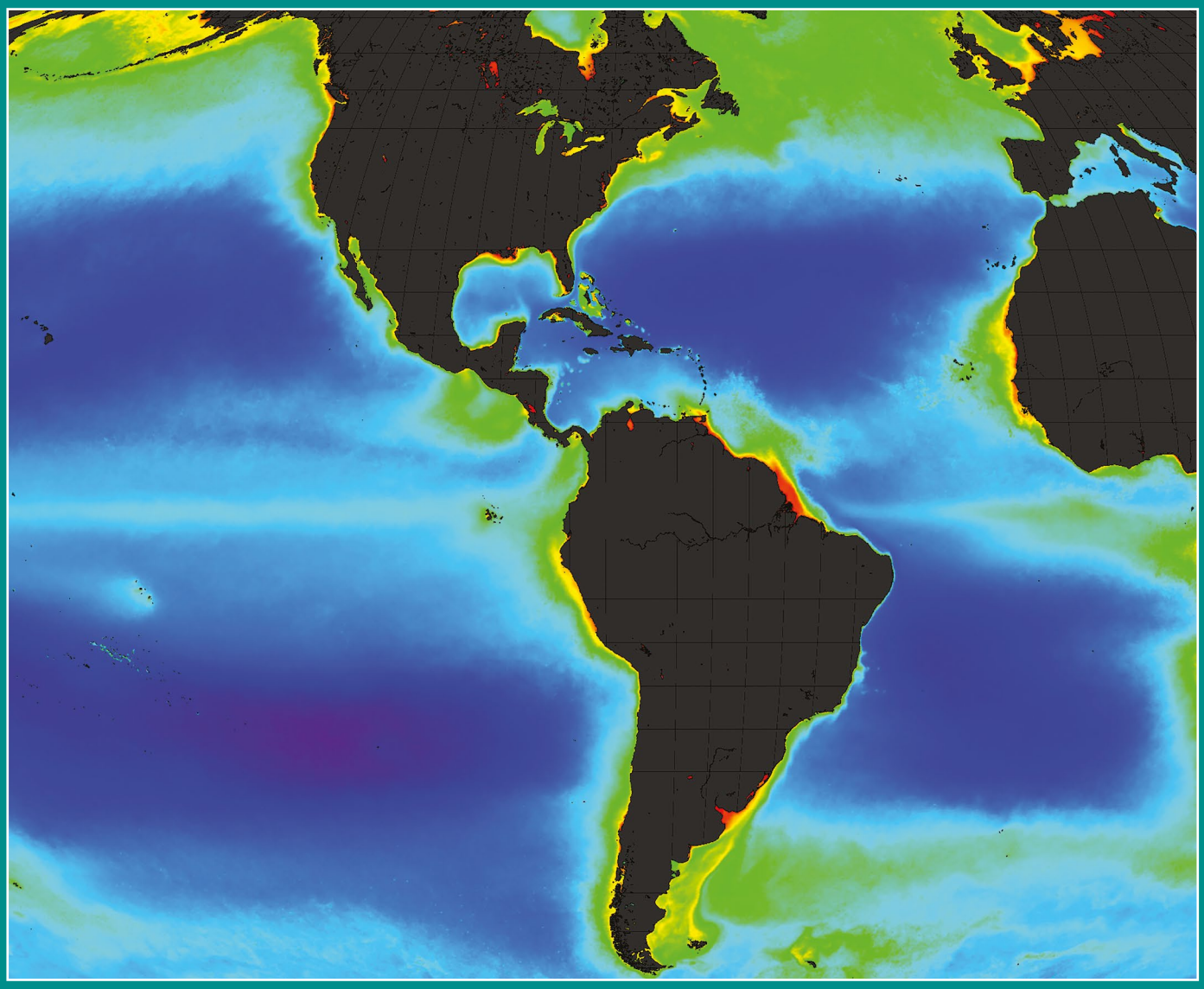
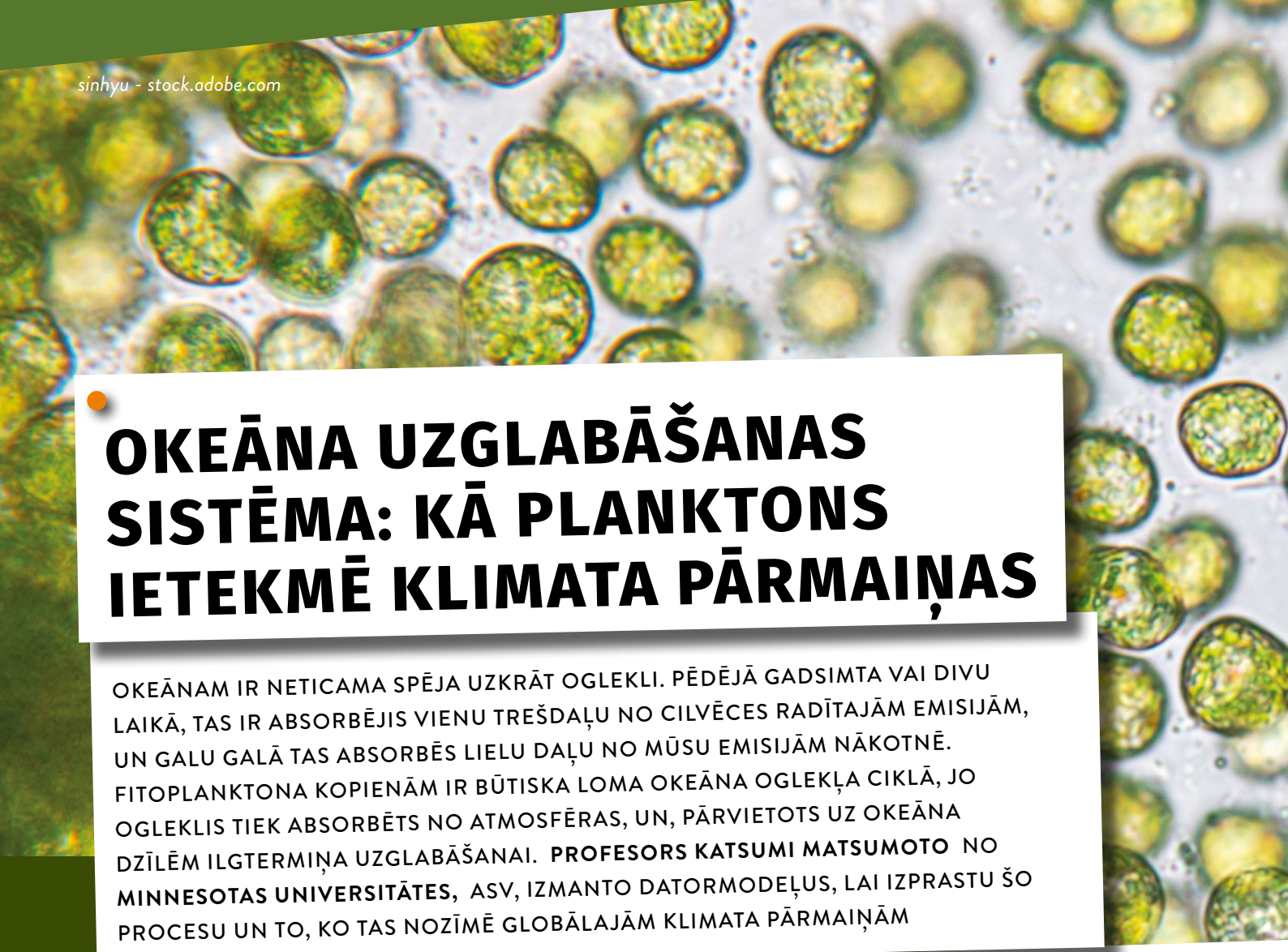
OKEĀNA UZGLABĀŠANAS SISTĒMA: KĀ PLANKTONS IETEKMĒ KLIMATA PĀRMAIŅAS

PROFESORS KATSUMI MATSUMOTO



© Dr. Andreas Holmss un Megana Gāla, Doane universitāte. Drukāts kolorimetrisko sensoru kopums, pirms un pēc sprāgstvielas trieciena virsmai



sinhyu - stock.adobe.com

OKEĀNA UZGLABĀŠANAS SISTĒMA: KĀ PLANKTONS IETEKMĒ KLIMATA PĀRMAIŅAS

OKEĀNAM IR NETICAMA SPĒJA UZKRĀT OGLEKLI. PĒDĒJĀ GADSIMTA VAI DIVU LAIKĀ, TAS IR ABSORBĒJIS VIENU TREŠDAĻU NO CILVĒCES RADĪTAJĀM EMISIJĀM, UN GALU GALĀ TAS ABSORBĒS LIELU DAĻU NO MŪSU EMISIJĀM NĀKOTNĒ. FITOPLANKTONA KOPIENĀM IR BŪTISKA LOMA OKEĀNA OGLEKĻA CIKLĀ, JO OGLEKLIS TIEK ABSORBĒTS NO ATMOSFĒRAS, UN, PĀRVIETOTS UZ OKEĀNA DZĪLĒM ILGTERMIŅA UZGLABĀŠANAI. **PROFESORS KATSUMI MATSUMOTO** NO **MINNESOTAS UNIVERSITĀTES,** ASV, IZMANTO DATORMODEĻUS, LAI IZPRASTU ŠO PROCESU UN TO, KO TAS NOZĪMĒ GLOBĀLAJĀM KLIMATA PĀRMAIŅĀM

RUNĀ KĀ OKEĀNA BIOĢEOĶĪMIĶIS

BIOLOĢISKAIS SŪKNIS -okeāna bioloģiski izraisīta oglekļa uztveršana un sekvestrācija no atmosfēras

OGLEKĻA CIKLS - procesu grupa, kas ietver oglekļa savienojumu pārveidošanu no vienas formas citā, piemēram, fotosintēzes, elpošanas, sadalīšanās un sadegšanas procesi

OGLEKĻA SEKVESTRĀCIJA - atmosfēras oglekļa dioksīda uztveršanas un uzglabāšanas process

FOTOSINTĒZE -ķīmiskais process, kurā augi pārveido oglekļa dioksīdu, ūdeni un gaismu organiskās molekulās

FITOPLANKTONS -mikroskopiski jūras augi, kas dzīvo okeāna virszemes ūdeņos

TAKSONOMIJA -organismu klasifikācijas sistēma

Kamēr cilvēce ir aizņemta ar oglekļa dioksīda pumpēšanu atmosfērā, okeāns ir aizņemts ar tā absorbēšanu. Oglekļa dioksīds šķīst jūras ūdenī, un no jūras tas var iekļūt dzīvajos organismos. Fitoplanktons - mikroskopiski jūras augi - dzīvo pie okeāna virsmas un fotosintēzes ceļā savās šūnās uzņem oglekli. Nāves vai citu pārtikas ķēdes procesu rezultātā, daļa no šī oglekļa nogrimst okeāna dzīlēs, kur tas uzglabājas jūras ūdenī un okeāna gultnes nogulumos. Tādējādi okeāns ir ļoti svarīga oglekļa krātuve, kas ievērojami palēnina klimata pārmaiņu tempu.

Šo procesu dēvē par 'bioloģisko sūkni'. "Bioloģiskais sūknis ir fotosintēzes radīto organisko vielu vertikāla pārnese no okeāna virsmas uz okeāna dzīlēm," saka Minesotas Universitātes profesors Katsumi Matsumoto. "Tas nozīmē, ka oglekļa dioksīds no atmosfēras tiek pārvietots uz dziļajiem ūdeņiem, kur tas var saglabāties gadsimtiem ilgi vai pat ilgāk. Jo spēcīgāks ir bioloģiskais sūknis, jo vairāk tas atvēsina globālo klimatu, samazinot oglekļa dioksīda daudzumu atmosfērā."

Tomēr ātrumu, kādā tas notiek, daļēji nosaka attiecīgās fitoplanktona kopienas. Atkarībā no vides apstākļiem, šīs fitoplanktona kopienas var ievērojami mainīties, kas ietekmē to lomu globālajā okeāna oglekļa apritē. Katsumi strādā okeānu bioģeoķīmijas jomā un izmanto datormodeļus, lai prognozētu šo mikroskopisko organismu attīstību, un to ietekmi uz oglekļa ciklu pasaules mērogā.

FITOPLANKTONS

"Visas dzīvības formas aug, izmantojot vienus un tos pašus pamatelementus - oglekli (C), slāpekli (N) un fosforu (P)," saka Katsumi. "Ogleklis ir šūnu pamatelements, slāpeklis ir galvenā olbaltumvielu sastāvdaļa, bet fosfors ir būtisks tādām nukleīnskābēm kā DNS." Katsumi pēta C:N:P attiecību fitoplanktonā - citiem vārdiem sakot, kā un kāpēc šajos organismos mainās šo trīs elementu proporcijas.

Šis darbs ir saistīts ar vēsturiska precedenta apstrīdēšanu. "Gandrīz pirms gadsimta Alfrēds Redfīlds novēroja, ka C:N:P attiecība jūras planktonā ir stabila un ļoti līdzīga C:N:P attiecībai jūras ūdenī. Šo novērojumu sāka dēvēt par "Redfīldas attiecību", un tas ir viens no galvenajiem bioloģiskās un ķīmiskās okeanogrāfijas principiem," stāsta Katsumi. "Tomēr jaunākie pētījumi liecina, ka šī C:N:P attiecība planktonā patiesībā var ievērojami atšķirties. Mans projekta mērķis ir atrast veidu,

PROFESORS KATSUMI MATSUMOTO

Zemes un vides zinātņu departaments, Minesotas Universitāte, ASV

PĒTNIECĪBAS JOMA

Okeāna bioķīmija

IZPĒTES PROJEKTS

Okeāna fitoplanktona C:N:P attiecības modelēšana, atkarībā no dažādiem apstākļiem.

FINANSĒTĀJS

Nacionālais zinātnes fonds

kā iekļaut šo variāciju okeāna modeļos un izmantot šos modeļus, lai izpētītu šo variāciju ietekmi uz okeāna oglekļa ciklu un globālo klimatu."

IETEKMES UZ C:N:P ATTIECĪBU

"Kopumā bioloģiskā sūkņa spēku bieži ierobežo barības vielu pieejamība," saka Katsumi. "Tāpat kā dārza augošie stādi aug straujāk, ja tos mēslo ar N un P, tā arī jūras fitoplanktons aug straujāk." Tomēr pētījumi atklāj, ka tas ir pārāk vienkāršots skaidrojums, jo tiek pieņemts, ka C:N:P attiecība paliek nemainīga un atbilst Redfīlda attiecībai. Reālajā dzīvē, kā tas bieži vien notiek, viss ir daudz sarežģītāk.

"Manā pētījumā ir identificēti trīs galvenie faktori, kas nosaka C:N:P attiecību fitoplanktonā dažādos mērogos," saka Katsumi. "Atsevišķās šūnās C:N:P attiecību nosaka N un P pieejamība, temperatūra un apgaismojuma līmenis. Piemēram, ja apkārtējā jūras ūdenī trūkst P, šūnas to kompensē un kļūst bagātīgas ar C, un P izmanto tikai taupīgi." Tomēr sižets ir sarežģītāks, jo dažādas fitoplanktona sugas uz šiem vides faktoriem reaģē atšķirīgi. "Tādējādi taksonomija ir otrais plašais faktors, kas ietekmē C:N:P attiecību. Piemēram, cianobaktērijas ir īpaši C bagāts fitoplanktona veids, tāpēc kopienās, kur šīs sugas dominē, būs augsta C:N:P attiecība." Šo dažādo sugu ietekme uz globālo bioloģisko sūkni ir atkarīga no to izplatības visā pasaulē - vietās ar augstu "produktivitāti" (t.i., ar lielu fitoplanktona klātbūtni) būs lielāks ieguldījums globālajā produkcijā, nekā vietās ar zemu produktivitāti. "Tādējādi trīs kontroles mehānismi ir fizioloģiskie, taksonomiskie un produktivitāte," secina Katsumi.

ATTIECĪBAS IEKĻAUŠANA MODEĻOS

"Okeāna skaitliskie modeļi ir reālā okeāna darbības matemātisks attēlojums," saka Katsumi. "Piemēram, vēji virza okeāna virskārtas ūdeņus un rada okeāna straumes, kā arī pastāv vienādojumi, kas izsaka šo vēja un straumes sakarību." Fizikālos un ķīmiskos procesus parasti ir vieglāk modelēt, jo to darbības pamatlikumi ir vieglāk saprotami. No otras puses, bioloģiskie procesi, piemēram, fitoplanktona produktivitāte, ir sarežģītāki, un modeļos tie var būt pārāk vienkāršoti. Katsumi strādā pie tā, lai to mainītu. "Daudzi bioloģisko procesu vienādojumi ir balstīti uz novērojumiem," viņš saka. "Es studēju okeāna bioģeoķīmijas novērojumu rezultātus un mēģinu tos apkopot vienkāršos vienādojumos, kurus pēc tam iestrādāju savos modeļos."

Pašlaik Redfīlds attiecību plaši izmanto, lai modelētu okeāna norises, piemēram, oglekļa ciklu, taču, kā redzams, tas ne vienmēr ir precīzs atspoguļojums. Tagad okeanogrāfi var izmantot Katsumi modeļus savos veidotajos modeļos, lai iegūtu precīzāku priekšstatu par pasaules okeānu. "Mans darbs ļauj zinātniekiem novērtēt, kā mainās fitoplanktona C:N:P attiecība, atkarībā no dažādiem vides apstākļiem," saka Katsumi. "Tas savukārt var palīdzēt izstrādāt precīzākus modeļus, lai novērtētu, kāds klimats bija tālā pagātnē, kā arī okeāna reakciju uz pašreizējām un nākotnes klimata pārmaiņām."

ATKLĀJUMI

Globālā sasilšana okeānā izraisa tā saukto termisko stratifikāciju, kas nozīmē, ka ūdens 'slāņi' dažādos dziļumos sajaucas mazāk nekā agrāk. Svarīgākais ir tas, ka dziļākos slāņos esošās barības vielas retāk nonāk virszemes ūdeņos, un tas nozīmē, ka fitoplanktona vidē ir mazāk pieejams N un P. Pamatojoties tikai uz Redfīlda attiecību, paredzams, ka tas ievērojami vājina bioloģisko sūkni, jo bez pieejamā N vai P fitoplanktons nevar uzņemt C.

Tomēr Katsumi pētījumi atklāj, ka to daļēji var kompensēt citi viņa pētītie faktori, kas ietekmē C:N:P attiecību. "Zems barības vielu līmenis paaugstina C:N:P attiecību šūnās, kas nozīmē, ka tās uztver proporcionāli vairāk C nekā N, vai P," saka Katsumi. "Tajā pašā laikā, barības vielu samazināšanās un temperatūras paaugstināšanās veicina C bagātu fitoplanktona sugu, piemēram, cianobaktēriju, veidošanos." Šīs fizioloģiskās un taksonomiskās reakcijas nozīmē, ka, lai gan līdz gadsimta beigām bioloģiskais sūknis joprojām ievērojami pavājināsies, saskaņā ar standarta nākotnes sasilšanas scenāriju, tas varētu samazināties par 30% mazāk, nekā gaidāms, tā kā ir pieejama šī informācija.

mikro_foto - stock.adobe.com

PAR OKEĀNU BIOĢEOĶĪMIJU

Katsumi plašāk stāsta par savu pētniecības jomu un karjeru.

KAS IR OKEĀNA BIOĢEOĶĪMIJA?

Okeanogrāfija - okeānu pētniecība - ir ļoti plaša un starpdisciplināra. Tas ietver fiziku (piemēram, okeāna straumes, siltuma saturu), ķīmiju (piemēram, elementu koncentrāciju un izotopus jūras ūdenī), bioloģiju (piemēram, bioloģisko produkciju, mikrobu elpošanu) un ģeoloģiju (piemēram, upju ieplūdi, sedimentāciju). Okeāna bioģeoķīmija ir okeanogrāfijas apakšnozare, kas saistīta ar svarīgu elementu apriti, laika skalā no dienām līdz gadu tūkstošiem. Tā kā šie cikli ietver fizikālus, ķīmiskus un bioloģiskus procesus, tie dabiski ir starpdisciplināri.

KO IETVER TAVA PĒTNIEKA KARJERA?

Kā skaitļošanas ķīmijas okeanogrāfs, veicu pētījumus par plaša spektra tēmām, kas plaši saistītas ar globālo okeāna oglekļa ciklu un tā saistību ar globālo oglekļa sistēmu. Okeāniem ir būtiska ietekme uz oglekļa dioksīdu atmosfērā, kas ir galvenais klimata pārmaiņu virzītājspēks. Mans pētījums ir saistīts ar centieniem kvantitatīvi izprast globālā okeāna oglekļa cikla būtiskos virzītājspēkus pagātnes, tagadnes un nākotnes klimatiskajos apstākļos.

KAS TAVĀ DARBĀ SAGĀDĀ GANDARĪJUMU?

Okeāna bioģeoķīmija ir ļoti saistīta ar globālajām klimata pārmaiņām. Okeāns absorbē un turpinās absorbēt lielu daļu oglekļa dioksīda, kas izdalās, sadedzinot fosilo kurināmo. Pētījumi tādās jomās kā jūras fitoplanktons un bioloģiskais sūknis ir ļoti svarīgi, lai izprastu, kā darbojas globālais oglekļa cikls, un ko tas nozīmē attiecībā uz klimata pārmaiņu ietekmi uz pasauli.

KO TU PĒTĪSI TĀLĀK?

Man prātā ir divi nākotnes virzieni. Pirmkārt, es plānoju izmantot satelītu datus, lai attālināti kvantitatīvi noteiktu fitoplanktona C:N:P attiecības. Tas papildinātu manu teorētisko modelēšanas darbu ar reāliem pasaules datiem. Otrkārt, es plānoju paplašināt savu teorētisko darbu par fitoplanktonu, iekļaujot tajā arī zooplanktonu. Šie mikroskopiskie dzīvnieki barojas ar fitoplanktonu un pārvietojas vertikāli okeāna ūdeņos, tāpēc ir svarīga bioloģiskā sūkņa daļa un, iespējams, maina fitoplanktona C:N:P attiecību, jo fitoplanktona biomasa grimst.

AR KĀDIEM IZAICINĀJUMIEM SASKARSIES NĀKAMĀ OKEĀNA BIOĢEOĶĪMIĶU PAAUDZE?

Lai precīzi modelētu bioloģiskos procesus, ir nepieciešams tos sadalīt kvantitatīvi izmērāmos mehānismos, taču bioloģijā tas ir sarežģītāk nekā ķīmijā un fizikā. Svarīgi ir atklāt šo procesu pamatā esošos vienādojumus. Vēl viens izaicinājums nākamajai paaudzei būs tas, kā apstrādāt milzīgo datu daudzumu, ko savāc tālvadības sensori, piemēram, satelīti un autonomās bojas. Šīs datu kopas būs ļoti svarīgas mūsu izpratnei, bet tikai tādā gadījumā, ja mēs spēsim tās efektīvi izmantot.

IZPĒTI KARJERU OKEĀNA BIOĢEOĶĪMIJAS JOMĀ

- Ir daudzas iestādes, kas sniedz atbalstu studentiem, kas vēlas studēt okeanogrāfiju vai ar to saistītus kursus. ASV NOAA Jūras dotāciju programma (NOAA Sea Grant) atbalsta studentus, kuri vēlas strādāt okeanogrāfijas jomā, piemēram, nodrošinot stipendijas un prakses vietas: **seagrant.noaa.gov**
- Minesotas Universitātes Zemes un vides zinātņu departaments, kurā strādā Katsumi, regulāri piedāvā sabiedrības izglītošanas programmas (**cse.umn.edu/esci/initiatives**). Lielāko daļu vasaras, Katsumi vada darbnīcas ar vietējām vidusskolām, pasniedz publiskas lekcijas un uzņem studentus savā pētniecības grupā, lai sadarbotos 'mazos projektos'.
- Katsumi stāsta, ka karjeru okeānu bioģeoķīmijas jomā, visticamāk, nāksies veidot akadēmiskajā vai valdības pētniecības jomā. Saskaņā ar PayScale datiem, okeanogrāfa vidējā alga ASV ir aptuveni 70 tūkstoši dolāru.

CEĻŠ NO SKOLAS LĪDZ OKEĀNA BIOĢEOĶĪMIĶIM

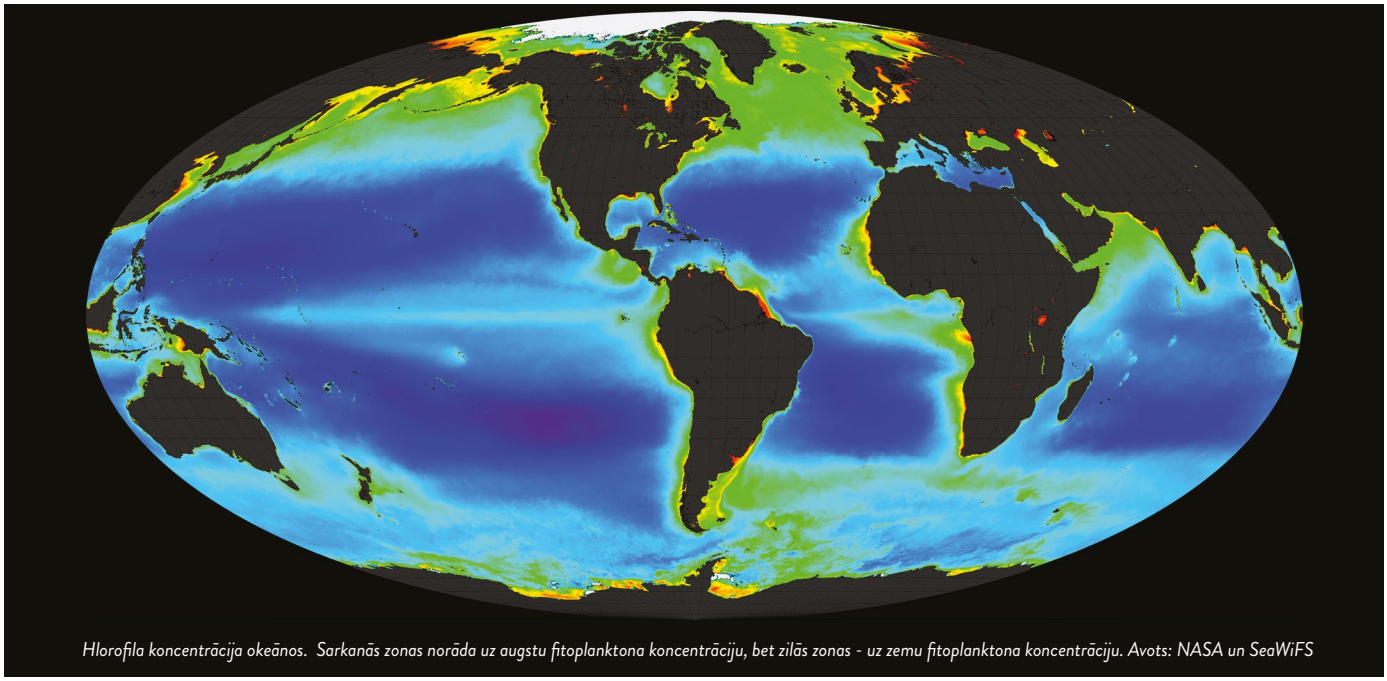
Ņemot vērā okeāna bioģeoķīmijas starpdisciplināro raksturu, Katsumi iesaka iepazīties ar STEM pamatiem: fizika, ķīmija, bioloģija un matemātika. Universitātē ļoti noderīgi ir okeanogrāfijas, ģeoķīmijas vai Zemes zinātņu kursi, taču arī daudzi citi zinātniskie grādi var sniegt nepieciešamās pamatzināšanas.

KATSUMI GALVENIE PADOMI

01 Atrodi kādu, kas tevi iedvesmo un ir tev priekšzīmīgs paraugs.

02 Akadēmiskais ieguldījums un aktīva interese par vides jautājumiem, tevi labi sagatavos karjerai okeanogrāfijā.

03 Saglabā veselīgu līdzsvaru starp darbu un privāto dzīvi. Tas ir ļoti svarīgi, lai dzīvē gūtu ilgstošus panākumus.



Hlorofila koncentrācija okeānos. Sarkanās zonas norāda uz augstu fitoplanktona koncentrāciju, bet zilās zonas - uz zemu fitoplanktona koncentrāciju. Avots: NASA un SeaWiFS

KĀ KATSUMI KĻUVA PAR OKEĀNA BIOĢEOĶĪMIĶI?

KĀDAS BIJA TAVAS INTERESES BĒRNĪBĀ?

Man vienmēr ir interesējusi daba. Bērnībā man patika doties pārgājienos kopā ar ģimeni, un kopā ar brāļiem ķert kukaiņus. Būdams pusaudzis, es biju norūpējies par vides aizsardzību un saglabāšanu.

KAS TEVI IEDVESMOJA KĻŪT PAR ZINĀTNIEKU?

Bērnībā neviens no manas ģimenes locekļiem nebija zinātnieks, tāpēc tas nebija manā interešu lokā. Bet tad mans vecākais brālis ieguva augstāko izglītību, kas man pavēra iespēju pašam turpināt izglītoties. Vēlāk mani iedvesmoja manu ģeozinātņu pasniedzēju, piemēram, Toma Vebba (Brauna universitātē) un Vellija Broekera (Kolumbijas universitātē) padziļinātās zināšanas.

KĀDAS PERSONISKĀS ĪPAŠĪBAS IR PADARĪJUŠAS TEVI PAR VEIKSMĪGU ZINĀTNIEKU?

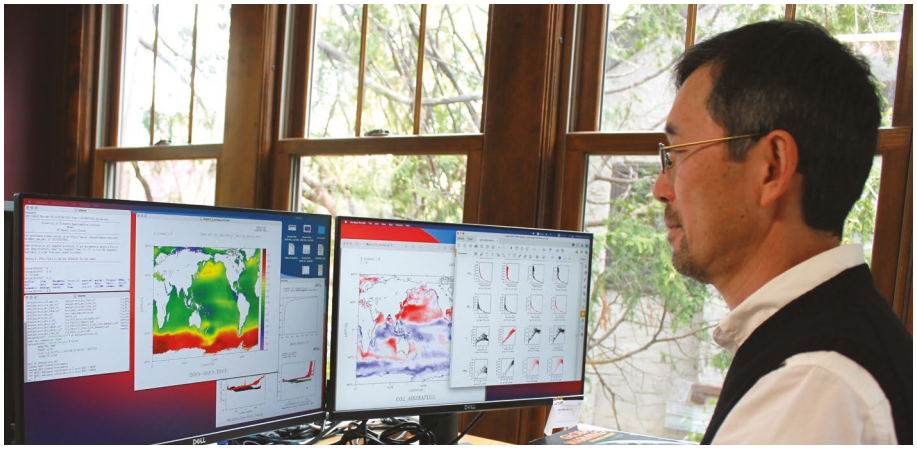
Neatlaidība ir ļoti svarīga. "Ģēnijs ir 1 procents iedvesmas un 99 procenti sviedru," kā teicis Tomass Edisons, un, iespējams, tieši neatlaidība ir bijis galvenais iemesls maniem panākumiem. Bieži vien ir iesaistīta arī veiksme, taču, lai gūtu veiksmi, ir nepieciešama neatlaidība.

KĀ TU PĀRVARI ŠĶĒRŠĻUS DARBĀ?

Atkal - ar neatlaidību. Es veltu problēmai tik daudz laika un pūļu, cik vien spēju, bieži vien mācoties no apkārtējiem. Es apstājos, ja jūtu, ka esmu izdarījis visu iespējamo, un pēc brīža atkal atgriežos pie problēmas. Bieži vien man izdodas pārvarēt šķēršļus tad, kad esmu izgājis cauri šim procesam vairākas reizes, lai gan tas var aizņemt kādu laiku!

KĀDI IR TAVI LĪDZŠINĒJIE KARJERAS SASNIEGUMI, AR KURIEM VISVAIRĀK LEPOJIES?

Es visvairāk lepojos ar publikācijām, ko veidojuši mani studenti. Es arī lepojos ar iespējām, kas man paveras kā viesprofesoram. Iepriekšējo atvaļinājumu laikā, esmu veicis pētījumus Sidnejā, Hobartā, Tokijā un Oksfordā.



Profesors Katsumi Matsumoto attālināti pieslēdzas superskaitļošanas iekārtām, lai modelētu globālo okeāna bioģeoķīmiju.

OKEĀNA BIOĢEOĶĪMIJA AR PROFESORU KATSUMI MATSUMOTO

DISKUSIJU PUNKTI

ZINĀŠANAS

1. Kas ir fitoplanktons?
2. Kāds ir globālais okeāna oglekļa cikls?

IZPRATNE

3. Vai vari paskaidrot bioloģiskā sūkņa nozīmi globālo klimata pārmaiņu kontekstā?
4. Kādēļ fizikālos un ķīmiskos procesus ir vieglāk modelēt nekā bioloģiskos?

PIELIETOJUMS

5. Klimata pārmaiņu ietekmē, okeānu temperatūra paaugstinās. Kā, tavuprāt, tas varētu ietekmēt bioloģisko sūkni?
6. Daudzi zinātnieki apgalvo, ka oglekļa dioksīda sekvestrācijai okeāns ir svarīgāks par kokiem. Kādēļ, tavuprāt, tas tā varētu būt?

ANALĪZE

7. Kādēļ, tavuprāt, okeanogrāfiskajos modeļos joprojām izmanto Redfīlds attiecību, ja ir zināms, ka tā ir pārāk vienkāršota?
8. Kā, tavuprāt, zooplanktons (kas pārtiek no fitoplanktona) varētu ietekmēt fitoplanktona C:N:P attiecību?
9. Katsumi piemin satelītu datu izmantošanu, lai papildinātu savus modeļus. Kā, tavuprāt, šī informācija varētu uzlabot viņa modeļus?

VĒRTĒŠANA

10. Katsumi pētījumi liecina, ka bioloģiskais sūknis var nevājināties tik ļoti, kā iepriekš uzskatīts. Vai, tavuprāt, tas nozīmē, ka pasaule var atslābt attiecībā uz klimata pārmaiņu problēmu risināšanu?

AKTIVITĀTES, KO VAR VEIKT MĀJĀS VAI KLASĒ

Pamatojoties uz savām zināšanām, un to, ko esi uzzinājis no raksta, uzzīmē globālā okeāna oglekļa cikla diagrammu. Izveido diagrammu pēc iespējas skaidrāku un aizraujošāku. Noteikti iekļauj:

- Fotosintēzi
- Pārtikas ķēdes
- Virszemes ūdeņus un dziļūdeņus
- Jūras nogulsnes
- Atmosfēras oglekli
- Oglekļa emisijas

Kad esi pabeidzis diagrammu, atrodi dažus piemērus internetā. Vai tajos ir iekļauts kaut kas, ko tu neesi iekļāvis? Vai vari papildināt savu diagrammu ar kaut ko jaunu, ko esi iemācījies?

Ja tev ir laiks, apdomā, kā varētu izskatīties citi okeāna barības vielu cikli. Kāds varētu būt globālā okeāna slāpekļa cikls? Kā to var ietekmēt cilvēku darbība?

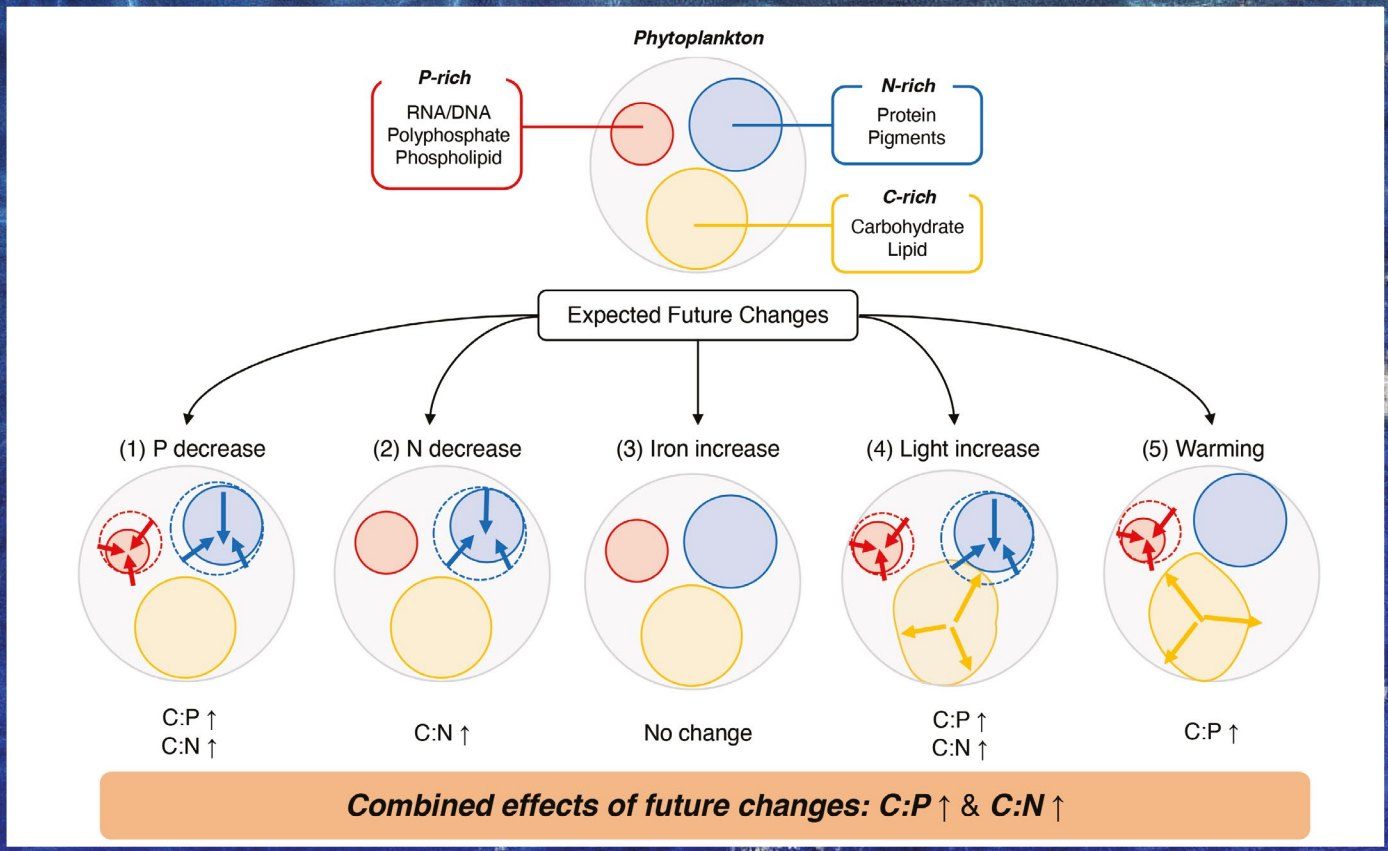
PAPILDUS RESURSI

- Minesotas Universitātes Zemes un vides zinātņu departaments īsteno vairākas informatīvas iniciatīvas, piemēram, studentu simpozijus, publiski pieejamus resursus un sabiedrībai domātus projektus, kuros apvienota zinātne un māksla. Uzzināt vairāk šeit: **cse.umn.edu/esci/initiatives**

- Šajā NASA rakstā sniegta informācija par fitoplanktonu un tā nozīmi, tostarp par to, kā fitoplanktona kopienas var izsekot, izmantojot satelītus: **earthobservatory.nasa.gov/features/Phytoplankton**

- Šajā videoklipā sniegta informācija par dzelzs mēslošanas koncepciju, kas ir pretrunīgi vērtēta metode fitoplanktona apgādāšanai ar papildu barības vielām, lai veicinātu oglekļa sekvestrāciju: **www.youtube.com/watch?v=8ZO9M1_CJD0**

Avots: NASA



Ilustrācija tam, kā nākotnes pārmaiņas okeānā, ietekmēs fitoplanktona C:N:P attiecību. Piemēram, fitoplanktons stratifikācijas dēļ būs ierobežots plānākā, saules apspīdētā okeāna virskārtā, un tādējādi būs pakļauts lielākam gaismas daudzumam. Palielinātas gaismas apstākļos (4) fitoplanktons var fotosintezēt ātrāk (vairāk C), un/vai tam nepieciešams mazāk hlorofila (mazāk N), tādējādi tas satur vairāk C.

Katsumi sniedz prezentāciju par fitoplanktona C:N:P Sidnejā, Austrālijā.

Katsumi uzstāda meteoroloģisko staciju uz ēkas jumta.

futurum
Inspiring the next generation

WWW.FUTURUMCAREERS.COM

TĀLRUŅA NR.: +44 117 909 9150

E-PASTS: INFO@FUTURUMCAREERS.COM

Tulkojumu nodrošina Scientix, ar finansējumu no Eiropas Savienības pētniecības un inovācijas programmas "Apvārsnis 2020" – projekta Scientix 4 (granta līgums N. 101000063), to koordinēja European Schoolnet (EUN). Par šo dokumentu atbild tā organizētājs, un tas neatspoguļo Eiropas Komisijas (EK) viedokli, un EK neuzņemas atbildību par šeit iekļautās informācijas izmantošanu.

SCIENTIX
The community for science education in Europe

UNIVERSITY OF MINNESOTA

NSF