

Hurtige klimavariationer

Dybhavets klimaarkiv

Torben Fronval

Dybhavssedimenternes plads i klimaforskningen

Dybhavssedimenter har længe været anvendt med stor succes ved rekonstruktioner af fortidens klimavariationer. Dette skyldes, at sedimentationen på oceanbunden oftest foregår uden afbrydelser gennem millioner af år og at man kan bestemme sedimenternes alder med temmelig stor sikkerhed. Dette er en væsentlig forskel fra klimaarkiver fra land, idet disse med undtagelse af iskerner ofte er fragmentariske og uden en sikker aldersbestemmelse. Sedimentationshastigheden på oceanbunden varierer fra nogle få mm pr. 1000 år i dybe bassiner til ti-tals cm pr. 1000 år på højereliggende plateauer og 'sea-mounts', hvilket samtidig muliggør studier af klimavariationer på tidsskalaer fra millioner af år til ti-tals år.

Det største problem ved dybhavskerner er utilgængeligheden. Optagning af kerner er forbundet med store omkostninger og både boreskib (figur 1) og avanceret bore-udstyr kræves. De fleste togter foregår derfor i regie af store internationale videnskabelige konsortier som ODP (Ocean Drilling Program) og IMAGE (International Marine Past Global Change Study). IMAGE er et nyt stort europæisk ledet boreprogram, hvis hovedintention er at studere hurtige klimasvingninger indenfor de sidste 2-3 istider og mellemistider. Det første togt indenfor dette program løb af stabelen sidste sommer og foregik i det klimatiske set meget vigtige nordatlantiske område.

GIN-havet og Nordatlantens rolle i klimaudviklingen

GIN-havet (Grønlands-, Islands- og Norskehavet) spiller en meget vigtig rolle for naturlige klimasvingninger på tidsskalaer fra millioner af år til mindre end århundreder (figur 2). Studier af klimaets reaktion på variation i indstråling viser, at de høje nordlige breddegrader er de første til at reagere på de periodiske variationer i den geografiske

udbredelse af solindstrålingen - de såkaldte 'Milankovitch cykler' med frekvenser på henholdsvis 20.000, 41.000 og 100.000 år. Da størstedelen af verdenshavenes ventilerede dybvand dannes i GIN-havet, vil den tidlige reaktion og dermed klimaforandringen via dette dybvand kunne videreføres til resten af kloden.

Nyere studier af hurtige klimasvingninger samt computermodel forsøg indikerer samtidig, at processer på de høje nordlige breddegrader, inkl. GIN-havet, også igangsætter klimavariationer på tidsskalaer fra få tusinder af år og nedefter, dvs. variationer med højere frekvens end 'Milankovitch cykler'. Rollen som igangsætter af klimasvingninger medfører, at de fleste klimatiske variationer vil have størst udsving i dette område. Dette betyder, at landområderne omkring GIN-havet, inkl. Skandinavien, er meget sårbare overfor selv relativt små klimavariationer og at klimaforskningen derfor er specielt relevant for os 'nordboere'.

GIN-havet ligger i dag i den allemordligste del af Golfstrømmens udbredelsesområde og er karakteriseret ved store gradienter mellem varme atlantiske vandmasser og kolde polare vandmasser. I relativt varme perioder, som den nuværende mellemistid og den forrige mellemistid for ~120.000 år siden, vil klimaændringer, der skyldes ændringer i styrken eller placeringen af Golfstrømmen, derfor blive registreret i sedimenterne på GIN-havets bund (figur 3). Under sidste istid svækkedes Golfstrømmen, og polarfronten (grænsen mellem varme atlantiske og kolde polare vandmasser) vandrede sydpå til det nordlige Atlanterhav, hvorfor variationer i havcirkulationen i kolde perioder bedst registreres i dybhavssedimenter fra Nordatlanten. Til gengæld er istidssedimenterne fra GIN-havet ideelle til at studere fremrykning og tilbagesmeltning af de omkringliggende iskapper og dermed give vigtige oplysninger om klimaforholdene i Nordvesteuropa, Grønland, Svalbard og Island.

Figur 2 (s. 133): Kort over GIN-havet og Nordatlanten med angivelse af kernelokaliteter og varme havstrømme.





Figur 3. Farverige borekerner fra Grønlandshavet taget op under ODP togt 151 i sommeren 1993. De mange voldsomme ændringer i farve og struktur repræsenterer hurtige ændringer i sedimentationsmiljøet, der igen afspejler variationer i havcirkulation og klima.

Klimaparametre

En af de vigtigste parametre til beskrivelse af klimaet er temperaturen. Arts-sammensætningen indenfor marine dyre- og plantegrupper som f.eks. foraminiferer og diatomeer afspejler temperaturen i vandmassen på det pågældende tidspunkt. Kalk- eller kiselskallerne fra disse organismer afsættes på havbunden efter organismernes død og kan derfor anvendes som udgangspunkt for beregninger af fortidens havtemperatur. En af de bedste temperaturindikatorer er den relative optræden af den polare foraminifer *N. pachyderma* (s.) kontra mængden af mere varmekrævende arter. Iltisotopsammensætningen af kalkskaller fra foraminiferer giver også indirekte oplysninger om vandtemperaturen på et givet tidspunkt i fortiden, men dette signal er samtidig påvirket af ændringer i det globale isvolumen samt af variationer i tilstrømningen af let-isotopisk smeltevand fra de omkringliggende kontinenter.

Til bestemmelse af de omkringliggende iskappers størrelse analyseres sedimentets indhold af isdroppet materiale (IRD), dvs. mængden af materiale der er drysset ned på havbunden fra forbigående, smeltende isbjerge. Mængden af isdroppet materiale på et givet sted vil variere afhængigt af mængden af isbjerge, isbjergenes indhold af minerogent materiale (sten, grus og sand) samt temperaturen. Den vigtigste parameter er mængden af isbjerge, en faktor som primært er bestemt af størrelsen af iskapperne, idet produktionen af isbjerge vil stige efterhånden som iskapperne vokser og større partier af iskapperne får kontakt med havet. Stort indhold af IRD i sedimentet indikerer derfor store iskapper på de omkringliggende landområder.

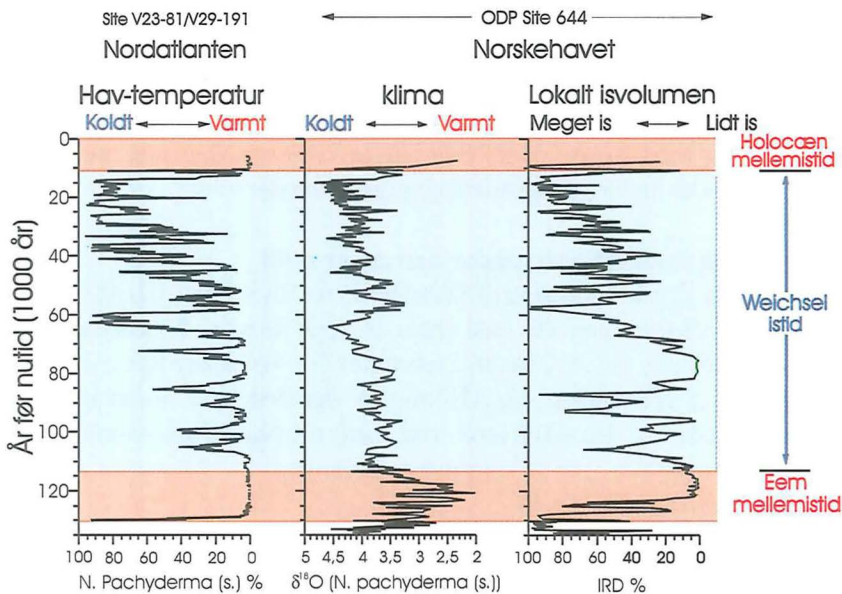
Hurtige klimavariationer under den sidste istid

Oprindeligt var den sidste istid (Weichsel, fra 115.000 - 10.000 år før nu) regnet som en periode med ensartet koldt klima i Nordeuropa og konstant isdække af GIN-havet. Resultater fra en række nye dybhavskerner fra Nordatlanten og GIN-havet demonstrerer imidlertid, at denne periode var karakteriseret ved store og pludselige variationer i både havtemperatur, havcirkulation og størrelsen af iskapperne på den nordlige halvkugle (figur 4).

De hurtigste svingninger, som har en varighed på 1000 år eller mindre, udgør dele af større klimatiske cykler af 5.000-10.000 års varighed. Hver af disse cykler begynder med en brat opvarmning, efterfulgt af en trinvis tilbagevenden til kolde forhold. Parallelt med temperaturfaldet sker en stigning i mængden af isdroppet materiale, reflekterende en udbygning af iskapperne på de omkringliggende kontinenter. Hver cyklus kulminerer med et minimum i temperatur og en maksimal tilførsel af isdroppet materiale.

Umiddelbart før overgangen til den næste varme periode sker en nedbrydning af de ustabile dele af de store iskapper, resulterende i en voldsom produktion af isbjerge og et voldsomt input af IRD til det Nordatlantiske område (de såkaldte 'Heinrich events'). Sammenligning af datasæt fra Norskehavet, Nordatlanten og den Grønlandske indlandsis viser at lufttemperaturen, havtemperaturen og størrelsen af de nordamerikanske og skandinaviske isskjolde (sandsynligvis også de

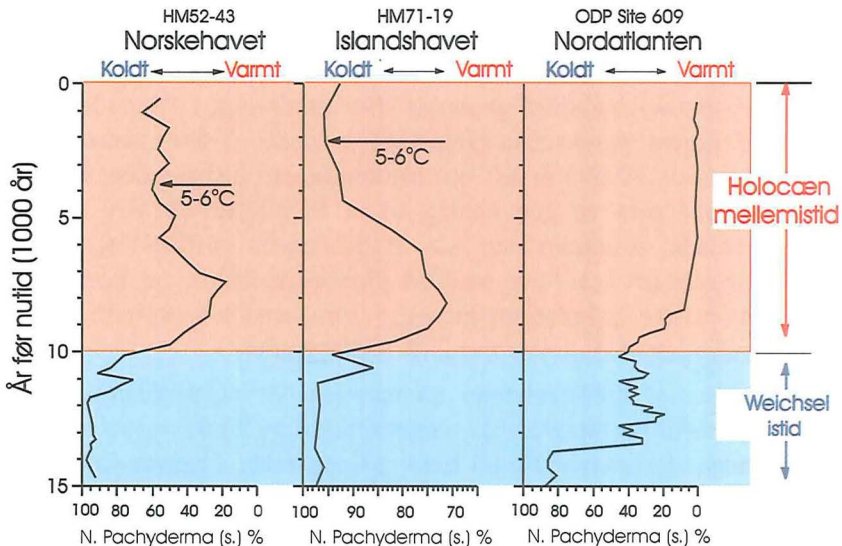
øvrige iskapper på den nordlige halvkugle) varierede i fase med hverandre. Dette demonstrerer, at de hurtige klimavariationer under sidste istid påvirkede hele den nordlige halvkugle og sandsynligvis også resten af kloden via bl.a. den globale havcirkulation.



Figur 4: Detaljerede marine klimadata omfattende de sidste 135.000 år. De meget urolige kurver dokumenterer, at den sidste istid (Weichsel) var en periode karakteriseret ved markante variationer i både havtemperatur og størrelse af de omkringliggende iskapper.

Et af de store spørgsmål indenfor klimaforskningen de sidste år har været, hvad der forårsagede de såkaldte 'Heinrich events', og hvordan disse kunne lede til den efterfølgende bratte opvarmning. Den tilsyneladende samtidighed af fluktuationer i forskellige isskjolde samt i luft- og havtemperatur indikerer, at udløsermekanismen må være ekstern til iskapperne eller at signalet bliver transporteret hurtigt fra et isskjold til resten af regionen. Den mest åbenbare udløser-mekanisme ville være øget varmetransport til de nordlige breddegrader, men der findes ingen evidens for øget varmetransport før de såkaldte 'Heinrich events' i

hverken Nordatlanten eller GIN-havet. I stedet kan man forestille sig et scenari, hvor kollaps og smeltning af ustabile dele af et iskjold leder til udskiftning af udstrømmende ferskvand fra nord med varmere vand fra syd (den såkaldte 'Superfjord varmepumpe'), f.eks. i GIN-havet. Den øgede varmestrøm mod nord vil så hurtigt betyde stigende temperatur (både i havet og på land), gøre de øvrige iskapper på den nordlige halvkugle mere ustabile og derved igangsætte i en ny klimacyklus.



Figur 5: Variationer i havtemperatur under den nuværende mellemistid (Holocæn). Norskehavet og Islandshavet er karakteriseret ved et gradvist temperaturfald af størrelsesordenen 5-6°C, mens temperaturen har været uændret eller svagt stigende længere sydpå i Nordatlanten.

Klimastabilitet og -variation i mellemistider

Den nuværende mellemistid (Holocæn) regnes som en periode med relativt stabile klimaforhold uden pludselige svingninger i temperatur, nedbør og isdække. I GIN-havet er der dog registreret et gradvist fald i

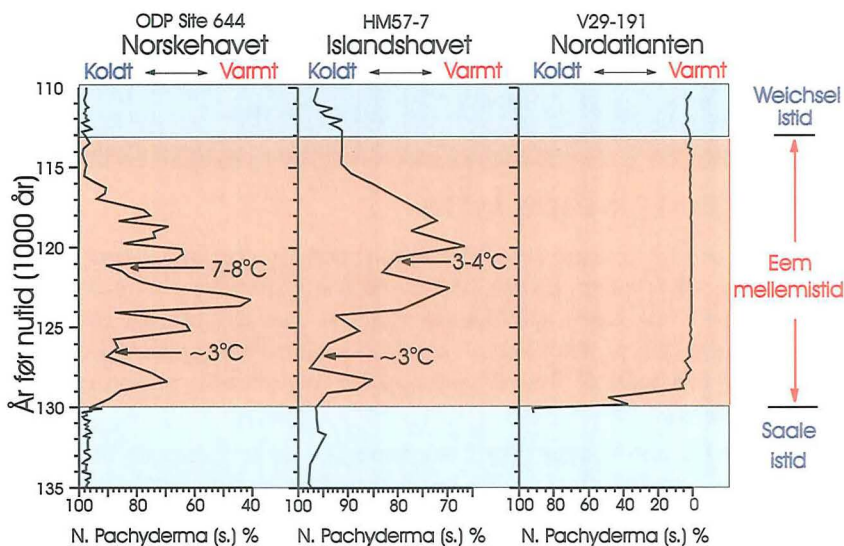
havvandstemperatur af størrelsesordenen 5-6°C fra tidlig Holocæn (9000-6000 år før nu) og frem til i dag (figur 5). Indenfor den samme periode er temperaturen i Østgrønland, Skandinavien og højtliggende dele af Europa, som f.eks. Alperne, faldet med 2-3°C, mens man i Sydeuropa og centralt i Nordatlanten har registreret uændrede eller svagt stigende temperaturer. Med andre ord er denne 'klimaforværring', modsat variationerne under sidste istid, begrænset til hav- og landområder på de højere nordlige breddegrader.

I lys af mulighederne for global opvarmning er et af de store spørgsmål indenfor klimaforskningen i dag, hvorvidt relativt stabile klimaforhold er typiske for mellemistider, eller om stabiliteten i Holocæn er atypisk, og om klimatisk ustabilitet er mulig eller sandsynlig i fremtiden. På grund af højere gennemsnitstemperaturer under sidste mellemistid (Eem, 115.000-130.000 år før nu) sammenlignet med nutiden, regnes denne periode som en god analog til et fremtidigt varmere klima. Computermodel resultater har vist, at den øgede opvarmning under Eem-mellemistiden kan have medført pludselige skift i det bestående hav - atmosfære cirkulations-mønster, resulterende i en periodevis kraftig nedkøling af de højere nordlige breddegrader.

Undersøgelser af dybhavskerner, pollensekvenser og grønlandske iskerner har indtil nu mundet ud i meget forskellige konklusioner vedrørende graden af klimavariation i Eem-mellemistiden. Nye resultater fra en række dybhavskerner fra GIN-havet (figur 6) og Labradorhavet viser imidlertid et entydigt billede af Eem som en periode karakteriseret af større og markant hurtigere klimasvingninger end den nuværende mellemistid.

To store og meget pludselige nedkølinger af størrelsesordenen 6-8°C samt en række mindre nedkølingsfaser kan erkendes i disse sedimentkerner (figur 6). Temperaturkurverne fra Norskehavet, Islandshavet og Labradorhavet har et nogenlunde ensartet forløb, hvilket indikerer at variationerne i forskellige grene af Golfstrømmen (Norskestrømmen og Irmingerstrømmen) er synkrone. Er dette tilfældet, er det sandsynligt at disse klimasvingninger har påvirket store dele af den nordlige halvkugle, inkl. både Skandinavien og Grønland. Hvis vi antager, at disse klimavariationer havde en geografisk udbredelse nogenlunde lig med

klimaforandringen fra tidlig Holocæn frem til i dag, så må temperaturvariationerne under sidste mellemistid have været af størrelsesordenen 3-4°C i Skandinavien og Grønland. Længere mod syd må variationerne i så fald have været langt mindre, hvilket stemmer godt overens med faktiske temperaturrekonstruktioner fra Nordatlanten (figur 6) og Sydeuropa, der generelt indikerer små variationer i temperatur under sidste mellemistid. Vores resultater understøtter også delvis resultaterne fra GRIP-iskernen, idet de dokumenterer, at klimaet på høje nordlige breddegrader var langt mindre stabilt under Eem-mellemistiden end under den nuværende mellemistid. Det er dog vigtigt at understrege, at de marine data antyder langt mere moderate temperatursvingninger end iskernen.



Figur 6: Variationer i havtemperatur under den forrige mellemistid (Eem). Norskehavet og Islandshavet er karakteriseret ved en række hurtige temperatursvingninger med amplituder på op til 7-8°C, mens temperaturen er stor set uændret i Nordatlanten.