

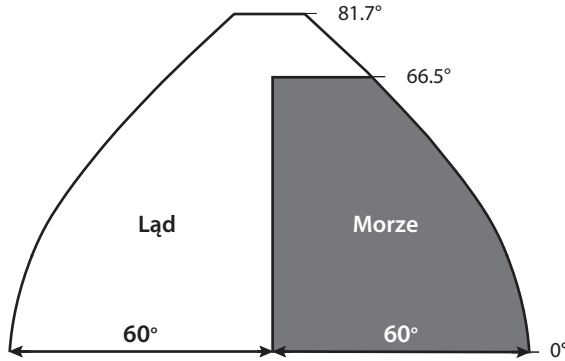
5

Wczesne eksperymenty numeryczne

Arktyczne wzmocnienie

Wykorzystanie modeli GCM do badania zmian klimatu rozpoczęło się w GFDL pod koniec lat 60. i na początku lat 70. XX wieku. Wyniki tych prac zostały opisane w dwóch powiązanych artykułach opublikowanych w połowie lat 70. (Manabe i Wetherald, 1975; Wetherald i Manabe, 1975). W pierwszej pracy przeanalizowano reakcję klimatu na hipotetyczne podwojenie stężenia atmosferycznego CO₂, a w drugiej analizie zbadano reakcję na zmianę o 2% natężenia promieniowania słonecznego. Chociaż model zastosowany w tych badaniach był podobny do modelu średniej rocznej opisanego w poprzednim rozdziale, istniała jedna istotna różnica. Aby uwzględnić efekt dodatniego zwrotnego sprzężenia pary wodnej, w modelu wykorzystano rozkład pary wodnej określony przez model do obliczenia transportu radiacyjnego – w przeciwieństwie do pierwotnego modelu średniej rocznej, w którym wykorzystano rozkład zaobserwowany.

Ze względu na ograniczoną moc obliczeniową dostępną w tamtym czasie pożądane było zminimalizowanie wymagań obliczeniowych każdego eksperymentu numerycznego. Aby osiągnąć ten cel, przestrzenna dziedzina modelu została zredukowana z jednej półkuli do jednego sektora, który obejmował tylko jedną szóstą kuli ziemskiej. Sektor ten był ograniczony dwoma południkami oddalonymi od siebie o 120° długości geograficznej i rozciągał się od równika do 81,7°, jak pokazano na rysunku 5.1. Na wschodniej i zachodniej granicy dziedziny dla atmosfery narzucono cykliczną ciągłość, tak że zaburzenie atmosferyczne, które wychodziło przez jedną z granic północ-południe, ponownie wchodziło do dziedziny przez inną granicę. Na równiku i równoleżniku 81,7° rozmieszczono izolowane granice swobodnego poślizgu (*free-slip*). Pomimo ograniczonego zakresu przestrzennej dziedziny sektor został zaprojektowany tak, aby był wystarczająco szeroki, by móc podtrzymywać fale planetarne, które odgrywają kluczową rolę w kontrolowaniu dynamiki cyrkulacji atmosferycznej.



Rysunek 5.1 Dziedzina obliczeniowa modelu ogólnej cyrkulacji zastosowanego przez Manabe i Wetheralda (1975)

Ta dziedzina obejmująca jeden sektor została następnie podzielona na ląd i morze, z których każde miało rozpiętość południkową 60° . W przeciwieństwie do poprzednich modeli, które określały temperatury przy powierzchni morza na podstawie obserwacji, temperatury przy powierzchni oceanicznej i kontynentalnej zostały określone przez wymóg bilansu cieplnego przy domyślnym założeniu, że pojemność cieplna powierzchni morza wynosi zero, podobnie jak powierzchni kontynentu. To założenie umożliwiło reagowanie temperatur w modelu na zmiany w bilansie energetycznym górnych warstw atmosfery, które wynikały z narzuconych zmian stężenia CO_2 lub promieniowania słonecznego. Gdy temperatura przy powierzchni morza spadała poniżej punktu zamarzania wody morskiej (-2°C), to przyjmowano, że powierzchnia morza jest pokryta lodem morskim o wyższym albedo. Chociaż powierzchnia oceaniczna modelu została przyjęta jako zawsze wilgotna z nieograniczoną dostępnością wody, to dla powierzchni kontynentalnej wilgotność gleby i głębokość śniegu obliczano analogicznie jak w modelu średniej rocznej opisanym w rozdziale 4. Umożliwiając modelowi przewidywanie zasięgu lodu morskiego i śniegu o wysokim stopniu odbicia światła, model był w stanie zasymulować zwrotne sprzężenie albedo, które zwiększało wrażliwość klimatu.

Eksperyment z podwojeniem stężenia CO_2

Aby oszacować równoważną reakcję temperatury na podwojenie stężenia CO_2 w atmosferze, przeprowadzono dwa zestawy symulacji polegających na numerycznych całkowaniach po czasie modelu. W pierwszym zestawie całkowani przyjęto stężenie atmosferycznego CO_2 na poziomie 300 ppmv. Przeprowadzono dwa całkowania dla okresu 800 dni, różniące się jedynie warunkami początkowymi. Chociaż oba rozpoczęły się od izotermicznej i suchej atmosfery w spoczynku, w pierwszym stanie początkowym było bardzo ciepło, a w drugim było bardzo zimno. Pomimo tak dużych różnic temperatur na początku obu procesów obliczeniowych, pod koniec