

Peter J. Herring
Southampton Oceanography Centre

Utforskning av oceanernas liv: hur vet vi vad som finns där?

Våra liv är faktiskt tämligen tvådimensionella. Landmiljön utgör bara ett tunt skikt på jordens yta. I själva verket sträcker den sig bara upp till toppen av de högsta träden (omkring 50 m), eftersom inget lever permanent ovanför denna nivå (takterrasser med växter och djur på skyskrapor räknas inte!). Som kontrast är havens största djup ung. 11 000 m och medeldjupet ca 3 800 m, och de täcker >70% av jordens yta. Haven utgör ett enormt tredimensionellt livsutrymme som saknar motstycke på land. Vi har en tendens att bortse från detta, eftersom vi inte utgör en del av det och inte heller kan "se" långt i det, och att själva storleken är så enorm.

Haven och dess botten utgör emellertid en enorm tillgång på levande och icke-levande resurser, vars värden och mångsidighet fortfarande diskuteras och vars utnyttjande och ägorätter utgör problem både av teknisk art och för internationell lagstiftning. Där finns organismer som lever sina liv på varje nivå mellan havsytan och djuphavsgravarnas botten. Dessa organismer och samspelet mellan dem liksom med den omgivande miljön bidrar enormt mycket till hur "vårt" terrestra liv (liv på land) fungerar, särskilt genom den effekt de har på närsaltcirkulationen och klimatet. Om vi skall kunna utnyttja havet på ett försvarbart sätt, försöka att "bemästra" det effektivt och förutse följderna av varje förändring i det, måste vi förstå hur dess kemi, fysik och biologi samspelar och hur dess invånare bidrar till, och kanske även bestämmer, dess tillstånd.

Utmaningen för oss är att utforska denna havsmiljö, att upptäcka dess organismsamhällen och förstå hur dessa kan vara så framgångsrika, och samtidigt hålla i minnet att denna miljö är både enormt varierad och omfattar 99,5 % av livsutrymmet på vår planet [1].

Hur vet vi vilka organismer som finns där?

Hur kan vi ta reda på vilka djur som lever i djuphavet, hur många de är och hur de samspelar med varandra? Det mesta vi vet om det terrestra ekosystemet (landekosystemet) beror på att vi kan se det. Vi kan ofta räkna individer, se hur de betar sig och observera deras utveckling. Vi kan följa deras rörelser och förflyttningar, lära hur deras samhällen är strukturerade, och notera hur de reagerar på andra arter. Vi kan till och med manipulera deras omgivningsmiljöer och se hur de reagerar på detta.

*KORRESPONDENS TILL
Professor Peter J. Herring
Southampton Oceanography Centre
Empress Dock
Southampton SO1 4 3ZH
England*

I djuphavet är allt detta i stort sett omöjligt. Större delen av havet nås inte av solljuset, och vi lämnar synsinnet bakom oss när vi tränger ned en bra bit under ytan. Landbiologen med en kikare har ett synfält som sträcker sig flera kilometer. En observatör under havsytan kan inte se mer än tio till tjugo meter, även med hjälp av den starkaste strålkastare. Om havsvatten optiskt var som luften skulle det vara så mycket enklare att se vad som finns där. I klart väder kan en passagerare i en jumbojet se detaljer på land och på havsytan från den normala flyghöjden på 10 000 – 12 000m. Detta avstånd är i stort sett lika med det största havsdjupet, och likväl kan en passagerare som tittar över sidan på fartyget knappast se något av det som finns under ytan. Provtagning av populationer med nät från ytfartyg innebär mycket stora problem, och skulle kunna jämföras med att ta prover av den terrestra faunan från en ballong eller helikopter från hundratals eller tusentals meters höjd. Carl Petersen, den store danske fiskeribiologen, skrev följande i en mycket känd publikation om provtagning på havsbotten: *"Ett fartyg som bottenskrapar kan liknas vid en luftfarkost som drar en skrapa över Köpenhamn och fångar en polisman på en gata och en barnvagn på en annan och från detta drar slutsatser om hela populationen i staden"* [2].

Figur 1. HMS Challenger (visas här på logon för "The Challenger Society for Marine Science") var en tråkorvett tillhörigt engelska marinen och anpassad för forskning genom att alla kanoner utom två tagits bort. Hon var 61 m lång, hade ett deplacement på 2300 ton och en besättning på omkring 220 man, inklusive officerare och sex civila forskare. Ett modernt forskningsfartyg av samma storlek skulle kunna hysa omkring 40 personer, varav hälften skulle vara forskare..

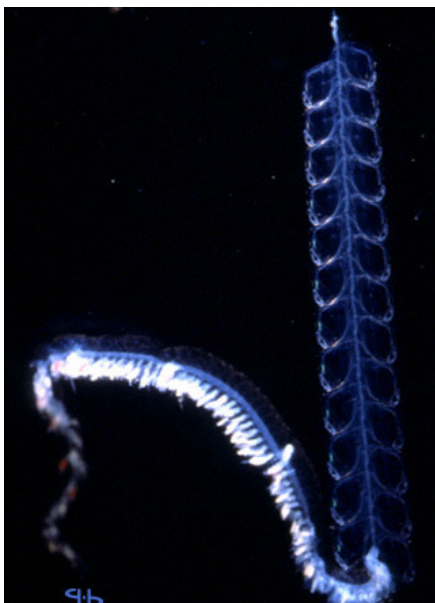


Tidig kunskap

För tvåhundra år sedan antog man allmänt att djuphavet saknade allt liv. Hur skulle någonting kunna överleva i kölden, mörkret och under så högt tryck? Gradvis försvann denna tro genom insatser av "havspionjärer" från mitten av 1800-talet, som fiskade med nät så djupt som man då kunde komma och alltid fann djurpopulationer, som var nya för vetenskapen. Mellan 1872-1876 studerades under jorden-runt-expeditionen med *H.M.S. Challenger* allting från protister till fiskar [3, 4] och i näten fångades mer än 4000 nya arter från djup ner till 4000 m. (Fig. 1). Tack vare dessa och senare insamlingar har ett nytt tioårs initiativ tillkommit,



Figur 2. En öppnings- och slutbar rektangulär häv för provtagning uppe i vattenmassan (RMT1+8: Rectangular Midwater Trawl). Det undre nätet har en mynningsarea på 8 m² och en maskstorlek på 4,5 mm medan det övre har en area på 1 m² och maskstorlek på 0,33 mm. Denna kombination tillåter fler djur av olika storlekar att insamlas än om man hade bara ett nät. Näten öppnas och sluts samtidigt med hjälp av en akustisk signal från fartyget. (Foto: Southampton Oceanography Centre)



Figur 3. Gelatinösa djur är mycket vanliga i de övre vattenmassorna i haven. De är mycket ömtåliga och svåra att samla in utan att skada. Denna siphonophor (*Bargmannia*) tillhör en grupp maneter som är kolonibildande. Den fotograferades *in situ* av en undervattensfarkost, men skulle snabbt fördärvats i ett nät. (Foto: Steve Haddock, MBARI)

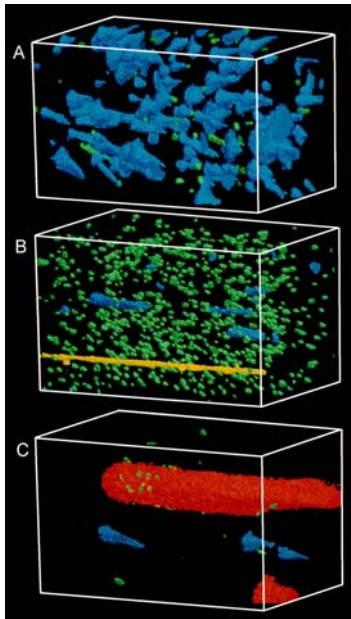
”Census of Marine Life”, som syftar till att skaffa fram en sammanfattande överblick över livet i haven [5].

Nät har varit det huvudsakliga redskapet för insamling i haven alltsedan de tidiga provtagningsdagarna, men vad de fångar är fortfarande i stort sett en slump även om tillkomsten av ny teknologi har hjälpt till att reducera osäkerheten. Fångstmetoden kan fortfarande vara densamma, men precisionen med vilket näten fiskar (och den information som kommer med provet) är nu oändligt mycket större [6].

Dagens metoder

Fångstnät som öppnas och stängs på kommando blev först konstruerade under senare delen av 1800-talet. Nu för tiden opereras nät i vattenmassan och på havsbotten med mekaniska utlösare eller akustiska, optiska eller elektriska signaler som sänds från fartyget [6] (Fig. 2). Mätare avläser vattenflödet och den vinkel med vilket nätet dras; andra sensorer på nätet kan mäta djup, temperatur, salthalt, ljusspridning, klorofyll, dagsljus, bioluminescens eller andra parametrar av intresse, som kan omvandlas till en elektrisk signal. Om akustiska utrustningar placeras både på havsbotten och på nätet kan dess tredimensionella väg relativt till botten bestämmas mycket precist. Mycket detaljerad kunskap kan erhållas om exakt var de fångade djuren levde och hur deras omgivande miljö var.

Olyckligtvis kommer de flesta djuren att vara döda genom fångsttraumata, tryckminskning och exponering till den relativt höga temperaturen i ytvattnet genom vilket nätet måste passera. Som ett resultat blev djuphavsekologin under många år i stort baserad på anatomin hos döda djur. Dagens djuphavsbioologer har nya redskap, som gradvis ger mer ekologisk insikt än anatomernas tidigare tolkningar av de döda djuren i näten tillät. Vi måste fortfarande vara medvetna om att nätprover alltid är förenade med tolkningssvårigheter, och fångsten utgör inte säkert ett representativt prov. Näten dras vanligen långsamt så ett aktivt djur kan troligen undvika dem (mycket aktiva rovdjur som bläckfiskar simmar ibland medvetet in i nätet för att äta vad som redan fångats och kan kanske sedan inte komma ut innan nätet sluts bakom dem). Ömtåliga djur, särskilt de gelatinösa (Fig. 3), förstörs lätt mot nätets maskor. Näten har helt riktigt blivit kritiserade för att fånga bara de långsamma, de dumma, de glupska och de oförstörbara organismerna. Storleken på organismerna i haven spänner över åtminstone åtta storleksordningar från virus till valar. Näten kan hantera fem av dessa med varierande grad av framgång (från 20 µm växtplanktonceller, till 2 m tonfisk), men andra metoder behövs vid extremerna [1]. Vi kan inte filtrera valar och inte heller kan vi harpunera virus.



Figur 4. En tredimensionell registrering av blänk från bioluminescenta djur, som träffats av ett nät monterat framtill på den bemannade undervattensfarkosten "The Johnson-Sealink". (A) är taget på 16 m djup; små moln av biologiskt ljus (blåfärgade) är troligen från ett antal små hoppkräftor (copepoder) och korta blänk (gröna) från encelliga pansarflagellater (dinoflagellater). (B) är på 61 m djup där pansarflagellaterna dominerar. Ett längre, gult ljus kommer från en krill (lysräka, *Euphausiacea*) som fastnat i nätet. (C) är från 249 m djup; luminiserande organismer är mycket ovanligare här, och de signaler som dominerar (rödfärgade) kommer från en kammanet (*Euplokamis*). Den vita ramens storlek är 0,35 x 0,35 x 4,0 m. (Från referens 7, med tillstånd från Dr. E.A. Widder, HBOI)

Förekomsten av djur som fångats av nätet beräknas genom att dividera antal djur med den filtrerade vattenvolymen. Detta ger bara ett medelvärde av individer per m³ och kan inte tala om för oss om de fanns i en enda grupp eller om de var jämnt fördelade längs nätetns insamlingsbana. En mycket bra metod att ta reda på den detaljerade utbredningen av vissa bioluminescenta organismer är att spänna ett nylonnät över en ram med en meters diameter och sätta denna framför en undervattensfarkost samt fokusera nätet med en bildförstärkande videokamera. När farkosten körs långsamt genom mörka vatten lyser bioluminescenta organismer upp när de träffas av nätmaskorna, och med erfarenhet kan de olika signalerna avslöja vilken sorts organism som åstadkommer ljuset [7]. Analyser av blänken från organismerna längst farkostens väg ger en klar bild av deras tredimensionella utbredning (Fig. 4)..

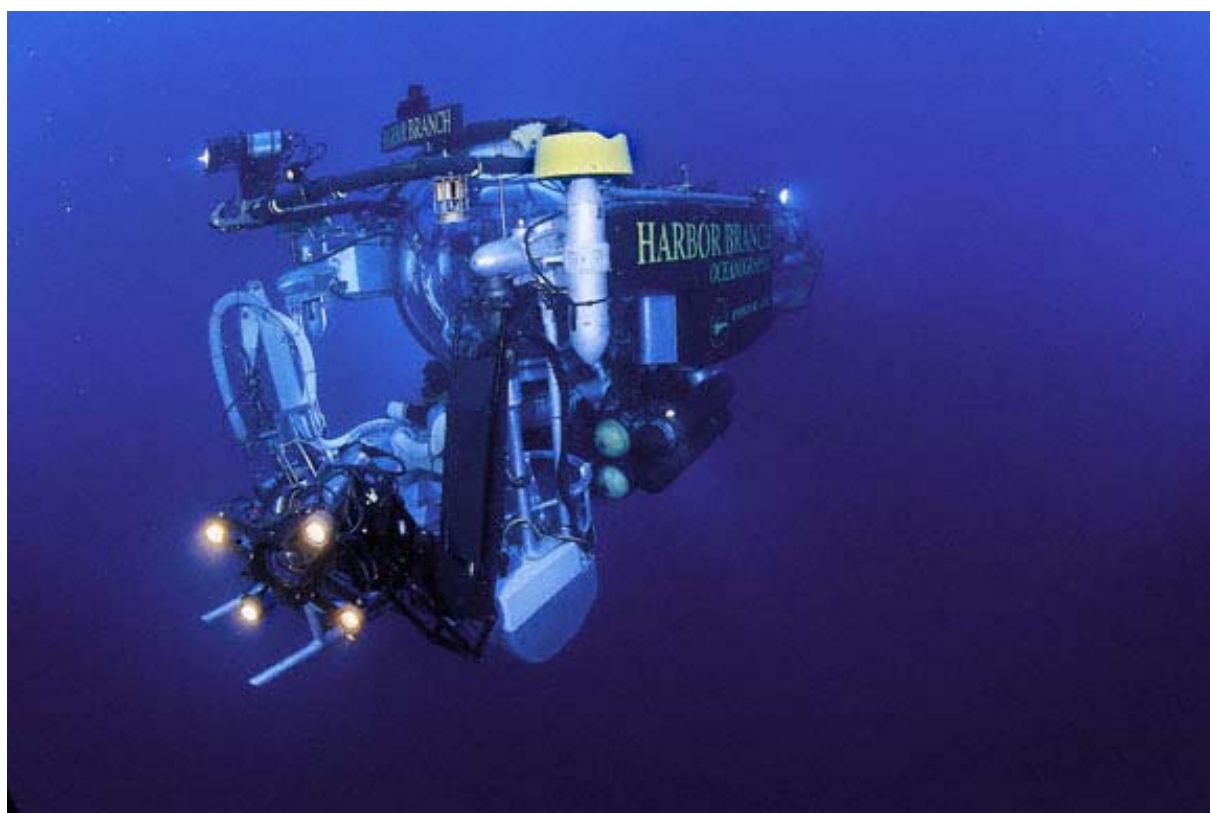
“Fjärrstyrda” metoder

I havsvatten når ljudvågor mycket längre än ljus. Ekolod använder sig av återkastade ekon som ger information om typ och djup av havsbotten. Djur i vattenmassan reflekterar också ljudvågor och syns som reflekterande skikt. Genom att skicka ut koner med ljud i vattnet och använda en rad olika frekvenser är det möjligt inte bara att identifiera särskilda djur genom att analysera ekosvaren utan också att se deras tredimensionella fördelning i vattenmassan (kommersiella fiskare har gjort denna teknik till en fin konst - men bara för djur av fiskars storlek). Mindre djur reflekterar högre ljudfrekvenser (d v s kortare våglängder), men dessa frekvenser når inte så långt. Små djur kan inte upptäckas med hjälp av ett fartygsmonterat ekolod på djup större än cirka 200 m (t.ex. mesozooplankton 0,2 – 20 mm långa). I stället måste ljudgivaren föras närmare det djup där man vill observera djuren. Detta görs vanligen genom att placera det akustiska systemet på en strömlinjeformad farkost och bogsera den på lämpligt djup bakom forskningsfartyget eller genom att placera instrumenten på ett bojsystem på ett lämpligt djup. Mängden av data som erhålls kan sedan användas för att analysera fördelningen av djuren i vattnet som passerar ljudgivaren.

Ljus kan användas för att samla in organismer. Partiklar som i vatten passerar mellan en ljusgivare och en sensor bildar särskilda former och skuggor och kan räknas kontinuerligt. En sådan optisk partikelräknare (OPC) kan kombineras med en videokamera för att identifiera organismerna med betydande säkerhet. Nya system med laserbelysning kan ge holografiska bilder av små planktonorganismer som passerar en ljussensor. Alla dessa fjärrstyrda tekniker låter oceanografen sitta bekvämt i fartygslaboratoriet (eller t.o.m. i ett laboratorium på land) och se bilder skickade från djupen på en datorskärm. Det finns annat att vinna från detta

än bara antal organismer: dessa metoder ger nu information om den rumsliga fördelningen av *individer* i stället för populationer och ger samtidigt biologiska, fysikaliska och kemiska data. Vi kan nu klart se hur i en mycket liten skala fysiken bestämmer många biologiska fördelningsfenomen. Omvänt och i samma skala kan man se hur organismerna påverkar vattenkemin.

Fram till nu har dessa fjärrmetoder mest använts direkt från fartyg eller från bogserade farkoster. Utnyttjandet har kraftigt ökat genom tekniska framsteg under senare år [3] och undervattenssensorer av många sorter kan nu monteras på bemannade undervattensfarkoster [8], fjärropererade farkoster (Remotely Operated Vehicles, ROV) och självstyrande undervattensfarkoster (Autonomous Underwater Vehicles, AUV). Fastsittande eller fritt flytande plattformar nere i vattenmassan, ro-



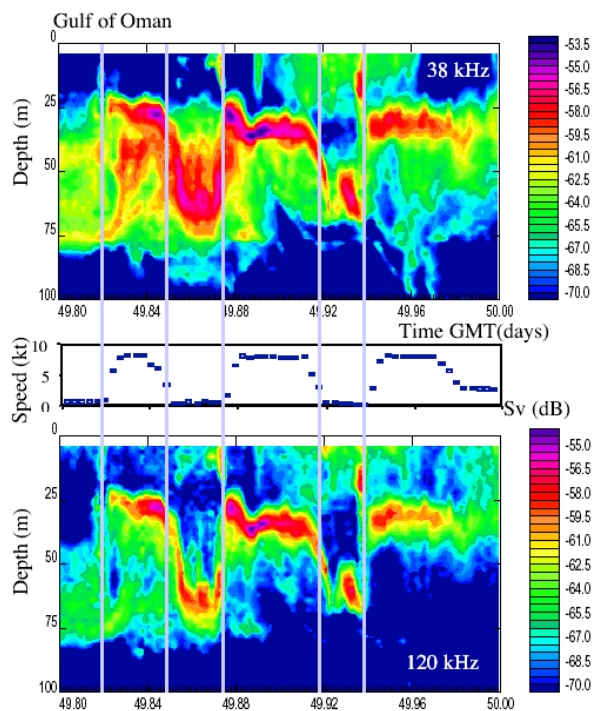
Figur 5. En sidovy av den bemannade undervattensfarkosten "The Johnson Sea-Link". Den kan gå ned till 1000 m djup. Sfären framtill är av akrylglas (ca 2 m i diameter och 12,5 cm tjockt) rymmer en pilot och en observatör och ger ett synfält runt om. En högupplösande TV-kamera med fyra ljus är monterade nere till höger och en böjlig slang, är en del av ett insamlingssystem, som kan suga in organismer från vattnet (eller havsbotten) till behållare, där de kan förvaras för upptransport till ytan. (Foto: HBOI)

botar som är programmerade att förflyttas upp och ner längst en vertikal wire i ett bojsystem, "landare" som skickas till botten och sedan kan återkallas, allt detta ger nya möjligheter för automatiska långtidsmätningar och observationer av biologin i djuphavet.

Detta visar hur naiva våra tidigare vyer varit. Akustiska och optiska sensorer på ROVs och bemannade undervattensfartyg (Fig. 5) visar att zooplankton inte ens tillnärmelsevis är så jämnt fördelade som vi tidigare antog från våra försök med nätprover. Ofta är de tätt sammanpackade i skikt, som bara är några få centimeter tjocka, vanligen i anslutning till fysiska gränsskikt [7, 20]. De ekologiska konsekvenserna av dessa organism-skikt är långtgående då de ger helt andra möjligheter för samspel mellan organismerna.

Vi trodde aldrig att nät var en särskilt bra fångstmetod för aktiva fiskar, och jämförelser mellan akustiska resultat och resultat från nätfångster har också visat att förmodandena varit riktiga. 1997 i Omanbukten fanns ett mycket starkt nattligt ekoskikt vid omkring 42 meters djup, som rörde sig snabbt neråt när ett upplyst forskningsfartyg stoppade för provtagningar (Fig. 6). Tidigare arbete antog att detta skikt orsakades av en

Figur 6. En flyktreaktion på grund av fartygslykt som observerades mellan ca 23.00 och 04.00 natten 18-19 februari 1997 i Omanbukten (dygn 49,80 – 50,00 räknat från årsskiftet /Julian days/). Övre bilden visar ett 38 kHz ekogram, undre bilden ett 120 kHz sådant och däremellan visas fartygets hastighet. När fartyget stannar för provtagning (vertikala linjer i diagrammet) sjunker det reflekterande ekoskiktet från 25 till 75 meter. Skiktet består till större delen av lyktfisken *Benthosema pterotum* (Se Figur 7). (Från referens 8, med tillstånd från Prof. G. Griffith, SOC)



Figur 7. Den 3-4 cm långa lyktfisken *Benthosema pterotum* är bra på att undvika insamlingsredskap, som det nät som visas i Figur 2 (RMT1+8). Akustiska beräkningar på abundans är därför mycket bättre än nätprover. (Foto: Peter Herring/ imigequest-marine.com)

3-4 cm lång lyktfisk, *Benthosema pterotum* (Fig. 7). Akustiska data antydde att det fanns omkring fyra fiskar per m^3 . En träl med en mynningsyta på $8 m^2$ som fiskade på samma djup som ekoskiktet med en hastighet på 1 meter/sek fångade endast ett exemplar per $1000 m^3$ vatten! Detta exempel visar att nätet har haft en effektivitet på mindre än 0,1% [9]. Nät är också en dålig fångstmetod för gelatinösa djur. Detta under-

ströks vid en nyligen genomförd jämförelse mellan en optisk planktonräknare – "zooplankton imaging system"- och nät, som användes samtidigt i Mexikanska Golfen. Näten underskattade ömtåliga zooplankton med 300-1 200 % relativt bilddata och OPC-systemet underskattade troligen partiklar med 30% [10]. Andra jämförande studier mellan nät och OPC visar något bättre resultat och detta beror uppenbarligen både på typ av organismer och på deras populationstäthet.

Ett sätt att förstå hur dessa organismer verkligen är fördelade tredimensionellt skulle vara att följa en gammal oceanografs råd som föreslog att använda en endoterm kärnreaktor för att frysa ner en km³ av havet, som sedan kunde smältas långsamt och alla organismers position avläsas! Markbiologer gör detta ibland – men i mycket mindre skala. Även om detta skulle vara möjligt, skulle det bara ge en ögonblicksbild och skulle inte säga något om dynamiken i samhället, information som våra fjärrstyrda insamlingsredskap börjar kunna ge.

Ut i havsmiljön

Det bästa för varje entusiastisk biolog är att ge sig ut och titta även om synfältet är begränsat. För nästan 70 år sedan riskerade William Beebe sitt liv när han sänktes ner till 800 meter i en stålkula, bathysfär, från ett ytfartyg. Hans rapport om vad han såg genom ett litet fönster inspirerade forskarna och satte igång utforskningen av djupen som nu görs med undervattensfarkoster som *Alvin* och *Johnson-Sealink* [11]. Precis som Mount Everest var målet för terrestra bergsbestigare så var målet för 1900-talets havspionjärer att nå ner till havens djupaste plats. Jacques Piccard och Don Walsh lyckades 1960, då de nådde botten i Marianergraven på ett djup av nästan 11 000 meter i amerikanska marinens bathysfär *Trieste* [12]. Ingen har gjort om detta.

Hur väl än biologen må tycka, att han känner till faunan efter att ha tittat igenom hundratals nätfångster, är erfarenheten att se samma djur i deras egen miljö svindlande. De oigenkännliga klumparna av gelatinösa djur i nätfångster blir, när man ser dem levande i sin egen miljö, skira och utsökt vackra men likväl med rovdjurens egenskaper. Fiskar som avbildats horisontellt i läroböcker kanske i verkligheten alltid hänger vertikalt i vattnet. Ovanliga simsätt och beteenden avslöjar plötsligt hur fel tidigare uppfattningar baserade på döda djur kan ha varit.

Inte desto mindre har observationer från bemannade undervattensfarkoster och bilder erhållna från obemannade ROVs och AUVs sina egna begränsningar vid sidan av de höga kostnaderna. Observatörer använder sina ögon och på farkoster används kameror: båda kräver god belysning i de svarta havsdjupen. Räckvidden för kameraljus är bara några få meter; bortom dessa försvinner alla innevägnarna i mörkret. Många djurs ögon har anpassats till den låga intensiteten av deras egen

bioluminiscens och förstörs lätt av våra starka strålkastare. En del djur attraheras även av vårt ljus liksom nattfjärilar till en låga. "Beteendet" som vi plötsligt ser behöver inte vara normalt, så försök pågår nu att observera faunan i rött ljus, som djuren inte kan se.

Undervattensfarkoster för med nödvändighet oväsen, precis som nät och bogserade farkoster, så att de djur som aktivt undviker våra nät kan vara lika duktiga på att undvika dessa farkoster (och våra ljus). I själva verket bör vi rutinemässigt förvänta oss att aktiva djur undviker våra redskap. Trots all vår tekniska kunskap så kan vi vara totalt okunniga om stora, aktiva djuphavsdjur som väljer att undvika våra insamlingsredskap.



Figur 8. Jättebläckfisken *Architeuthis dux* har nästa aldrig fångats i nät, men flyter ibland döda i land, som detta exemplar från Aberdeen. Goda uppskattningar av deras abundans är därför nästan omöjligt att få. (Foto: Martin Collins)

Jättebläckfisken känner vi endast till genom att döda exemplar flyter upp till ytan och ibland spolats upp på land (Fig. 8), och på grund av att dess näbbliknande käkar hittas i kaskelotternas magar (mycket bättre insamlare än våra nät!). Man kan notera att under de senaste åren har vi upptäckt nya arter av bardvalar och näbbvalar, som regelbundet kommer upp till ytan [13], likaväl som den jättelika "megamouth"hajen, som inte gör det, medan en okänd bläckfiskart som är åtminstone sju meter lång har observerats och videofilmats från våra undervattensfarkoster [15]. Dessa är mycket stora djur, så hur många okända mindre arter måste det inte finnas - och mer betydelsefullt, vilken roll spelar dessa? Man bör komma ihåg att den vanligast förekommande fotosyntetiserande organismen i haven (*Prochlorococcus*) upptäcktes först sent på 1980-talet! Nya metoder att studera marina mikroorganismer är att använda molekylära redskap. Dessa har avslöjat en enorm artrikedom och en släktskap som skulle vara fullkomligt omöjligt att bestämma med mer traditionella redskap (marina virus är troligen 10 gånger vanligare...) [16, 17]. Molekylära metoder innebär möjlighet till förbättring av taxonomin också inom många andra oceaniska organismgrupper och om metoderna kan automatiseras skulle de kunna monteras på undervattensfarkoster och därmed säkrare kunna registrera skilda arters utbredning.

Under många år betraktades djuphavsbottnarna som en relativt enahanda och ostörd miljö med ett litet antal arter (biodiversitet) i jämförelse med landmiljön. 1971 uppskattade Gunnar Thorson i sin bok "Life in the sea" att av en miljon kända arter var bara 160 000 marina och 98 % av dessa levde på havsbotten. I en detaljerad studie 1992 av makrofaunan tagen med bottenprovhämtare på djup mellan 1500 – 2500 m utanför New Jersey, fann man 798 arter bland de 91 000 individerna – och 58 % var nya arter [18]. Genom att från dessa data extrapolera kunde författarna göra en försiktig uppskattning på 10 miljoner makrofaunaarter i alla hav! Även om denna siffra kan ifrågasättas är det likväl klart att biodiversiteten på havsbotten kan vara mycket hög. I vattenmassan är den dock betydligt lägre.

re, mycket beroende på att denna miljö är mer enahanda.

Undervattensfarkoster tillåter oss att fokusera vår uppmärksamhet på individer av större storlek och på deras beteenden i vattnet. Med ny teknik kan vi samla in mindre djur levande och ofördärvade för experiment i laboratoriet. Detta görs antingen genom att fånga in djuret i en stängbar behållare med en sugpump eller ännu bättre genom att manövrera en öppen cylindrisk behållare runt djuret och sedan stänga till båda ändarna. Att fånga ett djur på detta sätt med en undervattensfarkost eller ROV kräver stor skicklighet, och fortfarande lyckas man inte ta de mer aktiva simmarna. I kombination med *in situ* observationer ger det oss en oöverträffad möjlighet att undersöka dessa djurs speciella egenskaper.

Djuren kan själva hjälpa till

Undervattensfarkoster, bogserade redskap, landare, plattformar och nät har alla stora begränsningar därför att inga av dess räknare, kameror och fångster sker under ostörda (normala) förhållanden. Även denna begränsning kan man nu komma förbi genom att använda djuren själva i insamlings- och observationsprocessen. Markörer placerades tidigare på vissa kommersiella fiskarter i förhoppning att senare återfångst skulle ge data om fiskarnas rörelser och förflyttningar. Markörerna är nu mindre och kan därför innehålla alla möjliga sensorer. De kan tillfälligt limmas på eller på annat sätt fästas vid större maneter, kräftdjur, fiskar, sköldpaddor, dykande fåglar, sälar, valar och delfiner för att ge oss en bild av deras rörelser, dykvanor, hjärtfrekvens och många andra parametrar, vilka alla kan laddas ner automatiskt och överföras via satellit till land. Återfångst behövs inte längre. Ju större djuret är desto större är potentialen för instrumentutrustningen. Miniatyriseringen av digitala stillbilda- och videokameror gör att de nu kan fästas på valar och sälar, hajar, sköldpaddor och pingviner, vilket ger oss "djurens" bild av födovänor och sociala beteenden [19]. Med en fortlöpande miniatyrisering kommer fler och fler potentiella bärare att bli tillgängliga och det är frestande att föreställa sig framtida bilder från djuphavsmarulkar (Fig. 9) och djuphavsläckfiskar i sin normala omgivning (detta skulle förstås också kräva små ljuskällor!).

Avslutande kommentarer

Att kombinera alla dessa skilda möjligheter är nu utförbart och har lett till utvecklingen av ett världsvitt program som kallas Ocean Observing Systems (OOS), som integrerar rader av sensorer som satts ut för att avslöja dynamiken i speciella regioner. Plattformar för sensorer omfattar satelliter, bojsystem på ytan och nere i vattnet, bottenplacerade instrument, fritt drivande paket med instrument som kan anpassas till önskat djup,



Figur 9. Ett kvarstående mysterium från djuphavet är hur hanar av djuphavsmarulkar hittar rätt honor och sätter sig fast på dem (som i detta fall med ett par av arten *Melanocetus johnsoni*; honan är 100 mm lång). Fantasifullt som det i nuläget kan verka, kan vi kanske en dag fästa en minikamera på en hona och registrera hennes möte med en hane. (Foto: Peter Herring/ imagequest-marine.com)

forskningsfartyg, bogserade redskap, ROVs och AUVs. Alla dessa leverar sina data till en mellanstation eller skickas direkt till land. Även om OOS utvecklingen hittills begränsats till kustregioner, så har möjligheten med biologiska sensorer och bildsystem kraftigt ökat vår förståelse av havsinnevärdarna och deras samspel. De har även försett oss med nya undervisningsmöjligheter [20]. Så småningom kommer tekniken att kunna användas på allt djupare vatten.

Kunskap om havsekosystemen kräver tid, redskap, uppfinningsrikedom och uthållighet. Vi känner till något om vilka som lever i haven, något om olika arters vanor och även något (dock ofta väldigt lite) om deras samspel. Det är en början. Våra föregångare tillbringade långa perioder till havs under trånga och besvärliga förhållanden och vanligen utan kommunikation med land. Dagens biologiska oceanografer kan, om de har tur, ha korta kryssningar med hotellstandard och e-post. De kan få väldigt mycket mer data per tidsenhet och ha tillgång till direkt information om innevärdarna i djuphaven som deras föregångare skulle ha gett sitt liv för (och ibland också gjorde). Inte desto mindre - var vi än gör våra undersökningar, kan vi hitta nya arter, få nya observationer att tolka och nya datamängder att bearbeta. Vår förhoppning är att detta skall hjälpa oss att förstå de processer som är verksamma inom dessa betydelsefulla ekosystem. Bara då kan vi hoppas att få en positiv roll i deras framtid.

Referenser

1. Herring, P.J. (2002) *The Biology of the Deep Ocean*. Oxford: Oxford University Press.
<http://www.oup.co.uk/isbn/0-19-854955-5>
Robison, B.H. and Connor, J. (1999) *The Deep Sea*. Monterey: Monterey Bay Aquarium Press ISBN: 1-878244-25-6
2. Petersen, C.G.J. (1913) Valuation of the sea. II. The animal communities of the sea-bottom and their importance for marine zoogeography. *Report of the Danish Biological Station* 21, 44pp.
3. http://www.coexploration.org/oe2004/_challenger_and_beyond_virtual.html
4. http://www.oceansonline.com/challenger_ex.htm
<http://life.bio.sunysb.edu/marinebio/challenger.html>
5. Asubel, J. (1999) *Oceanography*, 12 p.4.
<http://www.coml.org/aboutcoml.htm>
6. Wiebe, P.H. and Benfield, M.C. (2003) From the Hensen net toward 4-dimensional biological oceanography. *Progress in Oceanography*, 56 7-136.
7. Widder, E.A., Johnsen, S.A., Bernstein, S.A., Case, J.F. and Neilson, D.J. (1999) Thin layers of bioluminescent copepods found at density discontinuities in the water column. *Marine Biology* 134 429-437.
8. <http://www.whoi.edu/marops/vehicles/alvin/index.html>;
http://www.mbari.org/data/images/video/images_&_video.htm
<http://www.hboi.edu/gallery/photos.html>
9. Griffiths, G., Fielding, S. and Roe, H.S.J. (2002) Some observations of biophysical interaction in the ocean using high frequency acoustics. *Proceedings of the Institute of Acoustics* 23 (2) 189-195.
Available online as:
http://www.soc.soton.ac.uk/OED/gxg/GG_IOA_paper.pdf
10. Remsen, A., Hopkins, T.L. and Samson, S. (2004) What you see is not what you catch: a comparison of concurrently collected net, Optical Plankton Counter, and Shadowed Image Particle Profiling Evaluation Recorder data from the northeast Gulf of Mexico. *Deep-Sea Research I*, 51 129-151.
11. Beebe, W.M. (1935) *Half mile down*. London: John Lane, The Bodley Head.
12. Piccard, J. and Dietz, R.S. (1961) *Seven miles down*. New York: G.P.Putnam's Sons.
13. Wada, S. Oishi, M. and Yamada, T.K. (2003) A newly discovered species of living baleen whale. *Nature* 426, 278 – 281.
14. <http://www.flmnh.ufl.edu/fish/sharks/megamouth/mega.html>
15. Vecchione, M. et al. (2001) Worldwide observations of remarkable deep-sea squids. *Science* 294 2505.
16. Copley, J. (2002) All at sea. *Nature* 415 572-574.
Karl, D.M. (2002) Hidden in a sea of microbes. *Nature* 415 590-591
17. Fuhrman, J.A. (1999) Marine viruses and their biogeochemical and ecological effects. *Nature* 399 541-548
18. Grassle, C.F. and Maciolek, N.J. (1992) Deep-sea species richness: regional and local diversity estimates from quantitative bottom samples. *American Naturalist*, 139 313-341

May, R.M. (1992) Bottoms up for the oceans. *Nature*, 357 278-279

19. Fuiman, L.A., Davis, R.W. and Williams, T.M. (2002) Behavior of midwater fishes under the Antarctic ice: observations by a predator. *Marine Biology*, 140 815-822.

<http://www.nationalgeographic.com/features/98/crittercam>

http://www.antarctica.ac.uk/News_and_Information/Press_Releases/story.php?id=94

20. McManus, M.A. et al. (2003) Characteristics, distribution and persistence of thin layers over a 48 hour period. *Marine Ecology Progress Series* 261 1-19.

McConnell, J. and Hotaling, L. (2003) Who uses the COOL classroom? Community College and Middle/High School educators, that's who. *Oceanography*, 19 (4) p.12.

<http://marine.rutgers.edu/cool>

Sökord:

Djuphav, hav, ocean, ekosystem, insamling, fiske, nät, fångstnät, fjärrstyrning, akustik, ekolod, lyktfisk, marulk, jättebläckfisk, bioluminiscens, djurplankton, växtplankton, *Prochlorococcus*, mikroorganismer, virus, valar, videokamera, optisk partikelräknare, undervattensfarkost, ROV, AUV, *HMS Challenger*, bathysfär