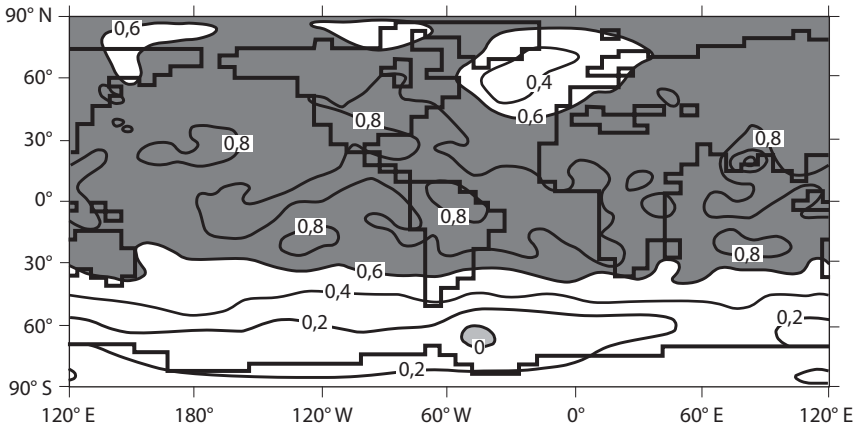


Rysunek 8.8 przedstawia rozkład geograficzny stosunku reakcji zależnej od czasu do przedstawionej powyżej reakcji równoważnej. Stosunek ten jest mniejszy niż 0,4 w szerokim pasie strefowym nad Oceanem Południowym i spada poniżej 0,2 w pobliżu wybrzeża Antarktydy. Oznacza to, że opóźnienie odpowiedzi wynosi ponad 40 lat na Oceanie Południowym i ponad 60 lat w pobliżu wybrzeża Antarktyki. W północnej części Oceanu Atlantyckiego, między Grenlandią a zachodnim wybrzeżem Europy, stosunek ten również wynosi mniej niż 0,4, co wskazuje, że opóźnienie wynosi ponad 40 lat. W pozostałej części świata, w tym w regionach kontynentalnych i oceanicznych, stosunek ten wynosi około 0,7–0,8, co odpowiada opóźnieniu 15–20 lat. Krótko mówiąc, opóźnienie nad Oceanem Południowym i północnym Oceanem Atlantyckim jest większe niż średnie globalnie opóźnienie wynoszące ~30 lat, zaś nad resztą świata jest na ogół krótsze niż średnia globalna.



Rysunek 8.8 Rozkład geograficzny stosunku reakcji zależnej od czasu temperatury powietrza przy powierzchni ze sprzężonego modelu atmosfera-ocean (pokazanego na rysunku 8.7a) do równoważnej reakcji temperatury powietrza przy powierzchni z modelu atmosfera/warstwa-dobrze-wymieszana-oceanu (pokazany na rysunku 8.7b). Na podstawie Manabe i in. (1991).

Zależną od czasu reakcję temperatury powietrza przy powierzchni w modelu sprzężonym (rysunek 8.7a) można porównać z trendem w obserwowanej zmianie temperatury przy powierzchni w ciągu ostatnich kilku dekad (patrz rycina 1), wyliczonej na podstawie anomalii 25-letniej średniej temperatury przy powierzchni w latach 1991–2015 w odniesieniu do 30-letniego okresu bazowego (1961–90). Ze względu na usunięcie krótkoterminowych fluktuacji w rezultacie uśredniania, anomalie te można uznać za wskaźnik długoterminowego trendu temperatury przy powierzchni w ciągu ostatniego półwiecza, gdy globalne ocieplenie było najbardziej wyraźne (patrz rys. 1.1).

Chociaż obserwowane anomalie temperatury są nierównomierne – częściowo ze względu na ograniczenia w próbkowaniu – są one dodatnie na dużej części globu.

Oznacza to, że w ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat temperatura przy powierzchni wzrosła prawie wszędzie. Na półkuli północnej skala anomalii jest stosunkowo duża zarówno na kontynencie euroazjatyckim, jak i północnoamerykańskim i zwiększa się wraz ze wzrostem szerokości geograficznej. Z kolei na Oceanie Południowym, od 50°S w kierunku bieguna, anomalie są niewielkie, i to zarówno ze znakiem dodatnim, jak i ujemnym. Stanowi to ostry kontrast z wysokimi szerokościami geograficznymi na półkuli północnej, gdzie anomalie mają zwykle duże wartości dodatnie. Dość zachęcające jest to, iż geograficzny wzorzec obserwowanych anomalii temperatury przy powierzchni opisanych powyżej przypomina reakcję temperatury powietrza na powierzchni, pokazaną na rysunku 8.7a. Podobieństwo między tymi dwoma wzorcami wskazuje możliwość, że model sprzężony zawiera podstawowe procesy fizyczne, które kontrolują wielkoskalowy rozkład globalnego ocieplenia na powierzchni Ziemi. Dalsze omówienie tego tematu stanowi komentarz Stouffera i Manabego (2017).

Należy w tym miejscu zauważyć, że wymuszenie termiczne zastosowane w tym badaniu wiązało się ze wzrostem ekwiwalentnego do CO₂ stężenia gazów cieplarnianych. Zmiany w innych czynnikach wymuszających, takich jak aerozole antropogeniczne, promieniowanie słoneczne i aerozole wulkaniczne, zostały ignorowane. Podobieństwo między symulowanymi i zaobserwowanymi wzorcami sugeruje, że geograficzny rozkład zmian temperatury przy powierzchni może nie zależeć krytycznie od wzorca wymuszenia termicznego.

W momencie podwojenia stężenia CO₂ międzypółkulowa asymetria reakcji przejawia się nie tylko w SST, ale także w geograficznym rozkładzie grubości lodu morskiego w lecie (rysunek 8.9). Zarówno zasięg obszarowy, jak i grubość lodu morskiego w Oceanie Arktycznym i otaczających go regionach znacznie się zmniejszają. Chociaż nie pokazano tego tutaj, znaczne zmniejszenie jego grubości występuje również zimą. Z kolei na Oceanie Południowym grubość i zasięg lodu morskiego w lecie wzrasta na Morzu Weddella i w jego bezpośrednim sąsiedztwie, ale raczej nie zmienia się w innych regionach. Podobne jakościowo zmiany zachodzą również zimą (czego tutaj nie pokazano), gdy lód morski rozszerza się w kierunku niskich szerokości geograficznych. W ujęciu rocznym grubość i pokrycie powierzchniowe lodem morskim znacznie zmniejszają się na Oceanie Arktycznym i obszarze subpolarnym, natomiast prawie nie zmieniają się na Oceanie Południowym, z wyjątkiem mórz Weddella i Rossa, gdzie wraz z postępującym globalnym ociepleniem grubość lodu morskiego zwiększa się. Zasymlowana przez model asymetria międzypółkulowa w zmianach lodu morskiego wydaje się być zasadniczo zgodna z temperaturą przy powierzchni opisaną wcześniej w tym rozdziale.

W ciągu ostatnich kilku dekad, kiedy były dostępne całościowe obserwacje z satelitarnych sondowań mikrofalowych, zmiany średniego rocznego zasięgu lodu morskiego na obu półkulach znacznie się różniły. Vaughan i in. (2013) w *Piątym raporcie IPCC* przedstawili szeregi czasowe średniego rocznego zasięgu lodu morskiego