



KlimaProg

Forskningsprogram om klima og klimaendringer

<http://program.forskningsradet.no/klimaprogram/>

Lovende resultater for nyutviklet klimamodell

En 300 års kontrollkjøring med Bergen Climate Model gir lovende resultater med tanke på senere scenarier for fremtidens klimaendringer.

**Asgeir Sorteberg, Mats Bentsen,
Helge Drange, Tore Furevik, Ina
K. T. Kindem og Nils Gunnar Kvamstø**

RegClim

Som den tredje europeiske klimagruppe har forskere fra Geofysisk institutt ved Universitetet i Bergen og Nansen senter for miljø og fjermmåling (NERSC) gjennomført en 300 års kontrollkjøring med Bergen Climate Model (BCM) for simulering av dagens klima. Utviklingen av modellen er et ledd i RegClims strategi for å belyse regionale klimaendringer under global oppvarming. Det spesielle med modellen er en fleksibel mulighet for variabel oppløsning i både hav og atmosfære. Ved å velge ut et område med høy oppløsning vil således den globale modellen kunne anvendes til studier av toveis vekselvirkninger mellom det storstilte globale klimasystemet og

fenomener på regional skala. I tillegg vil kjøring med modellen kunne brukes til dynamisk og statistisk nedskalering (beskrevet av blant andre Førland og Nordeng i *Cicerone* 6-99).

Modellen

Modellen har vært beskrevet i *Cicerone* tidligere (Kvamstø og Furevik 5-2000). Den består av atmosfæremodellen ARPEGE/IFS, som er utviklet i samarbeid mellom Météo France og det europeiske senteret for værvarsling (ECMWF) i England, og havmodellen MICOM, som er utviklet ved Florida State University og modifisert ved NERSC. Havmodellen har videre en modul for sjøis utviklet ved Nansensenteret. For teknisk kobling av informasjon mellom de forskjellige modellmoduler brukes koblingsverktøyet OASIS utviklet ved CERFACS i Frankrike. Koblingen omfatter blant annet et lukket ferskvannsbudsjett der vannet i sine ulike faser kan oppholde seg i

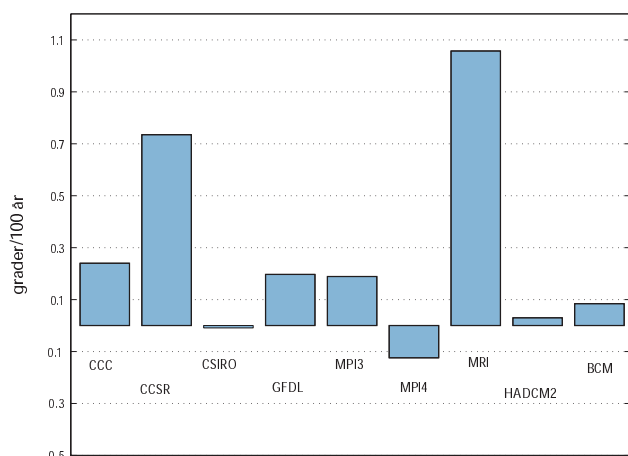
atmosfære, sjøis, landis, snø, jord og hav.

I andre koblede modeller brukes vanligvis enten identiske gitter for hav og atmosfære, eller gitter hvor en gitterrute i atmosfæremodellen er delt i et konstant antall havruter, slik at hav og atmosfære har samme grove kystlinje. BCM kan bruke irregulære og uavhengige gitter for atmosfære og hav med ulike kystlinjer. For å få til dette er det lagt ned et betydelig arbeid i å utvikle korrekte energiflukser (overføring av varme og bevegelsesmengde) mellom hav og atmosfære (Furevik m.fl., 2000).

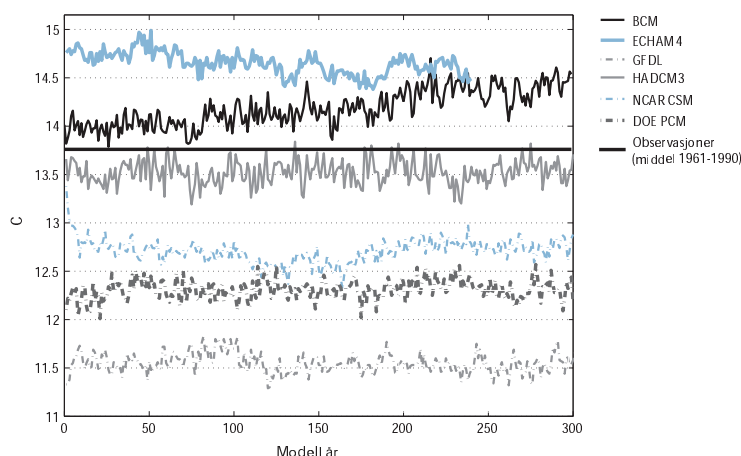
Kontrollkjøringen er kjørt i et regulært gitter for atmosfæren, såkalt T63-oppløsning, som tilsvarer omkring 2,8° mellom beregningspunktene. I havet varierer oppløsningen fra mindre enn 1° ved ekvator til 2,4° i subtropene. Kontrollsimuleringen er kjørt med såkalte flukskorreksjoner, dvs. en korreksjon av energiflukksene mellom atmosfære og hav for å unngå drift i modellens klima. Slik

KlimaProg-Forskningsprogram om klima og klimaendringer (2002-2011) dekker naturvitenskapelig forskning som sikter på å øke forståelsen av klimasystemet og klimaendringer. Programmet hører inn under Norges forskningsråd og finansierer blant annet de store, koordinerte forskningsprosjektene COZUV, NOCLIM, NORPAST og RegClim.

KlimaProg har sin egen redaksjon for å informere om forskningen i samarbeid med CICERO Senter for klimaforskning, og har egne sider i hvert nummer av tidsskriftet *Cicerone*.



Figur 1. Drift i temperatur første 100 år i BCM sammenliknet med andre flukskorrigerte modeller (CCC: kanadisk modell, CCSR: japansk modell, CSIRO: australsk modell, GFDL: Princeton, USA, MPI3: Echam 3, MPI, Tyskland, MPI4: Echam4, MPI, MRI: en annen japansk modell, HadCM2: Hadleysenteret, UK, BCM: Bergen Climate model). Alle verdier hentet fra Lambert og Boer (2001).



Figur 2. Tidsserie av årlig global bakkenær gjennomsnittstemperatur for BCM sammenliknet med gjennomsnitt av observasjoner fra 1961-1990 og andre koblede klimamodeller. Alle verdier hentet fra Covey m. fl. (2000).

korreksjon brukes også i andre modeller med tilsvarende oppløsning for havet. Simuleringen er kjørt med klimatologiske middelverdier for ozon, sulfat og CO₂ (353 ppm).

Trender

Modellen er kjørt i 300 år for å teste modellens evne til å beskrive dagens klimavariasjoner både på kort (sesong til tiårsvariasjoner) og lang tidsskala (for eksempel knyttet til bunnvannsdannelse og den termohaline sirkulasjon i havet). For å kunne ha tillit til modellens evne til å simulere framtidige klimavariasjoner, er det et absolutt krav at modellens klima ikke endrer seg over tid. De fleste koblede modeller som bruker dagens konsentrasjoner av CO₂ vil vise en trend i global middeltemperatur gjennom simuleringen. Figur 1 viser at global middeltemperatur i BCM øker med 0,08°C de første 100 årene. Dette er først og fremst forårsaket av en drift mot mindre sjøis i Antarktis, samt et for tynt isdekket i Arktis om sommeren. Små feil i isdekket vil generelt gi kraftige utslag i temperatur ved overflaten pga. av stor temperaturforskjell mellom åpent vann og is. Temperaturdriften i BCM kan sammenlignes med driften i andre flukskorrigerte modeller (Figur 1) og er en størrelsesorden under forventet temperaturøkning på

grunn av økt drivhuseffekt i dette århundret. Temperaturdriften vil derfor i liten grad innvirke på kommende resultater fra kjøring med et foreskrevet scenario for CO₂.

Global middeltemperatur

Det er en kjensgjerning at modellenes evne til å beskrive dagens klima varierer. Figur 2 gir en oversikt over årlig global gjennomsnittstemperatur i to meters

Tabell 1. Globale middelverdier for BCM sammenliknet med observerte verdier. ¹NCEP reanalyser (1950-1990), ²ISCCP D2 (Rossow og Zhang, 1995), ³CMAP (Xie og Arkin, 1997), ⁴Baumgartner og Reichel (1975), ⁵Kiehl og Trenberth (1997).

Variabel	Gjennomsnitt		Enhet
	BCM	Observasjoner	
2 m Temperatur (årlig)	14,2	13,8 ¹	°C
2 m Temperatur (DJF)	12,4	12,3 ¹	°C
2 m Temperatur (JJA)	16,0	15,3 ¹	°C
Sjøtemperatur	18,0	18,1	°C
Sjøsalt (i promille)	34,76	34,64	psu
Arktisk sjøis	7,9	10,7	mill. km ²
Antarktisk sjøis	6,6	10,2	mill. km ²
Totalt skydekk	67,8	67,7 ²	%
Nedbør	3,10	3,05 ³	mm/dag
Ferskvannsavrenning	0,74	0,73 ⁴	mm/dag
Netto kortbølget ved "Top of Atm." (TOA)	235	235-238 ⁵	W/m ²
Netto kortbølget ved bakken	153	142-172 ⁵	W/m ²
Utgående langbølget ved TOA	235	235-238 ⁵	W/m ²
Utgående langbølget ved bakken	49	40-72 ⁵	W/m ²
Netto avkjølede effekt av skyer	24	17-27 ⁵	W/m ²
Følbar varmefluks	18	16-24 ⁵	W/m ²
Latent varmefluks	88	78-90 ⁵	W/m ²

høyde for noen av de koblede klimamodellene. BCM ligger nært det som er observert (13,8 °C for perioden 1961-1990) med en årlig global temperatur på 14,2 °C. Både vinter- (DJF) og sommertemperatur (JJA) er også nær observasjonene (se Tabell 1), selv om sommergjennomsnittet er noe for høyt på grunn av for lite sjøis i Antarktis.

Globalt energibudsjett

Tabell 1 viser at BCMs budsjett for kort- og langbølget stråling og energiflukser mellom atmosfære og hav ligger godt innenfor observerte rammer basert på observasjoner og satellittmålinger. En viktig del av klimasystemet er skyenes påvirkning gjennom refleksjon av kortbølget solstråling, og absorpsjon og reemisjon av langbølget stråling tilbake til jordoverflaten. Netto-effekten av skyenes bidrag på toppen av atmosfæren gir i følge satellittobservasjoner en avkjøling på mellom 17 og 27 Watt per kvadratmeter (W/m^2), mens BCMs anslag er $24 W/m^2$. Dette tyder på at modellen har en realistisk beskrivelse av den midlere effekten av skyer. Hvis en går i mer detalj, viser modellen for stor refleksjon av kortbølget stråling fra tykke (konvekktive) skyer i tropene, men ellers en brukbar fordeling.

Skyer, temperatur og nedbør

Eksisterende klimamodeller viser stor spredning i resultatene for skyer og nedbør. Grunnen er at disse størrelsene er et resultat av fenomen på mange skalaer: storstilte strømningsmønstre, lavtrykkbaner etc. og mikrofysiske prosesser i skyer. Som vist i Tabell 1 beskrives globalt gjennomsnittlig skydekke og nedbør på en tilfredsstillende måte i BCM. Også for gjennomsnittet over hver breddegrad er BCMs beskrivelse god (Figur 3), særlig gjelder dette for skydekktet. Ulike datasett for observert nedbør i tropene spriker med opp mot 40 %, noe som gjør det vanskelig å vurdere modellens kvalitet i disse områdene. En mer detaljert validering av modellresultatene er gitt i Furevik m. fl. (2002).

Sjøis

Figur 3 viser at BCM simulerer temperatur i 2 meters høyde svært realistisk i tropene og på midlere breddegrader. Feil i polare områder er imidlertid relativt store. Dette er et problem i de fleste modeller og skyldes igjen vansker med sjøisen, som er en viktig del av klimasystemet. Om vinteren isolerer den havet fra den kaldere atmosfæren, og dessuten øker isen refleksjon av kortbølget innstråling. I tillegg spiller sjøis en viktig rolle for havsirkulasjonen gjennom tilføring av ferskvann ved smelting og utskilling av

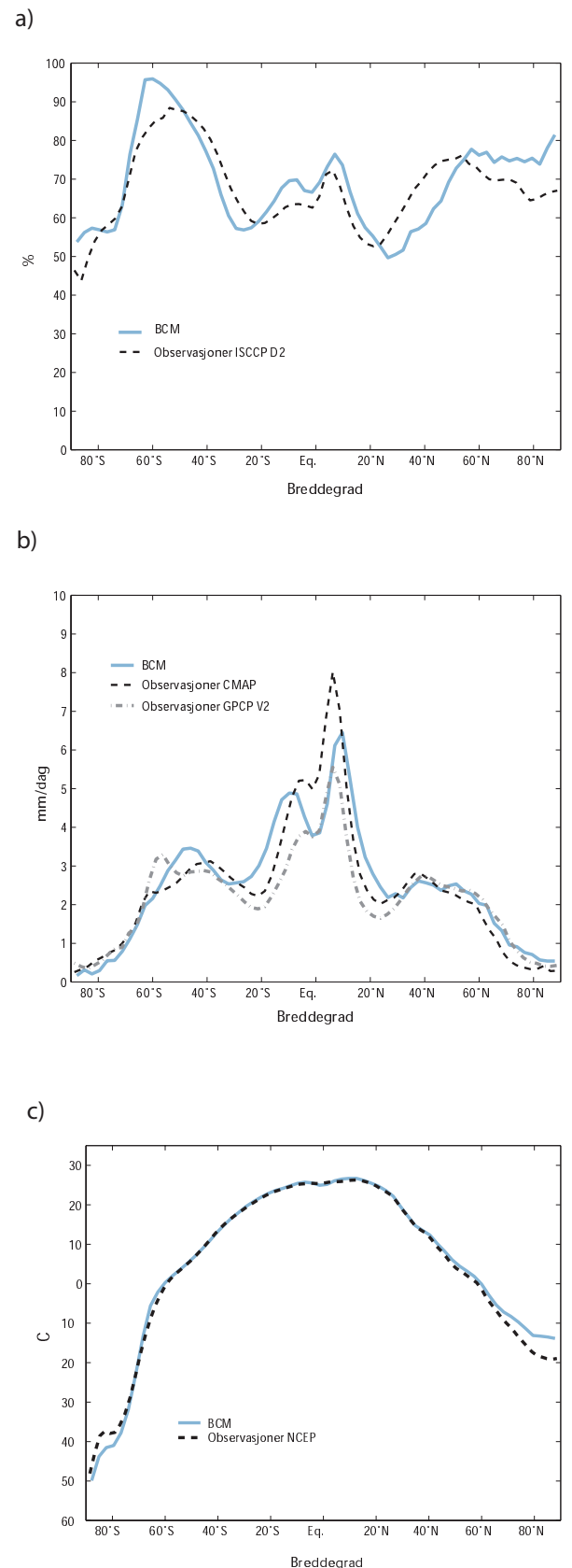
salt under frysing. Arealet av sjøisen i Arktis om vinteren (mars) samsvarer svært godt med observasjoner: i gjennomsnitt 12,1 millioner kvadratkilometer mot 14 millioner kvadratkilometer observert, (Bjørge m. fl., 1997), men isen er generelt for tynn. Om sommeren (september) er modellens isutbredelse (2,4 millioner kvadratkilometer) for liten sammenliknet med observasjoner (6,3 millioner kvadratkilometer).

Klimavariabilitet

Selv uten endringer i ytre klimapådriv eksisterer det naturlige klimavariasjoner på ulike tidsskala. For å ha tiltro til en klimamodell, er det viktig at den kan reprodusere slike variasjoner med tilnærmet korrekt tidsskala, mønster og styrke. Den mest markante variasjonen er ENSO i Stillehavet, som er en vekselvirkning mellom hav og atmosfære som gir markante svingninger i været i tropene og subtropene på en tidsskala på 3-8 år. Korrelasjon mellom temperatur ved havoverflaten i simuleringen og observert temperatur i området Nino3 (90-150°W, 5°S-5°N) viser at BCM har en realistisk beskrivelse av ENSO, det vil si en veksling mellom år med varme *El Niño* og år med kalde *La Niña*.

Den Nordatlantiske svingingen

På våre breddegrader er den viktigste klimavariasjonen den Nordatlantiske svingingen (NAO) med karakteristisk tidsskala på rundt 10 år. NAO-indeksen gjennom en årstid kan defineres ved midlere trykkforskjell mellom Island og Azorene (eller Portugal). Denne indeksen indikerer styrken av vestavindsbeltet, som igjen er styrende for variasjoner i temperatur og nedbør i våre områder (se artikler i *Cicerone* av Iversen 1-99 og Grønås 5-99). I snitt over vintermånedene (desember-mars) forklarer observert NAO 16 til 20 % av variasjonene i temperatur over Nord-Amerika og Europa. Figur 4 viser at variasjonene



Figur 3. Årlig sonalt gjennomsnittlig skydekke sammenliknet med satellittestimert skydekke (ISCCP D2), temperatur i 2 meters høyde sammenliknet med observasjoner 1961-1990 (NCEP) og nedbør sammenliknet med observasjoner fra GPCP V2 (Huffman m. fl., 1995) og CMAP (Xie og Arkin, 1997).

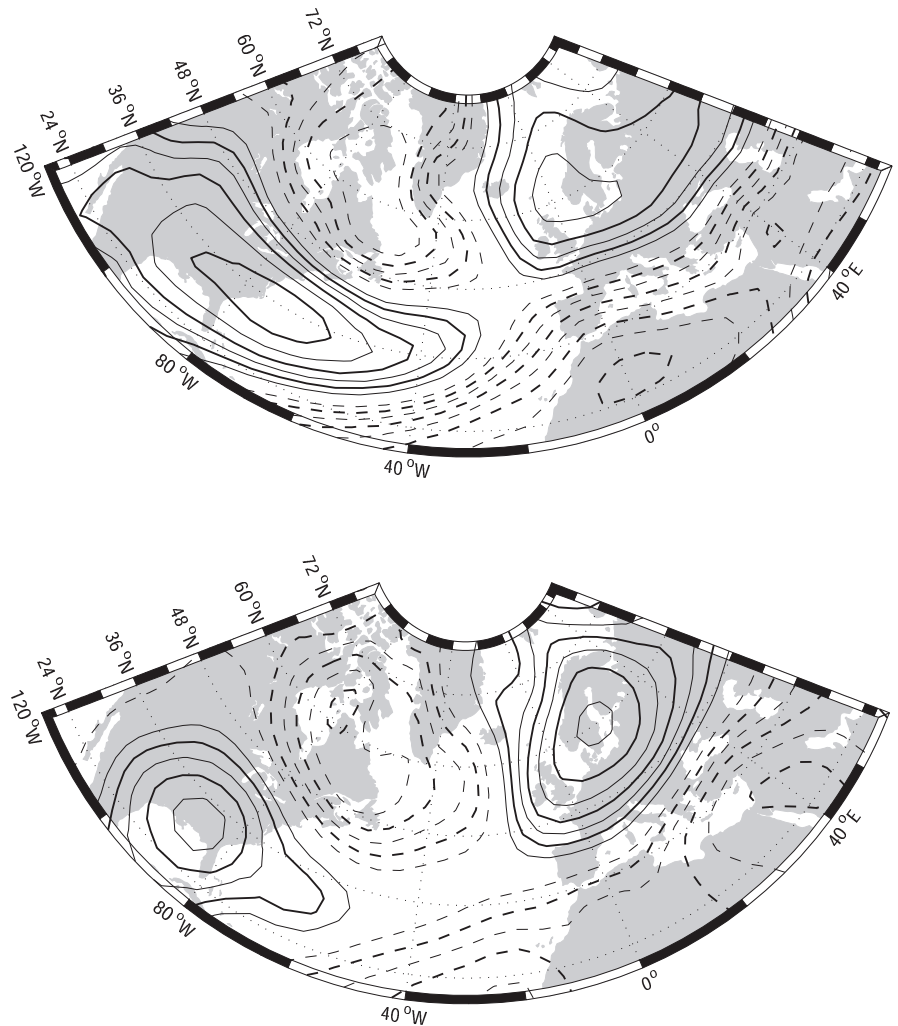
har et mønster med milde vintre over Nord-Europa og østkysten av USA, samtidig med kalde vintre på vestkysten av Grønland og i Nord-Afrika og omvendt. Dette mønsteret er godt representert i simuleringen, og modellens NAO forklarer rundt 20 % av variasjonene i vintertemperatur i dette området. I tillegg beskriver modellert NAO 28 % av variasjonene i månedlig bakketrykk, sammenliknet med 27 % i observasjoner.

Oppsummering

En 300 år lang simulering med BCM gir lovende resultater for dagens klima. Feil på regional skala har i hovedsak samme karakter som feil rapportert fra andre klimamodeller. Spesielt gjelder dette problemer med polare områder knyttet til sjøis. Vi arbeider nå med å rette opp slike feil. Når det gjelder modellens beskrivelse av naturlige variasjoner som ENSO og NAO, er den god sammenliknet med andre modeller (Stephenson og Pavan, 2002). BCM kjøres nå for et scenario hvor CO₂ øker med 1 % årlig til doubling av CO₂ nivået. I et nytt RegClim fra 2003 kan modellen utnyttes for å studere klimavariasjoner med fokus på vekselvirkning atmosfære/hav i våre områder inkludert Arktis. Tilgang på tungregning på de nasjonale tungregneanleggene i Bergen og Trondheim er en forutsetning for framtidig klimaforskning. F.eks. krever 300 årskjøringen som er presentert her 2 ½ måneders kontinuerlig regning på 32 prosessorer på det nasjonale tungregneanlegget i Trondheim.

Referanser

- Baumgartner og Reichel 1975. *The World Water Balance. Mean Annual Global, Continental and Maritime Precipitation, Evaporation, and Runoff*. Oldenbourg Verlag, München og Wien.
- Bjørge m. fl. 1997. *Geophys. Res. Let.*, 24, 413-416.
- Covey m. fl. 2000. *Climate Dyn.*, 16, 775-787.
- Furevik m. fl. 2000. Technical coupling of ARPEGE/MICOM. RegClim GTR No. 5, 45-58. NILU, Kjeller.
- Furevik m. fl. 2002. Description and validation of the Bergen Climate Model. ARPEGE coupled with MICOM. Sendt til *Climate Dyn.*
- Huffman m. fl. 1995. *J. Climate*, 8, 1284-1295.
- Kiehl og Trenberth 1997. *Bull. Am. Meteor. Soc.*, 78, 197-208.
- Lambert og Boer 2001. *Climate Dyn.*, 17, 83-106.
- Rossow og Zhang 1995. *J. Geophys. Res.*, 100, 1167-1197.



Figur 4. Temperatur i 2 m høyde knyttet til den ledende variabilitetsmode (EOF 1) over vintermånedene (desember-mars). Konturintervaller er 0,1°C med negative konturer stiplet. BCM til øverst og observasjoner (fra 1851-1995) til nederst.

- Stephenson og Pavan 2002. How well do coupled climate models simulate the North Atlantic Oscillation? Sendt til *Climate Dyn.*

- Xie og Arkin 1997. *Bull. Am. Meteor. Soc.*, 78, 2539-2558.

Forfatterne utgjør RegClims forskningsgruppe for global koplet klimasimulering med vekt på vekselvirkning mellom atmosfære og hav. De er enten ansatt ved Geofysisk institutt, UiB (GFI), Nansensenteret (NERSC) eller Bjerknessenteret (BS).

Asgeir Sorteberg

BS/GFI
(asgeir.sorteberg@gfi.uib.no)

Mats Bentsen

NERSC (mats.bentsen@nersc.no)

Helge Drange

NERSC (helge.drange@nersc.no)

Tore Furevik

GFI/NERSC (tore.furevik@gfi.uib.no)

Ina K. T. Kindem

BS/GFI (ina@gfi.uib.no)

Nils Gunnar Kvamstø

GFI (nilsg@gfi.uib.no)