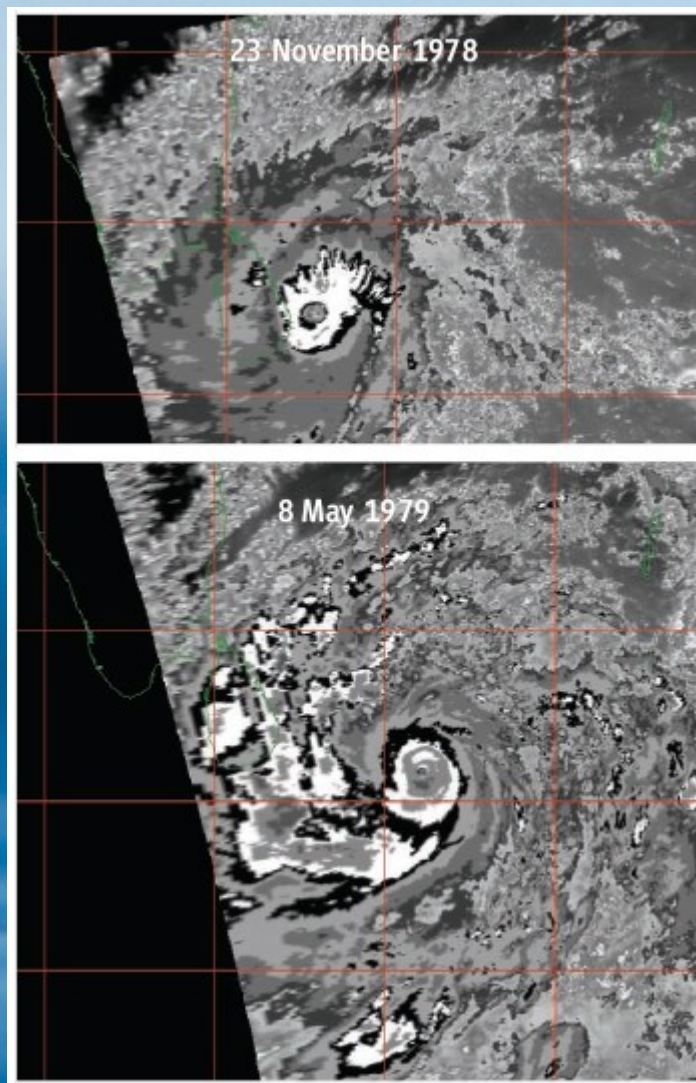
Powtórzenie analizy po 10 latach pokazuje coraz większą przewagę procentową huraganów kategorii 4 i 5

Najsilniejsze huragany w historii pomiarów

Table 2. Rank of the most intense (in terms of maximum sustained 1-min. wind) global tropical cyclones in the geostationary satellite era as determined by the objective, satellite-based Advanced Dvorak Technique.

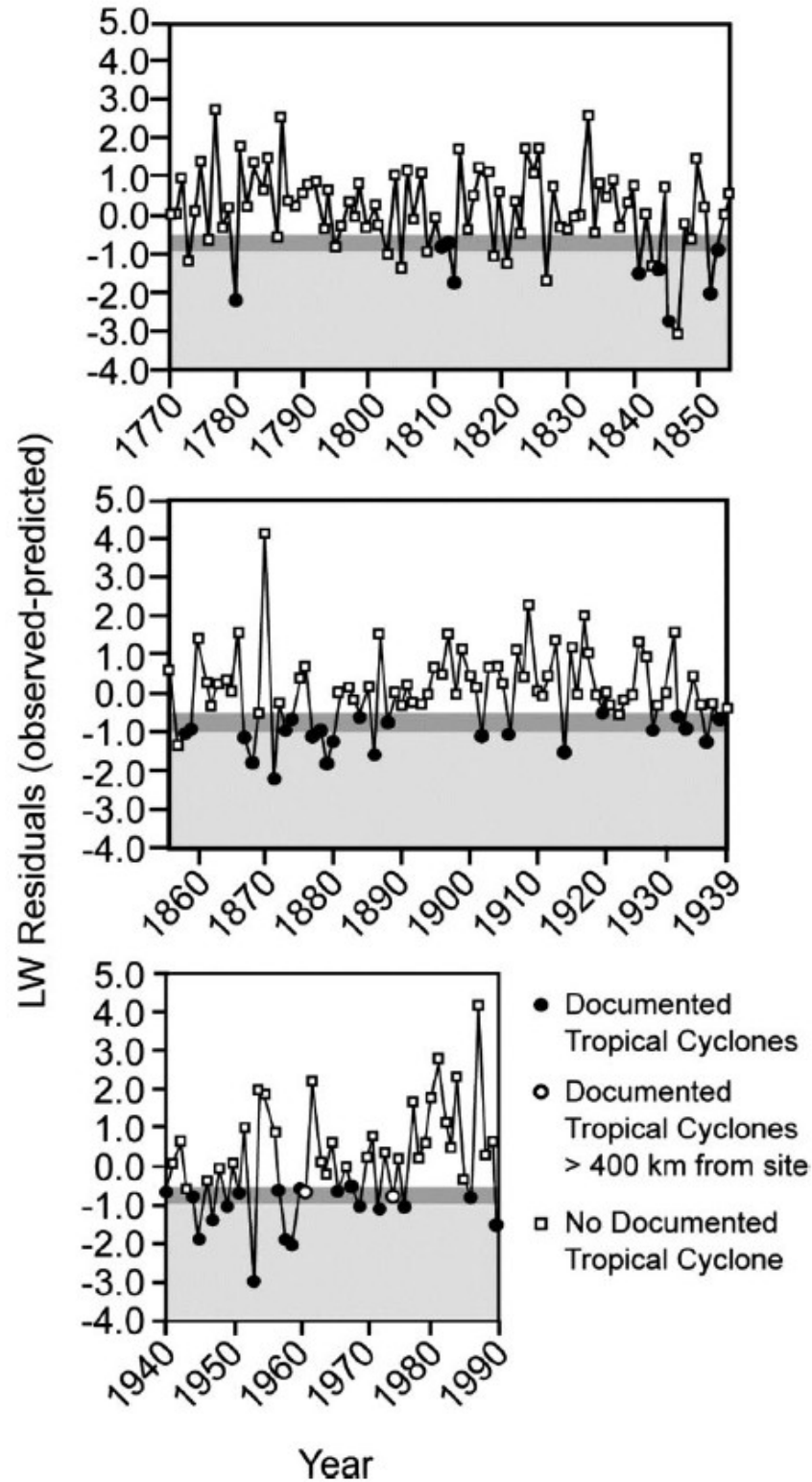
RANK: (ADT Vmax)	Tropical Cyclone Name (Year)	ADT Final* adjT#	ADT Est. Vmax (1-min. ave., Kts)	ADT Est. MSLP** (hPa) [rank]	BEST TRACK*** Vmax (1-min. ave., Kts)	BEST TRACK*** MSLP (hPa)	OPER. DVORAK Est. (CI#) ****
1	Patricia (2015)	8.4	182	876 [2]	185	872	7.0-7.5
2	Haiyan (2013)	8.2	176	878 [3]	170	895	8.0
3	Tip (1979)	8.1	173	873 [1]	165	870	7.5
3	Gay (1992)	8.1	173	883 [4]	160	900	7.5
5	Gilbert (1988)	8.0	170	887 [8]	160	888	7.5
5	Yuri (1991)	8.0	170	887 [8]	150	895	7.5
5	Nida (2009)	8.0	170	892 [12]	155	907	7.5
8	Linda (1997)	7.9	167	884 [5]	160	902	7.5-8.0
8	Allen (1980)	7.9	167	886 [6]	165	899	7.5
8	Vanessa (1984)	7.9	167	886 [6]	155	880	7.0
8	Wilma (2005)	7.9	167	888 [10]	160	882	6.5
8	Angela (1995)	7.9	167	889 [11]	155	910	7.5
* After all bias corrections based on reconnaissance aircraft calibrations, TC eye size, satellite view angle, IR image spatial resolution and frequency							

Ostrzeżenie: seria danych nie jest jednolita



Analiza starych zdjęć satelitarnych 1978-1989 współcześnie stosowanymi metodami ujawniła w niektórych częściach świata istnienie huraganów kategorii 4 i 5 wcześniej kwalifikowanych do niższych kategorii. Powyżej cztery przykłady z północnego Oceanu Indyjskiego. *Landsea et al. 2006 (Science)*

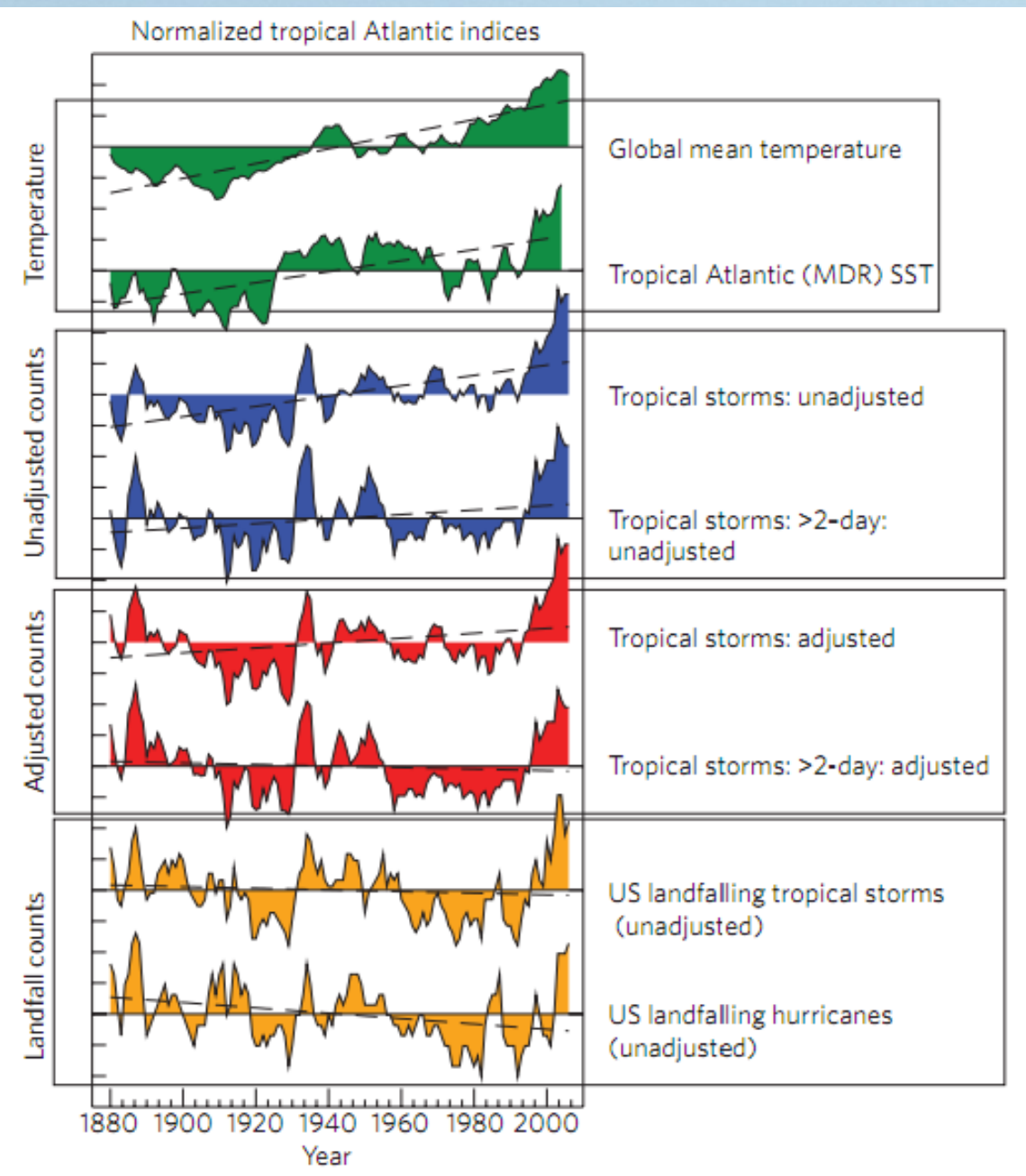
Badanie statystyk huraganów starszych niż meteorologia?



Badanie wartości stosunku izotopów tlenu dla części słoju letnio-jesiennych drzew w Georgii (po odfiltrowaniu zmienności wieloletniej) wskazuje na przejście w pobliżu huraganu (< -1).

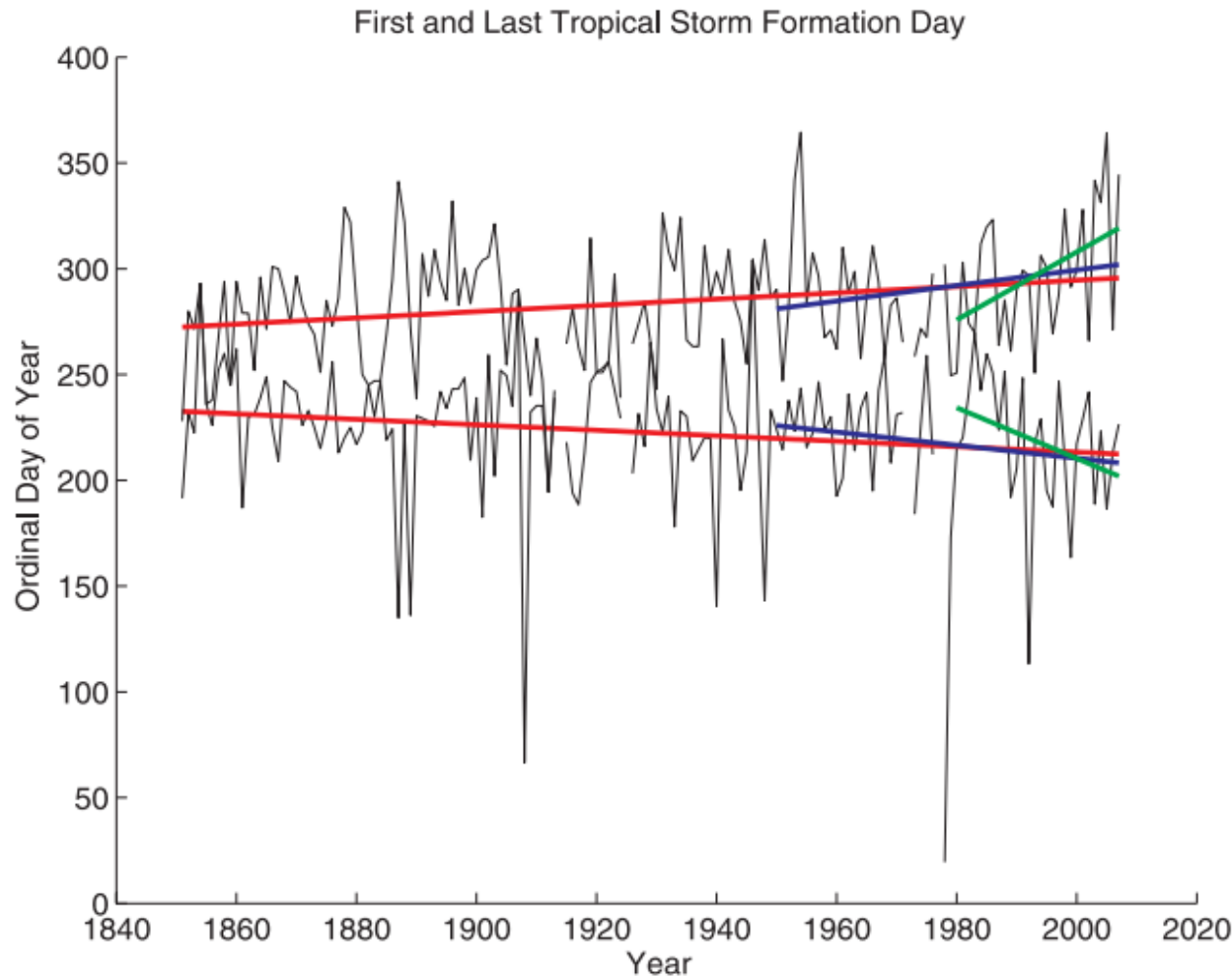
W okresie dla którego istnieją dobre dane meteorologiczne (od 1940) metoda dała tylko jedno fałszywe pozytywne zdarzenie (1943).

Huraganów jednak raczej nie przybywa



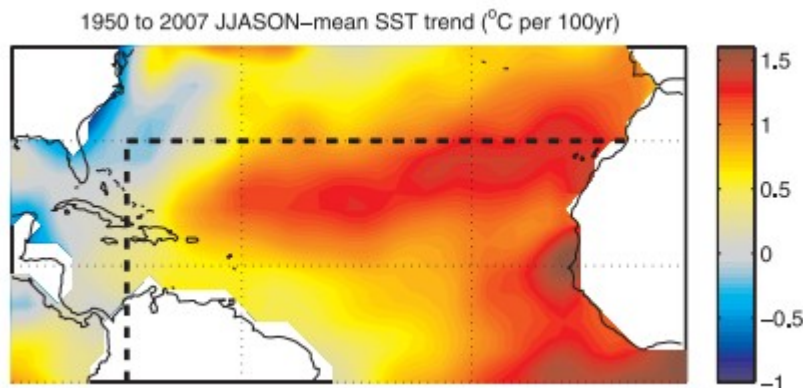
Po skorygowaniu liczby atlantyckich huraganów o współczynnik zależny od ilości obserwacji w danym okresie (głównie ze statków w okresie “przedlotniczym”) ilości huraganów (niebieskie przed korektą, czerwone po) oraz huraganów osiagających brzeg USA (żółte) wykazują albo znacznie mniejsze trendy dodatnie (wszystkie sztormy tropikalne) albo ujemne (dłuższe niż 2 dni oraz osiagające brzegi USA).

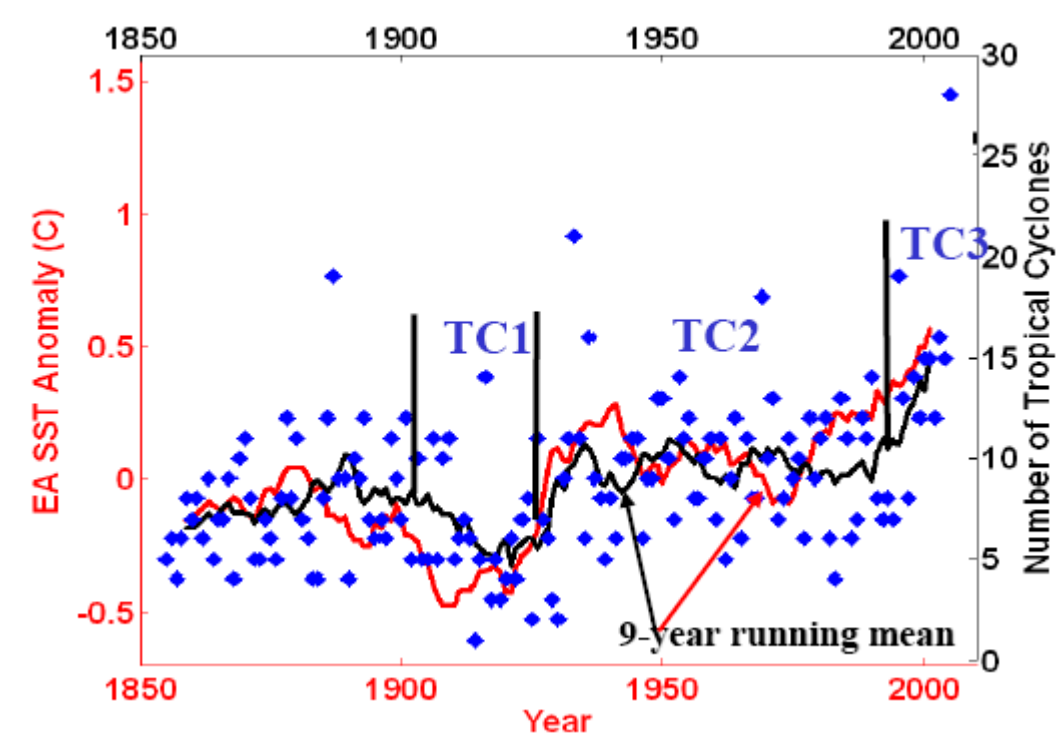
Sezon huraganów jest coraz dłuższy



Daty utworzenia się pierwszego i ostatniego huraganu atlantyckiego na południe od 30 N i na wschód od 75 W (obszar zaznaczony na mapce).

Trendy dla: całej serii czasowej od 1851 (czerwone), w okresie patroli lotniczych od 1950 (niebieski) i danych satelitarnych od 1980 (zielone)



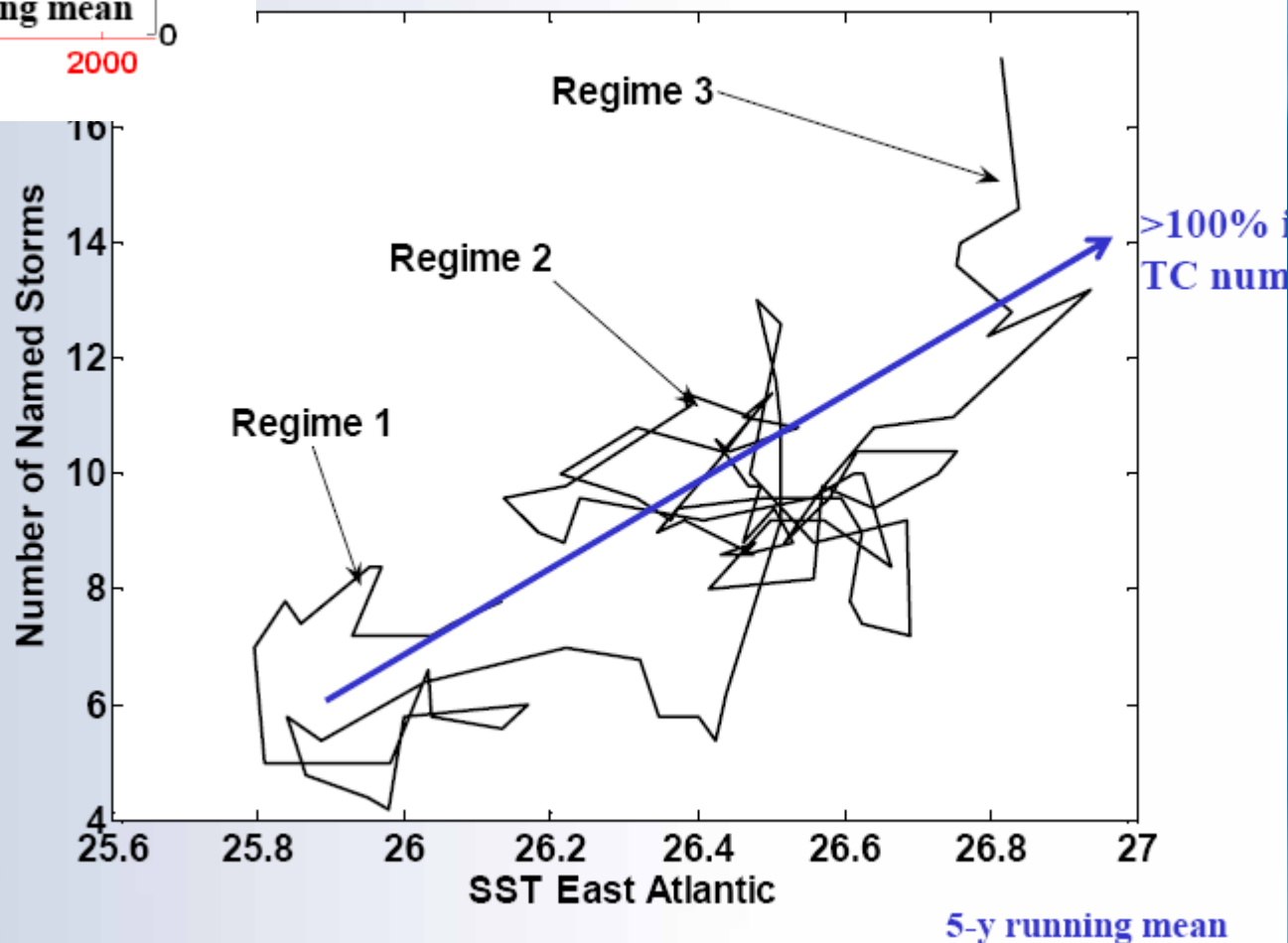


Trzy reżimy huraganów na Atlantyku?

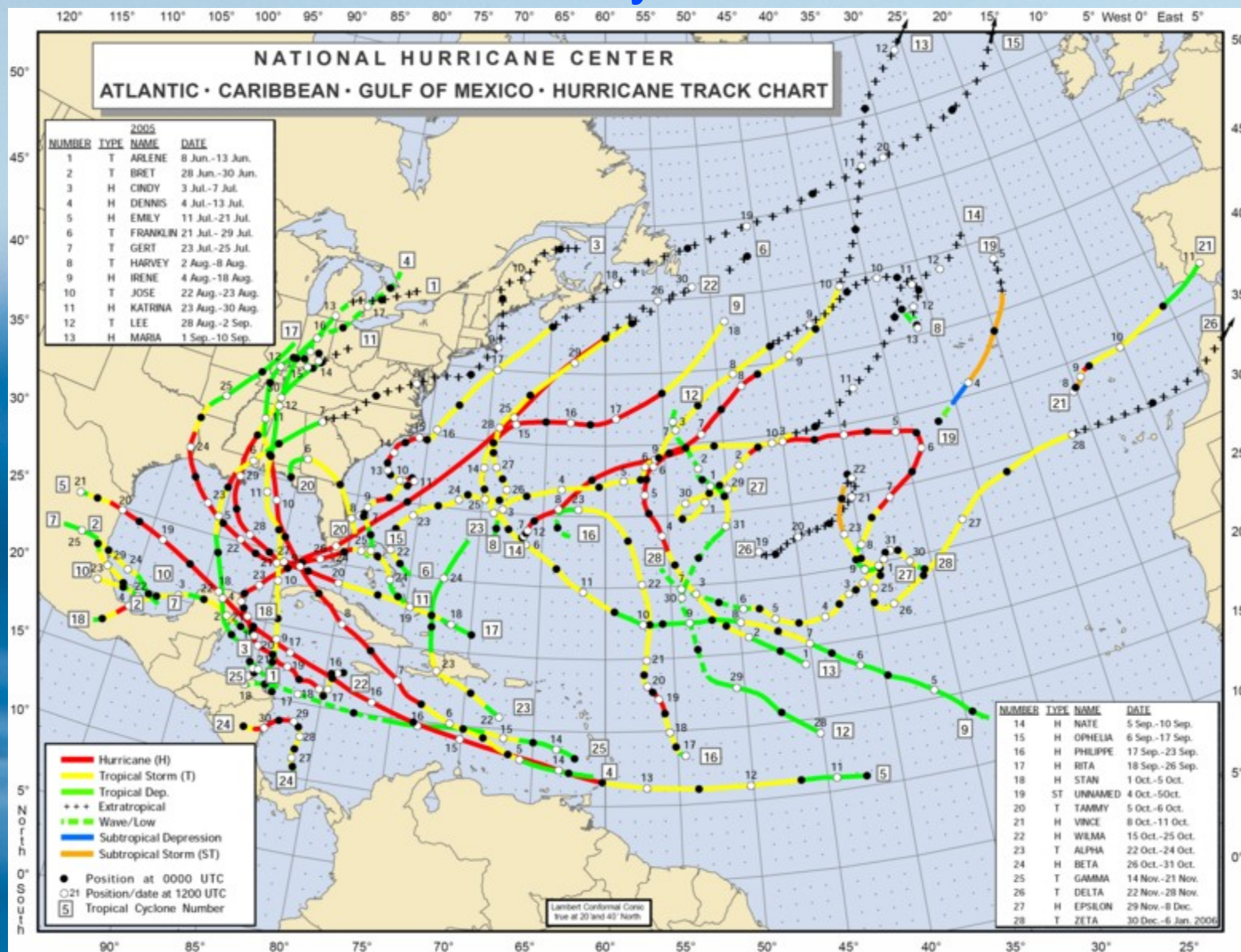
Dla Atlantyku SST i liczba huraganów są jednak dobrze udokumentowane.

Wydaje się, że ostatnie 100 lat było świadkiem już trzech reżimów klimatycznych Atlantyku z nieliniowym wzrostem ilości huraganów w miarę wzrostu temperatury powierzchni morza.

Holland 2006 (Komisja Senatu)

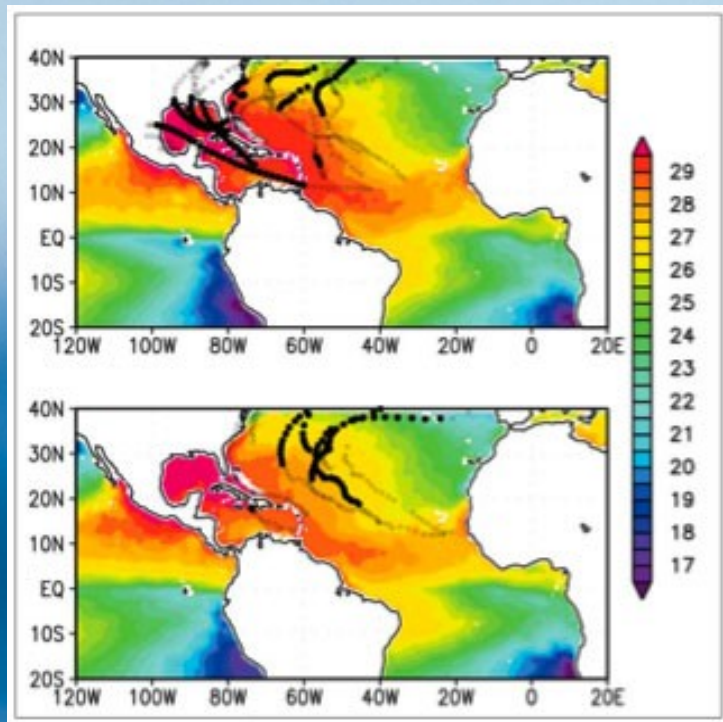


Rekordowy rok 2005



W roku 2005 na Atlantyku nazwano rekordowo wiele (26) huraganów i sztormów tropikalnych bijąc rekord z 1933 o pięć. Sezon trwał rekordowo długo (do 6 I 2006). Jeden z nazwanych sztormów dotarł do Europy.

Mało huraganów w 2006: El Niño czy Sahara?



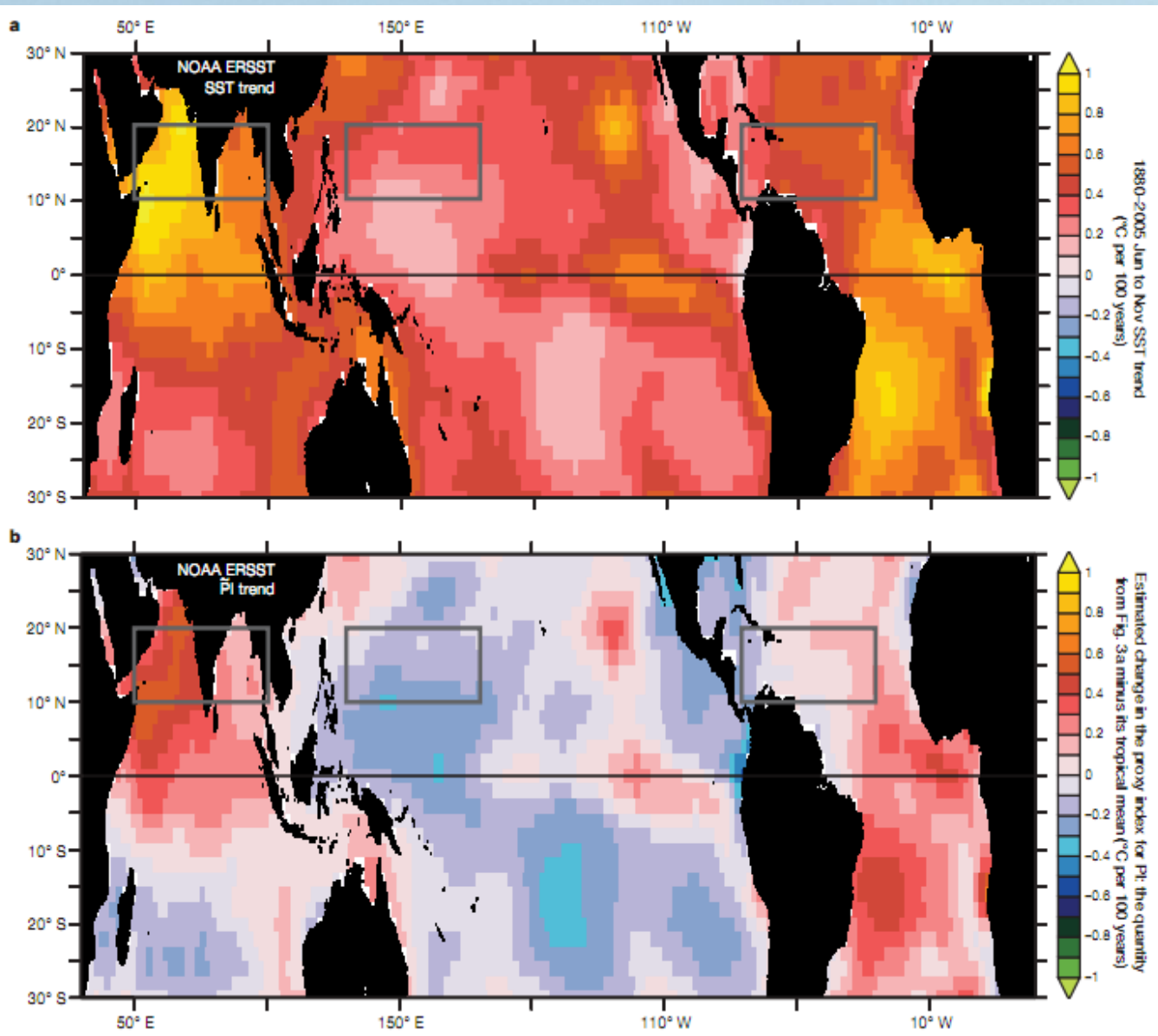
W 2005: 12 sztormów tropikalnych (1 nie nazwany) i 15 huraganów

W 2006: 4 sztormy tropikalne i 5 huraganów

Przyczyną jest mniejsza temperatura tropikalnego Atlantyku. Mogło ją spowodować trwające El Niño. Jest jeszcze jedna możliwość: burze pyłowe z Sahary jakie przeniosły pył nad Atlantyk w czerwcu i lipcu powodując oziębienie wód powierzchniowych.

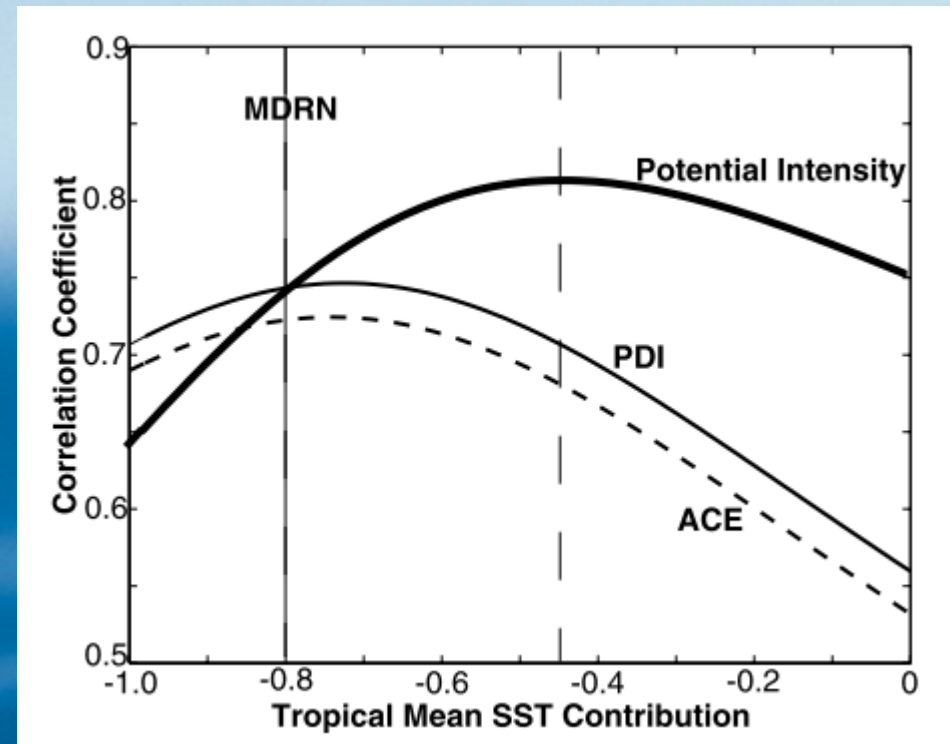
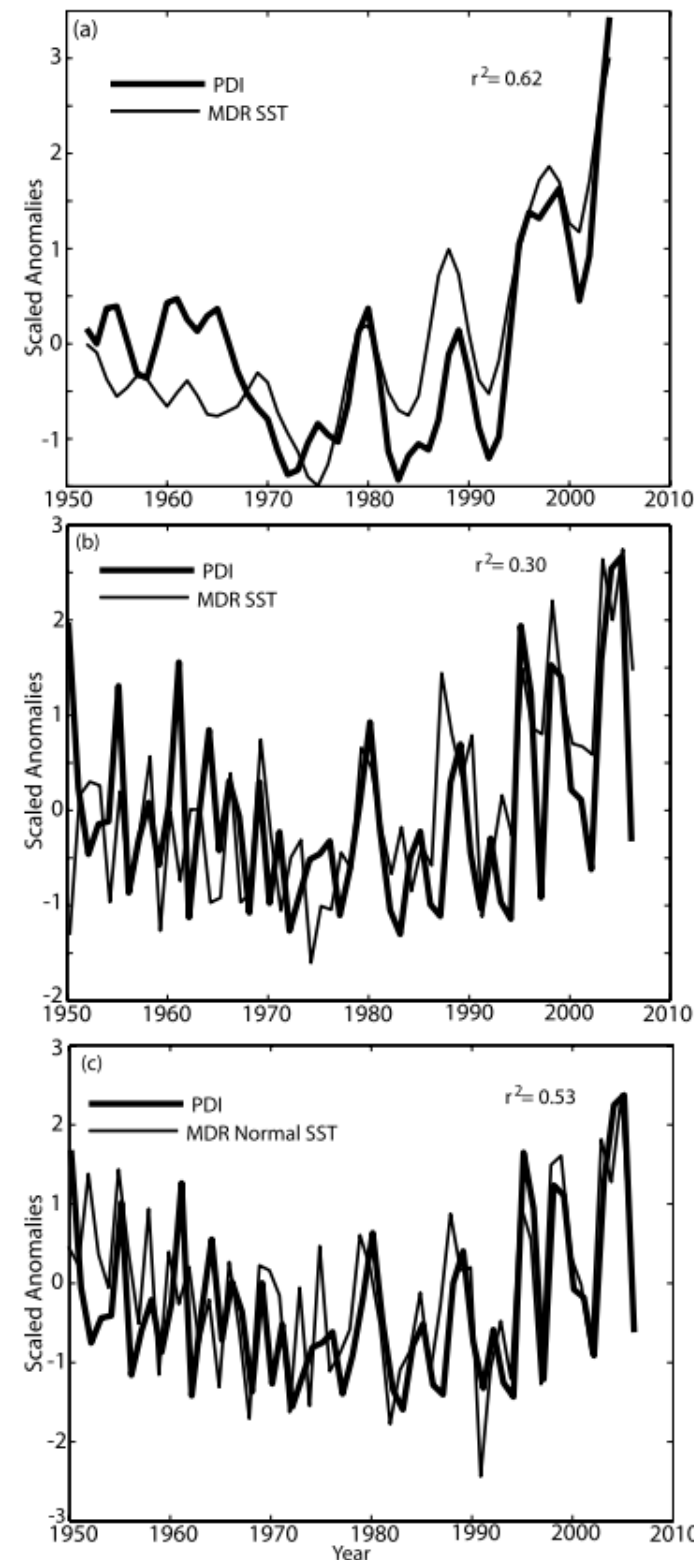
Lau & Kim 2007 (preprint)

Ale czy ilość huraganów zależy tylko od lokalnej temperatury?



Ale czy ilość huraganów (a dokładniej ich potencjalna intensywność PI – na dole) zależy nie tyle od zmian lokalnej temperatury oceanu (na górze trend zmian 1860 do 2006 w stopniach na stulecie), a raczej różnicy tych zmian i średniej dla całych tropików. Wynikać to może, z tego, że naprawdę liczy się różnica temperatur szczytu troposfery i powierzchni morza, a ta pierwsza jest praktycznie identyczna w całych tropikach (szybkie mieszanie).

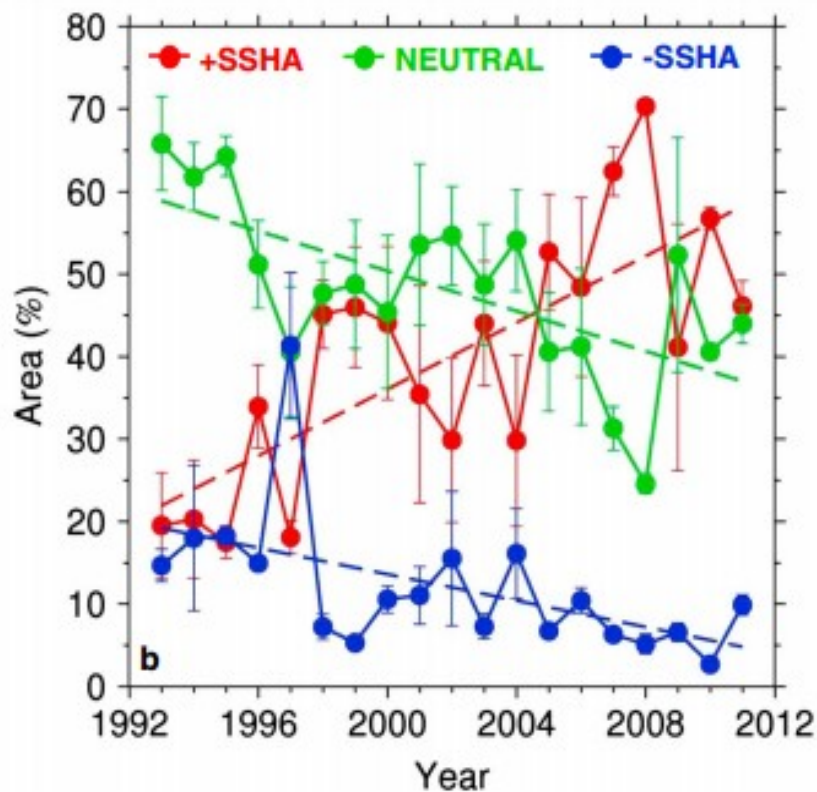
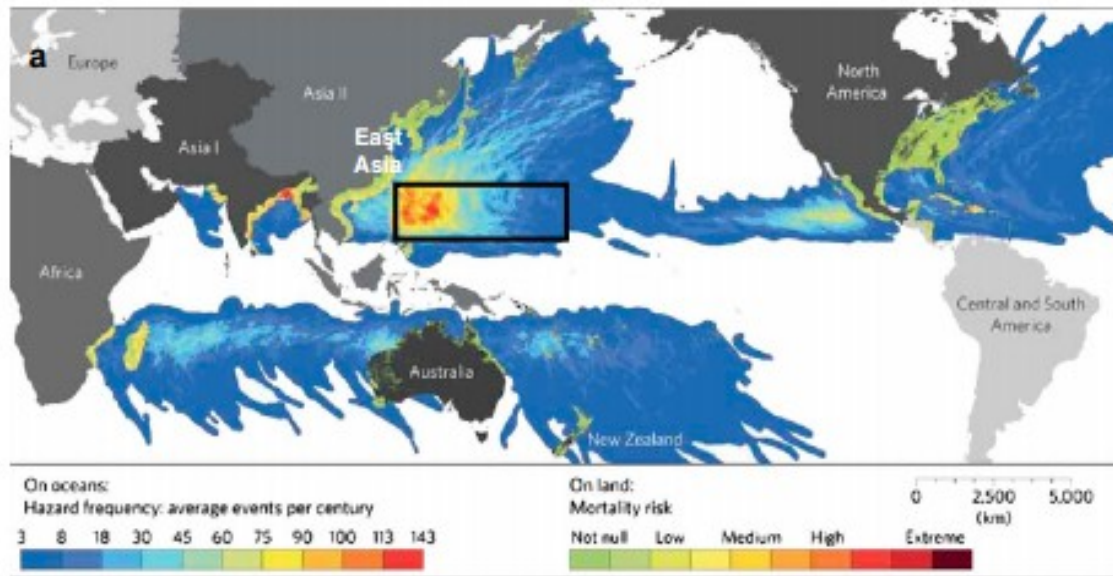
Intensywność huraganów jest rzeczywiście miarą nielokalną



Po lewej korelacje SST obszaru powstawania huraganów i ich sumarycznej energii uśrednionych filtrem 1-3-4-3-1 ($r^2=0.62$); nieuśrednionej ($r^2=0.30$) oraz nieuśrednionej różnicy w/w wartości i średniej temperatury oceanów tropikalnych ($r^2=0.53$). Powyżej wartości korelacji indeksów potencjalnej intensywności (PI), oraz aktualnej (PDI i ACE) z wartością $SST(local) - \alpha SST(tropical)$ w funkcji parametru α .

Swanson 2008 (Nature)

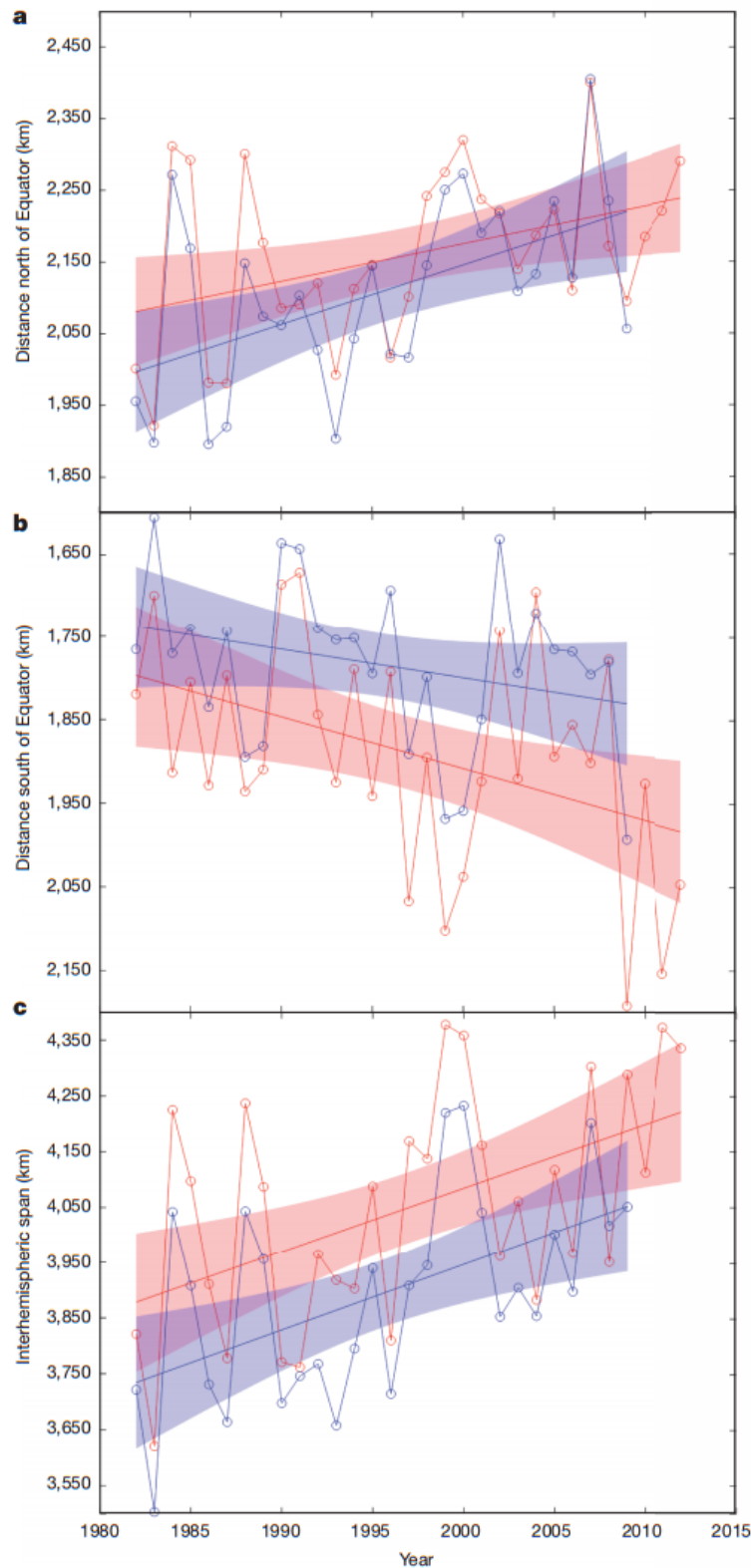
Rosnący potencjał huraganów na NW tropikalnym Pacyfiku



W ciągu ostatnich 20 lat wzrosła grubość warstwy wody o temperaturze $> 26^{\circ}\text{C}$ na północno-zachodnim tropikalnym Pacyfiku (obszar zaznaczony na mapie). Obszar gdzie poziom morza przekracza o odchylenie standardowe (8 cm) przeciętną rośnie a obszar gdzie jest niższy od maleje.

Oznacza to, że część obszaru gdzie głębokość z temperaturą $> 26^{\circ}\text{C}$ wzrósł z ok. 20% do 40%. Może to być przyczyną bezprecedensowo silnego cyklonu Haiyan w listopadzie 2013 roku.

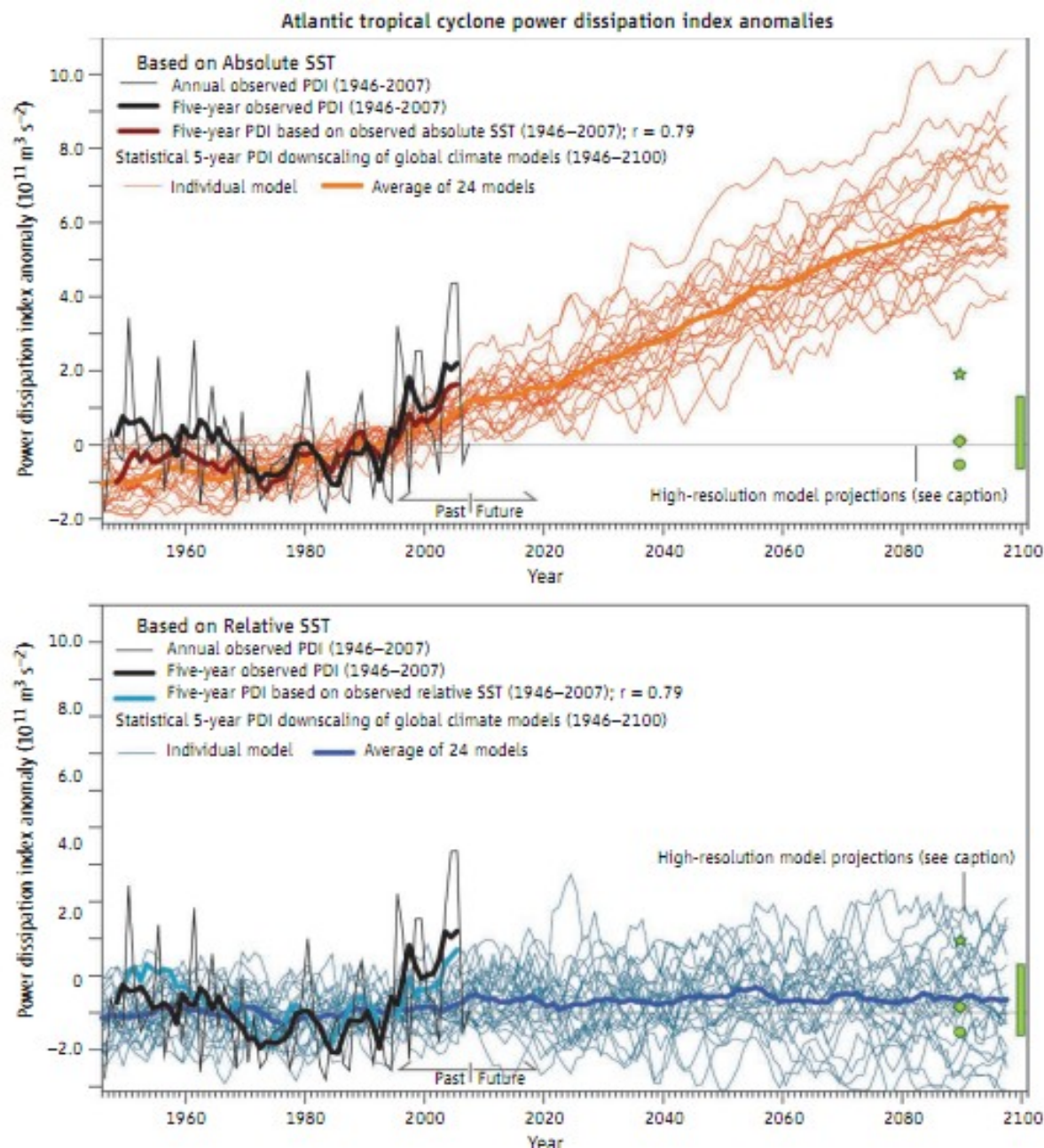
Huragany oddalają się od równika



W ciągu ostatnich 30 lat na obu półkulach zanotowano istotny statystycznie trend oddalania się od równika średniej odległości maksymalnych energii huraganów (LMI). Na rysunku przedstawiono wyniki dla danych historycznych (czerwone) oraz reanalizy ADT-HURSAT (niebieskie).

Kolejne panele to a) odległość od równika na półkuli północnej, b) południowej i c) łączna odległość między średnimi rocznymi LMI z obu półkul. Wartości podano w kilometrach.

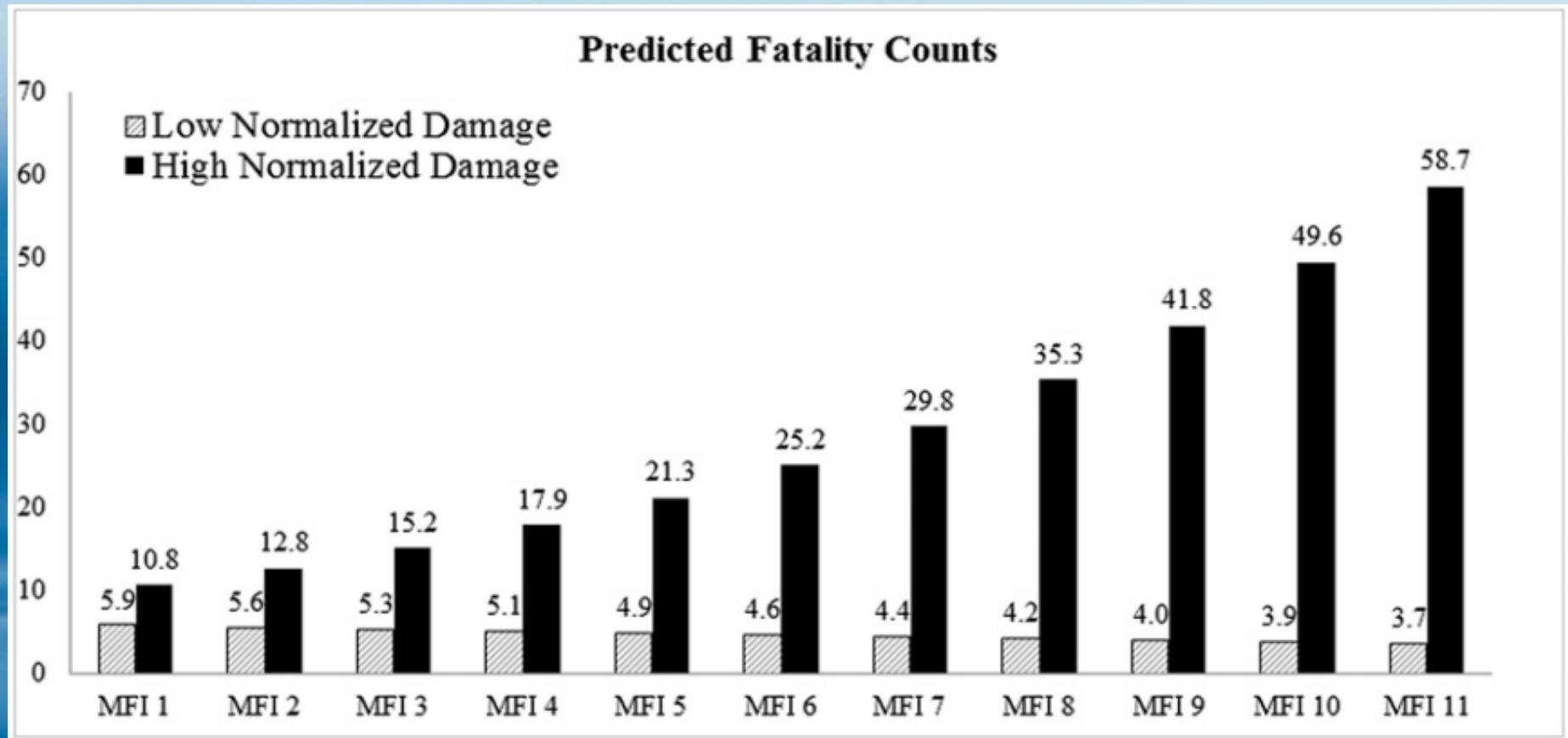
Co z tego wynika dla przyszłości?



Prognoza intensywności huraganów atlantyckich w XXI wieku zakładając jej zależność od przewidywanych temperatur tropikalnego Atlantyku (na górze) i różnicy pomiędzy nią a temperaturą wszystkich tropikalnych oceanów (na dole). Zielone punkty są wynikami modelowania intensywności huraganów w cieplejszym świecie końca XXI wieku przy pomocy modeli o dużej rozdzielczości.

Female hurricanes are deadlier than male hurricanes

Kiju Jung^{a,1}, Sharon Shavitt^{a,b,1}, Madhu Viswanathan^{a,c}, and Joseph M. Hilbe^d



Ilość ofiar śmiertelnych huraganów silnych (czarne) i słabych (szare) w funkcji indeksu “żeńskości” nazwy huraganu (MFI), ustalonego przez ochotników nie wiedzących do czego indeks ma być zastosowany.

Podsumowanie 3/3

- Huragany (cyklony i tajfuny) powstają wyłącznie na oceanie o temperaturze ponad 28° C. Istnieje znacząca korelacja między ich sumaryczną mocą a temperaturą akwenu (szczególnie silna dla Atlantyku gdzie istnieje najdłuższa seria wiarygodnych pomiarów)
- Moc huraganów nie koreluje z innymi parametrami meteorologicznymi (mimo przesłanek teoretycznych).
- Obserwuje się coraz więcej silnych huraganów zamiast przewidywanej w modelach coraz większej maksymalnej prędkości wiatru.
- Wydaje się, że zmiany intensywności huraganów na danym akwenie zależą od anomalii jego temperatury powierzchniowej w stosunku do całych tropików bardziej niż samej temperatury lokalnej. Nie wyklucza to jednak globalnego wzrostu tej intensywności w cieplejszym świecie



Trasa ewakuacji na wypadek huraganu (Miami, Floryda)

A satellite image of Southern California, showing a large plume of white smoke rising from the coastal region and drifting westward over the Pacific Ocean. The smoke is visible as a thick, white cloud against the darker blue of the water and the brownish-green of the land. Several small red squares are marked on the land, likely indicating the locations of the fires. The text 'Dziękuję za uwagę' is overlaid in the top right corner.

Dziękuję za uwagę

Za tydzień (19.12.2016 r.):
~~Aerozol: wielka niewiadoma klimatyczna~~
Gazy o znaczeniu klimatycznym (cykl
węgla, CO₂, metan, DMS)

*Pozary w Południowej Kalifornii, 28.10.2003,
MODIS, earthobservatory.nasa.gov*

Jacek Piskozub “Klimat a ocean: wczoraj, dziś i jutro”, kurs wykładów dla doktorantów 2016/2017

- ✓ Maszyna klimatyczna Ziemia (*zmienność w skali geologicznej*)
- ✓ Epoka lodowa w której żyjemy (*zmienność w skali astronomicznej*)
- ✓ Gwałtowne zmiany klimatu (*deglacjacja, zmienność “suborbitalna”*)
- ✓ Holocen: klimat, ocean a cywilizacja, (*stała słoneczna i wulkanizm*)
- ✓ Północny Atlantyk – kuźnia klimatu (*cyrkulacja termohalinowa, NAO*)
- ✓ Zmienność klimatu w skali dekadalnej (*AMO, NAO, PDO*)
- ✓ Tropiki a zmienność klimatu (*ENSO, huragany, monsuny*)
- ✓ Aerosol: wielka niewiadoma klimatyczna
- ✓ Gazy o znaczeniu klimatycznym (*cykl węgla, CO₂, metan, DMS*)
- ✓ Globalne ocieplenie a ocean (*zmienność antropogeniczna*)
- ✓ Zmiany klimatyczne w rejonach polarnych

*Holiday Greetings
from
Easter Island!*





To add

Indian Ocean Dipole

- Saji_et_al_1999 - a_dipole_mode_in_tropical_Indian_Ocean
- Ummenhofer_et_al_2009 - what_causes_SE_Australia_worst_droughts ! (also ENSO)
- Behera Luo Yamagata 2008 - unusual_IOD_event_of_2007
- Webster Hoyes 2010 - ENSO--beyond_the_spring_barrier <^> !!! (also Indian Ocean Dipole)
- Izumo_et_al_2010 -
Influence_of_the_state_of_Indian_Ocean_Dipole_on_following_year_El_Nino