

11. marts 2011

- et megajordskælv og en katastrofal tsunami

Af Tine B. Larsen og Trine Dahl-Jensen, GEUS

De kraftigste jordskælv, vi kender til i moderne jordskælvshistorie, har alle fundet sted langs subduktionszoner, hvor en oceanplade maser sig ned under en anden plade. Jordskælv, som er tæt på eller over 9 på Richterskalaen, er forholdsvis sjældne, og de bliver ofte kaldt for megajordskælv. Den 11. marts 2011 kl. 05:46 UTC blev Japan rystet af et megajordskælv, som målte 9,0 på Richterskalaen. Jordskælvets epicenter lå i subduktionszonen ca. 130 km fra kysten. Forskydningerne i undergrunden begyndte i ca. 30 km's dybde, og i løbet af de 3-4 minutter jordskælvet rasede, blev flere hundrede kilometer havbund løftet og forskubbet. Herved startede en kædereaktion af katastrofer, hvor især Sendai-området i Japan blev hårdt ramt. Først svajede husene under de kraftige rystelser fra jordskælv, og derefter væltede en gigantisk tsunami ind over land. Tsunamien skyllede hen over Fukushima atomkraftværket og satte de elektriske systemer – og dermed kølingen ud af drift. Japan er et af de lande i Verden, som er bedst forberedt på jordskælv, og dygtig ingeniørvidenskab og advarselssystemer reddede hundredetusindvis af menneskeliv, men det er meget svært at gardere sig fuldstændigt mod følgerne af et megajordskælv.

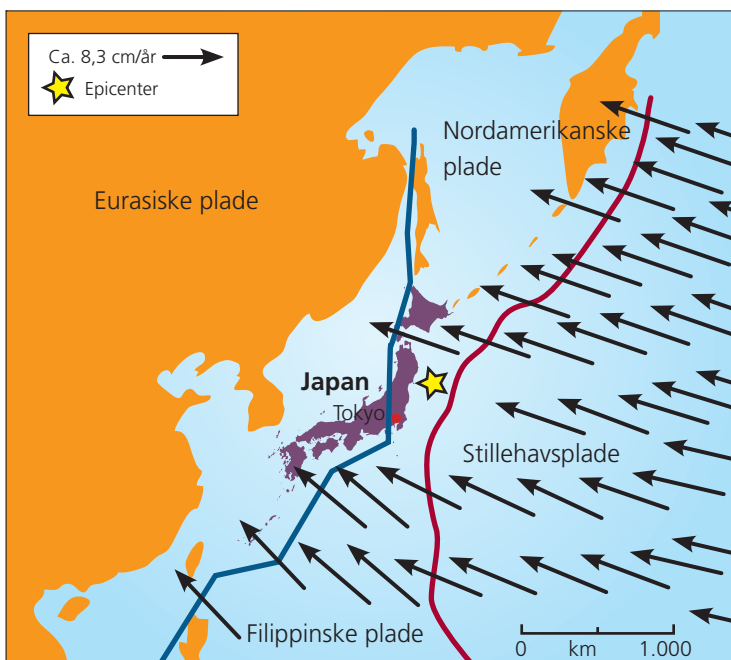
Pladetektonik og jordskælv ved Japan

Japan ligger i et område med meget pladetektonisk aktivitet. Nær Japans østkyst skubber Stillehavspladen sig mod vest ned under øgruppen med ca. 8,3 cm pr år. (figur 1). Det er blandt de hurtigste konvergenshastigheder, der er målt noget sted på Jorden. Landet strækker sig over to plader. En flig af den Nordamerikanske plade når ned forbi Tokyo-området, hvor pladegrænsen krydser ind over land. Mod syd ligger Japan på den Eurasiske plade – lige som Danmark! Japan rammes hvert år af mange jordskælv, og store jordskælv over 7 på Richterskalaen er ikke usædvanlige (se figur 2). Langt de fleste af jordskælvne har deres epicenter nær dybhavsgraven, men der er også jordskælv på land. Japan har tidligere oplevet meget kraftige jordskælv. I 1963 blev Kurillerne ramt af et jordskælv, som målte 8,5 på Richterskalaen. Mere alvorligt var et jordskælv, som i 1933 sendte en tsunami på 29 m ind over Japan. Jordskælvet i 1933 målte 8,6 og havde sit epicenter i Stillehavspladen øst for sub-

duktionszonen. Japanerne lever med en høj jordskælvrisiko, men et jordskælv af den styrke, som ramte den 11 marts 2011, har de ikke oplevet i den tid, hvor jordskælv systematisk er blevet registreret med instrumenter.

Megajordskælv

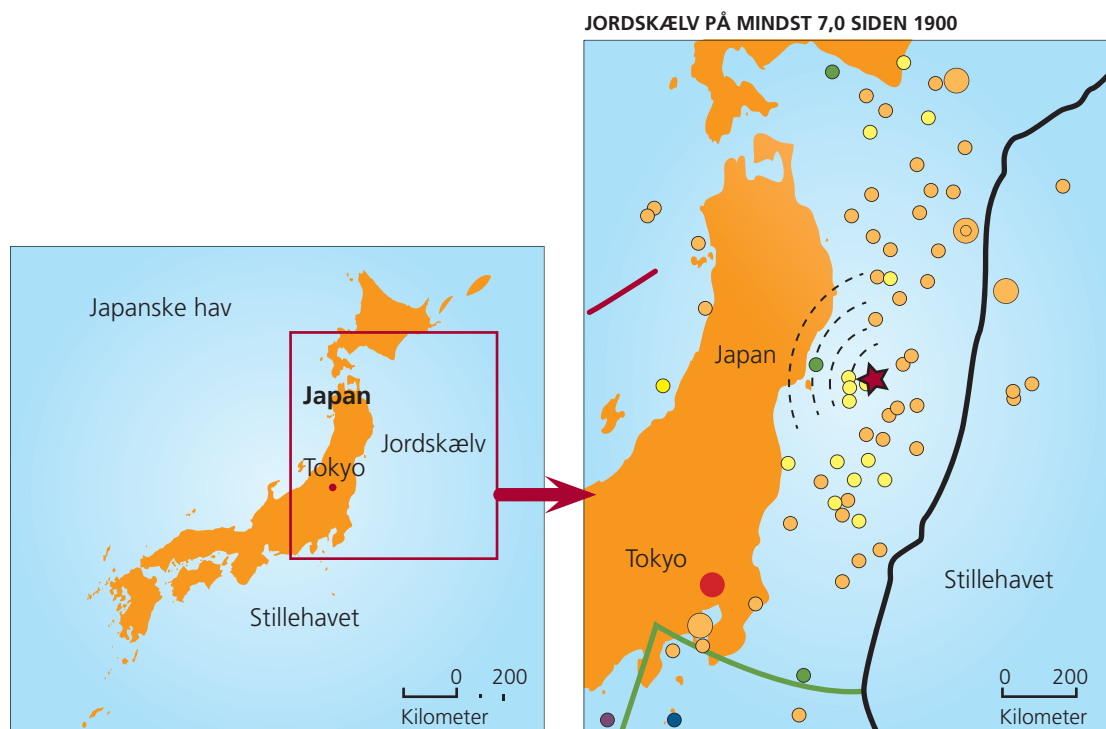
Allerede et par dage inden megajordskælvet begyndte subduktionszonen at røre på sig. Den 9. marts rystedes undergrunden af et jordskælv på 7,2. Dette jordskælv blev hurtigt efterfulgt af flere kraftige efterskælv. Ingen kunne dog forudse, at denne serie af jordskælv blot var forskælv til et langt kraftigere jordskælv. Det blev først klart, da havbunden den 11. marts flængedes af megajordskælvet, som siden hen har fået navnet Tohokujordskælvet efter den region, der blev ramt af tsunamien. Der er mange data af høj kvalitet til rådighed til at studere Tohoku-jordskælvet, og vi kan derfor få et indblik i de geofysiske processer, der fandt sted under jordskælvet. Japan er udstyret med et tæt,



Figur 1 Stillehavspladen bevæger sig mod vest med ca. 8,3 cm/år ind under de japanske øer. (Grafik omtegnet efter Ulla V. Hjuler og UNAVCO)

højteknologisk netværk af måleinstrumenter, både seismografer og accelerometre, der har forskellig følsomhed over for rystelserne samt GPS-stationer, som kan give et detaljeret billede af landdeformationen efter jordskælv. Ved at kombinere de mange målinger fra jordskælv med matematisk modellering, kan man få et komplekst billede frem af selve brudprocessen. Der er flere forskellige modeller, som kan forklare data, men modellerne

er overensstemmende med hensyn til, at jordskælv startede meget forsigtigt, og at forskydningerne hurtigt tog fart i en sydvestlig retning mod Honshu. 40-60 sekunder senere begyndte forskydningerne også at løbe langs forkastninger nord for epicentret. Jordskælv varede i alt mellem tre og fire minutter, og har formentlig påvirket havbunden i ca. 300 km's længde. De største forskydninger er på over 30 m nær dybhavsgraven.



Figur 2 Jordskælv nær det østlige Japan siden år 1900. Kun jordskælv, som er målt til mindst 7,0 på Richterskalaen, er vist. (Grafik: Ulla V. Hjuler efter USGS)



Forstærkede rystelser

Geologien på land afgør, om rystelserne fra et jordskælv bliver forstærkede eller dæmpede. Der findes ikke nogen simpel formel, som med sikkerhed kan forudsige, hvordan en given kombination af geologiske lag vil transmittere rystelserne.

Japans netværk af accelerometre måler ikke blot undergrundens respons på rystelserne, men også en lang række bygningers respons, når jordskælvsbølger passerer forbi.

Der går ca. 20 sekunder fra jordskælvet starter, til de første rystelser rammer kysten, og ca. 80 sekunder før de første rystelser rammer Tokyo-området. Det er tydeligt fra målingerne, at det sedimentære bassin, som Tokyo er bygget på, forstærker rystelserne, og netop i Tokyo er rystelserne særligt kraftige i flere minutter. Det er imponerende, at der ikke sker skader i Tokyo – i andre lande end Japan havde rystelser af den styrke ikke efterladt meget andet end murbrokker. Den kraftigste horisontale acceleration under jordskælvet blev dog målt i Sendai-området tættere på jordskælvets epicenter, og den nåede op på 2,7 G!

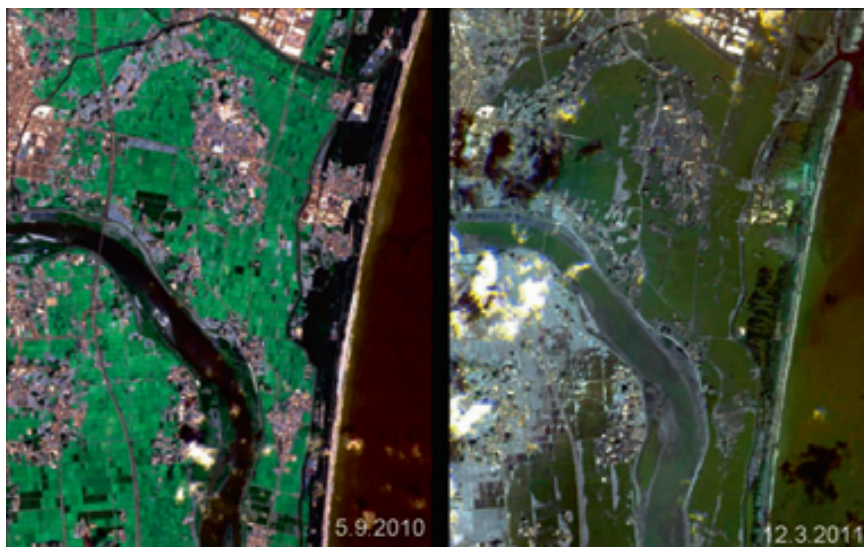
Jordskælvsvarsling

Japanerne bruger deres fintmaskede netværk af måleinstrumenter i kampen mod jordskælvs-skader. Jordskælv kan ikke forudsiges, men fordi jordskælvsbølger løber langsommere gennem jorden end elektriske impulser gennem et kabel, er det muligt at opnå et lille forspring. Når måleinstrumenterne registrerer, at et kraftigt jordskælv er i gang, sendes der automatisk en lang række advarsler gennem det højteknologiske japanske samfund. 20 sekunder er ganske vist ikke lang tids varsel fra jordskælvet udløser sin energi til de kraftige rystelser når kysten, men det er tilstrækkelig tid til at begynde nedlukningen af kritiske systemer. Faktisk virkede jordskælvs sikringen upåklageligt på Fukushima-atomkraftværket. Nedlukningen af værket var i fuld gang, da tsunamien ramte, og

atomkatastrofen kunne være blevet langt værre, hvis ikke jordskælvs systemerne havde virket. Tsunamien var til gengæld langt større, end de japanske myndigheder var forberedt på, og det var vandet, som forårsagede både atomkatastrofen samt tab af menneskeliv og bygninger. Så vidt vides, blev ingen dræbt af selve jordskælvet. Tsunamialarmerne reddede også rigtigt mange liv, men ikke alle nåede væk, da de enorme vandmasser kom væltende, og mere end 28.000 mennesker mistede livet.

Tsunamier i Japans historie

Japan er i tidens løb blevet ramt af mange tsunamier og mange af dem dødbringende (se figur 2). I historisk tid er der registreret over 130 tsunamier med kendt vanddybde på land på over 1 m samt ca. 30 flere, hvor vanddybden ikke er kendt (typisk fra før 1900). I et dokument kendt som Sanriko-jitsuroko, som beskriver 1.200 år af Japans historie, beskrives en tsunami i 869, som forårsagede 1.000 omkomne. Ud fra stedbetegnelser i dokumentet kan man udlede, at tsunamien trængte over 4 km ind i landet – noget der ikke er sket igen før ved Tohoku-skælvet den 11. marts 2011. Geologiske undersøgelser har bekræftet aflejringer fra en tsunami på det tidspunkt – samt flere ældre spor af tsunamier med ca. 1.000 års mellemrum. Ud fra beretninger om tsunamiens udbredelse er der lavet beregninger om tsunamiens maksimale vanddybde og udbredelse, og en analyse af 869-jordskælvets epicenter. Et bud er et jordskælv på mellem 8,1 og 8,3 på Richterskalaen og en op til 8 m høj tsunami. Japans befolkning er – på baggrund af dens tsunamifyldte historie – opmærksom på, at landet bliver ramt af jordskælv og tsunamier, og der er planer for evakuering efter et jordskælv, således at så mange som muligt redder sig mod højere grund. Desuden er store dele af Japans kyst beskyttet af diger.



De to billeder viser tsunamis effekt på Japans kystlinje. Billedet til venstre er taget 5. september 2010. Billedet til højre er 12. marts 2011, en dag efter jordskælvet og den efterfølgende tsunami ramte Japan.

Fremtidige megajordskælv

Megajordskælv forekommer så sjældent, at det stort set er umuligt at lave fornuftig statistik på dem, og dermed er det en næsten umulig opgave at udregne risikoen for, at et givet område bliver ramt af et megajordskælv. Vi kender kun megajordskælvene fra langstrakte subduktionszoner, og deres forekomst tilbage i tiden kan dels belyses ved at studere historiske optegnelser, dels ved at studere aflejringer fra tidligere tsunamier. Sendai-området, der blev ramt i år 869 af en tsunami med nogenlunde samme udbredelse som 2011-tsunamien kunne friste til at konkludere, at megajordskælv ud for Japan har en returperiode på ca. 1.000 år. Men reelt ved vi det ikke, og hvis vi sammenligner med megajordskælv fra andre dele af Stillehavet, kan vi se, at et område ikke nødvendigvis er "fredet" i 1.000 år efter et megajordskælv. Japanske forskere, som har foretaget GPS-målinger og modelleret pladebevægelser, mener, at der er risiko for, at et nyt megajordskælv vil ramme syd for Tohokujordskælv. Men de kan ikke sige, om det nye jordskælv kommer om 1 år, 100 år eller 1.000 år.

Tsunamiers effekter uden for epicentret

Meget store jordskælv kan udløse meget store tsunamier, der udbreder sig over store dele af Jorden. De kaldes teleseismiske tsunamier. Dette skete også den 11. marts, og tsunamien kunne registreres over meget store dele af verden og førte til enkelte dødsfald langt fra Japan. Tsunamien blev i Californien målt til næsten 2,5 meters vanddybde og ankom 9 t 48 min efter jordskælvet. Langs Stillehavets kyster var befolkningerne blevet varslet om den ventede tsunami, idet et internationalt system – Pacific Tsunami Warning Center – udsender varsler, når en tsunami kan ventes. At en bølge kan være så stor mange tusinde kilometer fra epicentret skyldes, at en tsunami er langt kraftigere end almindelige vindskabte bølger, der har bølgelængder på 100-500 meter, men kun forekommer i havets overflade. Tsunamibølger har derimod bølgelængder på 100-500 kilometer og strækker sig hele vejen fra havoverfladen til havbunden. Der sættes derfor langt mere vand i bevægelse ved tsunamibølgerne end ved almindelige bølger, og de kan bevare deres styrke over meget lange afstande.