

Sophia

โลกบันทึกเรื่องราวของมันเป็นมอในแผ่นดิน
ในฟอสซิลมีชีวิต ในชั้นหินมีตำนาน
ในผืนน้ำและอากาศมีร่องรอยแห่งวิวัฒนาการ
ของบ้านหลังเดียวของเรา
บ้านที่เราอาจจะรู้จักมันน้อยที่สุด

A BRIEF HISTORY OF EARTH

ประวัติย่อ ของ ดาวโลก

สี่พันล้านปี
จบในแปดบท

ANDREW H. KNOLL

เขียน

นักธรณีวิทยา ศาสตราจารย์ด้านประวัติศาสตร์ธรรมชาติ
แห่งมหาวิทยาลัยฮาร์วาร์ด

เขมลักขณ์ ตีประวัติ แปล

พิมพ์ครั้งที่ 1

Sophia

ประวัติศาสตร์ของดาวโลก

A Brief History of Earth

แอนดรูว์ เอช. นอลส์

เขียน

เขมลักษณ์ ดีประวัติ

แปล

ก าร อ่ าน คื อ ร าก ฐาน ที่ สำ คั ญ



หนังสือคุณภาพ
โดยอมรินทร์กรุ๊ป

ประวัติย่อของดาวโลก

A Brief History of Earth

Sophia

ในเครือบริษัทอมรินทร์พริ้นติ้ง แอนด์ พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน)

378 ถนนชัยพฤกษ์ (บรมราชชนนี) เขตตลิ่งชัน กรุงเทพฯ 10170

โทรศัพท์ 0-2422-9999 ต่อ 4964, 4969 E-mail: info@amarin.co.th

www.amarinbooks.com    @amarinbooks  Sophia Publishing

Copyright © 2021 by Andrew H. Knoll

Published by arrangement with Custom House an imprint of HarperCollins Publishers

สื่อดิจิทัลนี้ให้บริการดาวน์โหลดสำหรับผู้รับบริการตามเงื่อนไขที่กำหนดเท่านั้น

การทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ ไม่มีวิธีใดๆนอกเหนือจากเงื่อนไขที่กำหนด

ถือเป็นความผิดอาญาตาม พรบ.ลิขสิทธิ์ และ พรบ.ว่าด้วยการกระทำความผิดเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์

เลขมาตรฐานสากลประจำหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ 978-616-18-5720-2

เจ้าของ ผู้พิมพ์ผู้โฆษณา บริษัทอมรินทร์พริ้นติ้ง แอนด์ พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน)

กรรมการผู้อำนวยใหญ่ ระริน อุทกะพันธุ์ ปัญจรุ่งโรจน์ • กรรมการผู้จัดการ อุษณีย์ วรรตกพันธ์

ที่ปรึกษาฝ่ายงานสำนักพิมพ์ในเครือ งามอาจ จิระวร • บรรณาธิการอำนวยการ สิริกานต์ ผลงาม

บรรณาธิการบริหาร วริษฐา กาละเกษตร์ • บรรณาธิการต้นฉบับ มันทา คลังบุญครอง • บรรณาธิการ ชมพูนุท ตีประวัตติ

ผู้จัดการฝ่ายการผลิต อมวาลักษณ์ เขยกลิน • ศิลปกรรม เกติพิบูล โหมดดาด • คอมพิวเตอร์ จีรณัฏย์ คำจันทร์

พิสูจน์อักษร ณัฐภรณ์ รัตนสถิตกุล • ฝ่ายการตลาด กุลพัฒน์ บัวระยอ

คำนำสำนักพิมพ์

ไม่มีสิ่งใดจะเล่น “เกมยาว” เก่งเท่าแผ่นดิน

ถ้าปกติคุณเป็นคนใจร้อน เรื่องราวประวัติศาสตร์ดาวโลกในหนังสือเล่มนี้จะทำให้คุณใจเย็น มันอาจจะไม่เย็นเฉียบฉับพลันทันที เพราะบทแรกๆ คุณต้องเจอแมกมาในแกนโลกอุณหภูมิห้าพันองศาเซลเซียส ไม่เย็นอย่างยิ่งเลย แต่เมื่อคุณค่อยๆ เดินทางไปกับมัน แทรกซึมผ่านชั้นหินหนากว่าหกพันกิโลเมตร ผ่านช่วงเวลายาวนานชั่วกัปกัลป์ ดุมันขับเคลื่อนแผ่นดิน ขยายมหาสมุทร ผุดเทือกเขาสูง แล้วก็รับชมภูเขาไฟกร่อน เล่นแร่แปรธาตุ สลายตัวลงสู่ท้องสมุทร มุดตัวลงใต้เปลือกโลก หลอมละลายกลับสู่ใจกลางอีกครั้ง แล้วมหาทวีปก็แยกจากกัน ก่อนจะกลับมาชนกันใหม่ มหาสมุทรเหือดหาย แล้วเอ่อเต็มอีกครั้ง น้ำแข็งจากไป แล้วน้ำแข็งก็กลับมา ครั้งแล้วครั้งเล่า ยาวนานก่อนสายพันธุ์ของเราจะมาอยู่ตรงนี้

...อย่ากระนั้นเลย หนังสือเล่มนี้เล่าก่อนที่ “ชีวิต” ในนิยามที่เบสิกที่สุดจะอุบัติขึ้นด้วยซ้ำ

...อย่ากระนั้นเลย เขาอธิบายตั้งแต่ “สสารอินทรีย์” ก่อตัวขึ้นครั้งแรกอย่างไรในโลกที่เคยไร้ชีวิต และถอยไปไกลยิ่งกว่านั้น

นี่คือหนังสือที่จะพาคุณดำดิ่งสู่แกนโลก แล้วทะยานขึ้นไปในอวกาศ เพื่อให้คุณมองดาวเคราะห์ดวงนี้อีกครั้ง และซึ่งแก้ไขว่ามันเป็นเพียงหินก้อนเล็กๆ ก้อนหนึ่ง สรรพสิ่งเล็กๆ เคลื่อนที่ไปมาอยู่บนพื้นผิวที่ขยับอยู่เสมอก็เพราะมีความร้อนเป็นพลวัตในใจกลาง มันคือดาวเคราะห์หนึ่งดวงในอีกนับดวงไม่ถ้วนของเอกภพ จะว่าไม่สำคัญเลยก็ย่อมได้ หรือสำคัญอย่างยิ่งยวดก็ไม่ผิด เพราะมันคือบ้านหลังเดียวของเรา บ้านที่เราอาจจะรู้จักมันน้อยที่สุด

หลังจากพาคุณออกไปมองบ้านหลังนี้จากที่ไกลๆ แล้ว ศาสตราจารย์แอนดรูว์ นอลล์ ผู้เขียนซึ่งเป็นนักชีววิทยาและนักโลกศาสตร์แห่งมหาวิทยาลัยฮาร์วาร์ด ก็จะพาคุณย้อนเวลา ท่องพื้นพิภพตั้งแต่อดีตสี่พันล้านปีก่อน ไกลขึ้นมาจนถึงปัจจุบัน (ย้ำเป็นระยะว่าห้ามลืมถึงออกซิเจน) อ่านสมุดบันทึกจากชั้นหินหนาแน่นหนักที่ธรรมชาติเก็บรักษาไว้ให้ ผ่านทุกบรมยุค มหายุค และยุคสมัยมากมาย ทั้งหมดเกิดขึ้นภายในแปดบท แน่หนอนมันก็ต้องมีไดโนเสาร์อยู่แล้ว แต่พออ่านจบคุณน่าจะพอใจให้ไซยาโนแบคทีเรียมากกว่า โลกมีออกซิเจนได้ก็เพราะพวกมัน

ประวัติศาสตร์แห่งดาวโลกคือเรื่องราวของปฏิสัมพันธ์ระหว่างสรรพสิ่ง ทั้งที่มีมวลและไม่มี ทั้งที่ร้อนและเย็น ทั้งที่หายใจและ

สิ่งเคราะห์แสง ทั้งที่บินได้และเลื้อยคลาน ทั้งที่สูญพันธุ์และยังอยู่ ทว่า
เหนืออื่นใด มันคือวิวัฒนาการของโลก มันคือการขับเคลื่อนของพลกำลัง
มหาศาล หากแต่ไร้ซึ่งเจตนาโดยสิ้นเชิง และนั่นอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้
วัฏจักรแห่งธรรมชาตินั้นทรงพลังอย่างแท้จริง

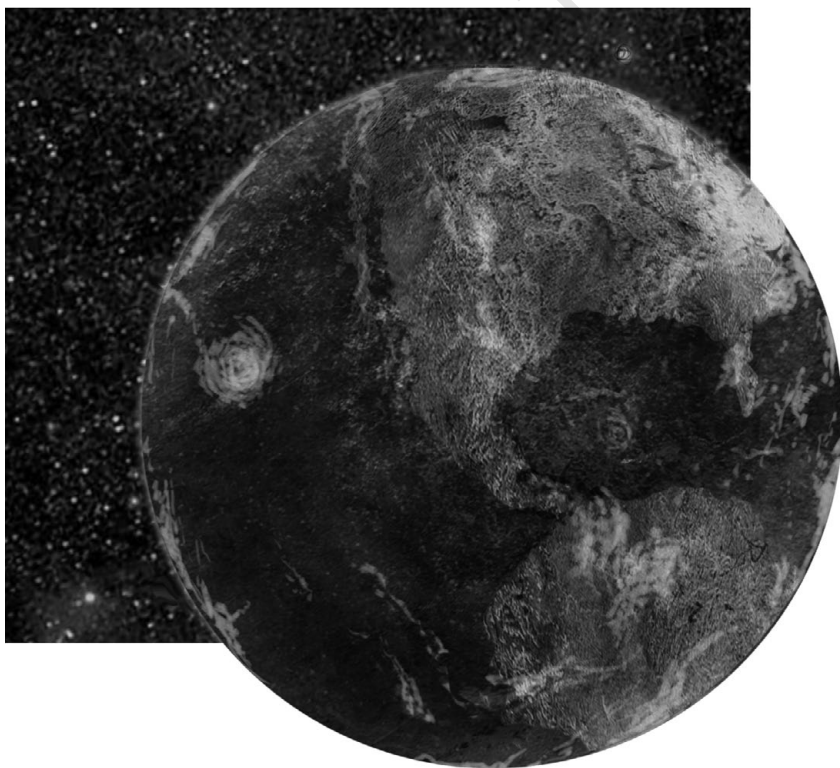
แถมข้อดีให้อีกนิด ถ้าคุณเคยทรมานใจกับการรอคอยอะไรสักอย่าง
ไม่ว่าจะเก้าเดือน สิบห้าปี หรือตลอดชั่วชีวิต ปัญหานี้จะหมดไปเพียงคุณ
วัดมันด้วยมาตรของธรณีกาล ชั่ววินาทีก็แค่พริบตาเดียว

Sophia

สารบัญ

บทนำ :	คำเชิญ	1
บทที่ 1	โลกเคมี	11
บทที่ 2	โลกกายภาพ	39
บทที่ 3	โลกชีวภาพ	63
บทที่ 4	โลกออกซิเจน	93
บทที่ 5	โลกของสัตว์	115
บทที่ 6	โลกสีเขียว	139
บทที่ 7	โลกแห่งภัยพิบัติ	167
บทที่ 8	โลกของมนุษย์	193

บทนำ : คำเชิญ



คุณใช้ชีวิต ด้วยการถูกแรงโน้มถ่วงของโลกยึดไว้ ทุกย่างก้าวนำพาให้คุณสัมผัสกับหินและดิน แม้มันจะซ่อนอยู่ใต้พื้นยางมะตอยหรือพื้นไม้กระดานก็ตาม คุณอาจคิดว่าคุณหลบหนีเงื้อมมือของแรงโน้มถ่วงได้ขณะเครื่องบินพาคุณลอยสูงขึ้น แต่คุณปลื้มปริ่มได้แค่ชั่วคราวเท่านั้นแหละครับ เพราะภายในเวลาไม่กี่ชั่วโมง แรงโน้มถ่วงก็จะเป็นผู้ชนะ แล้วคุณก็จะถูกวางลงบนพื้นพสุธาเหมือนเดิม

การที่เราถูกผูกติดอยู่กับโลกเป็นมากกว่าแค่เรื่องแรงโน้มถ่วงครับ อาหารที่เรากินก็ผลิตสร้างขึ้นจากคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศหรือมหาสมุทร รวมถึงน้ำและสารอาหารที่เราได้รับจากดินหรือทะเล ทุกลมหายใจของคุณนำพาอากาศที่เต็มไปด้วยออกซิเจนเข้าสู่ปอด เอื้อให้คุณสามารถดึงพลังงานออกมาจากดินเนอร์ของคุณได้ ในเวลาเดียวกัน คาร์บอนไดออกไซด์ก็ป้องกันไม่ให้คุณหนาวจนแข็งตาย นอกจากนี้ เหล็กที่อยู่ในประตูตู้เย็น อะลูมิเนียมในกระป๋องอาหาร “ติบุก” แร่เงินที่อยู่ในเหรียญเงิน และโลหะหายากที่อยู่ในสมาร์ทโฟนของคุณ ล้วนมาจากผืนโลกทั้งสิ้น เมื่อพิจารณาทั้งหมดนี้แล้ว มันน่าแปลกอยู่เหมือนกัน

นะครับที่พวกเราส่วนใหญ่กลับไม่ค่อยสงสัยใคร่รู้เกี่ยวกับดินแดนอันยิ่งใหญ่แห่งนี้ที่หล่อเลี้ยงเรา และบางครั้งก็ทำอันตรายแก่เราเวลาเกิดแผ่นดินไหวหรือพายุลูกโต

เราจะเข้าใจที่ทางของโลกเราในเอกภพได้อย่างไร หิน อากาศ และน้ำ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการดำรงอยู่ของเรามีที่มาอย่างไร เราจะอธิบายอย่างไรถึงสรรพทวีป ภูเขาและหุบเขาทั้งหลาย แผ่นดินไหวหรือภูเขาไฟ อะไรคือสิ่งที่ควบคุมองค์ประกอบของชั้นบรรยากาศและน้ำทะเล ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตรอบตัวเราเกิดขึ้นได้อย่างไร และคำถามหนึ่งที่น่าจะสำคัญที่สุดก็คือ การกระทำของเรากำลังเปลี่ยนแปลงโลกทั้งใบและชีวิตบนโลกอย่างไร ในแง่หนึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นคำถามเกี่ยวกับกระบวนการก่อกำเนิดโลก แต่ในขณะเดียวกันมันก็เป็นคำถามเชิงประวัติศาสตร์ด้วย และนั่นก็คือขอบเขตเนื้อหาของหนังสือเล่มนี้ครับ

นี่คือเรื่องราวของโลก อันเป็นบ้านของเรา รวมถึงสิ่งมีชีวิตที่แพร่ขยายไปทั่วพื้นผิวของดาวเคราะห์ดวงนี้ ทุกอย่างเกี่ยวกับโลกมีการเคลื่อนไหวและเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ แม้เราชอบเข้าใจกันผิดๆ ว่ามันคงอยู่ถาวร ตัวอย่างเช่น บอสตันอยู่ในพิกัดที่มีภูมิอากาศแบบอบอุ่นในฤดูร้อนอากาศอุ่นสบาย ฤดูหนาวอากาศเย็น มีฝนตกปานกลางกระจายอยู่เกือบตลอดทั้งปี ฤดูกาลต่างๆ ค่อนข้างคาดเดาได้ และถ้าคุณเหมือนผมที่มีชีวิตอยู่มาแล้วหลายสิบปี คุณจะรู้สีกว่ามันก็เป็นภาพเดิมๆ ที่เคยเห็นแล้ว แต่นักอุตุนิยมวิทยาบอกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีของบอสตันสูงขึ้นกว่าหนึ่งองศาฟาเรนไฮต์ (0.6 องศาเซลเซียส) ในช่วงหนึ่งชั่วอายุของพลเมืองรุ่นก่อน เรายังรู้ด้วยว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ควบคุมอุณหภูมิพื้นผิวโลก เพิ่มขึ้นถึงหนึ่งในสามมาตั้งแต่ทศวรรษ 1950 ในทำนองเดียวกันการวัดมากมาย

ก็แสดงให้เห็นว่าระดับทะเลของโลกสูงขึ้น และปริมาณออกซิเจนในน้ำทะเลลดลงประมาณสามเปอร์เซ็นต์ ตั้งแต่สมัยที่วงเดอะบีเทิลส์เริ่มโด่งดังเป็นพลุแตก

การเปลี่ยนแปลงเล็กๆ น้อยๆ พอกพูนขึ้นตามกาลเวลา ระยะทางของเที่ยวบินจากบอสตันถึงลอนดอนยาวไกลขึ้นประมาณหนึ่งนิ้ว (2.5 เซนติเมตร) ทุกปีนะครับ นั่นเพราะพื้นสมุทรใหม่ๆ ผลักให้ทวีปอเมริกาเหนือกับยุโรปแยกจากกันอย่างช้าๆ ถ้ากรอเทปกลับไปดู เราจะเห็นว่าเมื่อสองร้อยล้านปีก่อน นิวอิงแลนด์กับไอซ์แลนด์เคยเป็นส่วนหนึ่งของทวีปเดียวกัน โดยมีหุบเขาทรุดที่เราเห็นในแอฟริกาตะวันออกเริ่มกลายร่างเป็นแอ่งมหาสมุทร ถ้ามองภาพรวมในช่วงเวลาที่ยาวนานที่สุด เราจะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงของโลกนั้นเกิดขึ้นอย่างลึกลับและใหญ่หลวงยิ่ง เอาเป็นว่าถ้าคุณสามารถเดินท่องโลกเราในยุคแรก คุณจะขาดอากาศตายทันทีแน่นอน เพราะอากาศของโลกในตอนนั้นปราศจากออกซิเจน

เรื่องราวของโลกใบนี้และสิ่งมีชีวิตที่มันหล่อเลี้ยงดูแลนับเป็นเรื่องที่น่าตื่นตาตื่นใจกว่าหนึ่งทำเงินจากฮอลลีวูดเรื่องไหนๆ แกมโครงเรื่องยังเต็มไปด้วยการหักมุมไม่แพ้นิยายระทึกขวัญระดับเบสต์เซลเลอร์เลยนะครับ มากกว่าสี่พันล้านปีที่แล้ว ดาวเคราะห์ดวงน้อยดวงหนึ่งก่อตัวขึ้นจากเศษหินที่หมุนวนอยู่รอบดาวฤกษ์อายุเยาว์วัย ในช่วงปีแรกๆ โลกอยู่ในสภาวะเสี่ยงอันตรายอย่างมาก ดาวหางและดาวเคราะห์น้อยมากมายถาโถมเข้าสู่มัน พื้นผิวถูกปกคลุมด้วยทะเลหินหนืดขุ่นข้น ก๊าซพิษอัดแน่นอยู่ในบรรยากาศ แต่เมื่อเวลาผ่านไป ดาวเคราะห์ดวงนี้เริ่มเย็นตัวลง ทวีปต่างๆ ก่อตัวและต่อมาก็แยกตัวออกจากกัน จากนั้นก็กลับมาชนกันอีก ก่อให้เกิดเทือกเขาดงามโดดเด่นมากมาย ซึ่งส่วนใหญ่สูญสลายไปแล้วตามกาลเวลา ภูเขาไฟหลายลูกในยุคนั้นมี

ขนาดใหญ่เป็นล้านเท่าของทุกสิ่งที่มีมนุษย์เราเคยเห็น เกิดวงจรรุนาแห่ง
ทั่วโลก เกิดโลกยุคต่าง ๆ ในโบราณกาลที่เราไม่เคยรู้จักและเพิ่งจะเริ่ม
ปะติดปะต่อเรื่องราวของมัน ในระยะที่โลกกำลังเปลี่ยนแปลงอย่าง
ต่อเนื่องอยู่นี้เอง สิ่งมีชีวิตก็เริ่มถือกำเนิด และเปลี่ยนสภาพพื้นผิวโลก
ไปในที่สุด เปิดทางให้กับไทรโลไบต์¹ ไดโนเสาร์ และสิ่งมีชีวิตสปีชีส์
ที่สามารถพูด นึกคิด สร้างเครื่องมือ ที่สุดท้ายก็เปลี่ยนแปลงโลกนี้
อีกครั้ง

การทำความเข้าใจประวัติศาสตร์โลกช่วยให้เราเข้าใจว่าภูเขา
มหาสมุทร ต้นไม้ และสรรพสัตว์รอบตัวเรากำเนิดขึ้นมาได้อย่างไร
รวมทั้งทองคำ เพชร ถ่านหิน น้ำมัน และอากาศที่เราหายใจ การเข้าใจ
ที่มาที่ไปของโลกจะช่วยให้เราเข้าใจว่ากิจกรรมของมนุษย์เปลี่ยนแปลงโลก
ในศตวรรษที่ยี่สิบเอ็ดอย่างไรบ้าง ในประวัติศาสตร์โลกส่วนใหญ่ บ้าน
ของเรามีสภาพที่มนุษย์อยู่อาศัยไม่ได้แน่ครับ และอันที่จริง สิ่งสำคัญ
อันเป็นหัวใจของบทเรียนธรณีวิทยาที่เราเรียนกันตลอดมา คือการ
ระลึกว่าช่วงเวลาในปัจจุบันของเรานั้นล้ำค่า เปราะบาง และมีอายุ
แสนสั้นเพียงใด

ทุกวันนี้ พาดหัวข่าวหนังสือพิมพ์เริ่มดูเหมือนข้อความจากหนังสือ
วิรณ²อย่างไรชอบกล เช่น เกิดไฟป่ารุนแรงอย่างที่ไม่เคยปรากฏมาก่อน
ในแคลิฟอร์เนีย ผืนป่าแอมะซอนกำลังลุกไหม้รวดเร็ว อุณหภูมิสูง

¹ไทรโลไบต์ (Trilobite) สัตว์ดึกดำบรรพ์ในทะเลที่มีลักษณะคล้ายแมงดาทะเล มีรยางค์
เป็นข้อปล้อง สูญพันธุ์เมื่อ 250 ล้านปีที่แล้ว

²หนังสือเล่มสุดท้ายในพระคัมภีร์ไบเบิลที่เป็นคำพยากรณ์ถึงวาระสุดท้ายของโลก

ปรอทแตกทำสถิติใหม่ในอะแลสกา ธารน้ำแข็งละลายเร็วขึ้นเรื่อย ๆ ในกรีนแลนด์ พายุเฮอริเคนขนาดยักษ์ทำลายพื้นที่แถบแคริบเบียนและชายฝั่งจordan คาบ อุทกภัยร้ายปี³ เข้าท่วมแถบตะวันตกกลางของอเมริกา บ่อยขึ้นเรื่อย ๆ เจนไน เมืองใหญ่เป็นอันดับหกของอินเดียกำลังขาดแคลน น้ำ ส่วนเคปทาวน์และเซาเปาโลก็อยู่ในสภาพใกล้เคียงกัน ชาวคราว ความเป็นไปจากแควดวงชีวิตวิทยาก็ไม่ได้ดีไปกว่ากันเลย ประชากรนก ในทวีปอเมริกาเหนือลดลง 30 เปอร์เซ็นต์ ประชากรแมลงลดลงครึ่งหนึ่ง การตายของปะการังครั้งใหญ่ในเกรตแบริเออร์รีฟ การลดจำนวนอย่างรวดเร็วของช้างและแรด การประมงเชิงพาณิชย์ที่กำลังประสบความยากลำบากทั่วโลก การลดจำนวนยังไม่ใช้การสูญพันธุ์ก็จริง แต่มันคือเส้นทางที่น่าพาให้สายพันธุ์สิ่งมีชีวิตทั้งหลายมุ่งตรงสู่จุดจบทางชีวภาพ ในที่สุด

โลกของเราผิดเพี้ยนบิดเบี้ยวไปแล้วใช่ไหม ตอบสั้น ๆ ว่า “ใช่ครับ” และเรารู้ด้วยว่าทำไม ตัวต้นเหตุในที่นี้ก็คือพวกเราเอง มนุษย์คือผู้พ่นก๊าซเรือนกระจกเข้าสู่บรรยากาศ ซึ่งไม่เพียงแต่ทำให้โลกร้อนขึ้น แต่ยังเพิ่มความรุนแรงและความถี่ของคลื่นความร้อน ภัยแล้ง และพายุ อีกสารพัด มนุษย์นี่เองที่ทำให้สิ่งมีชีวิตมากมายเกือบสูญพันธุ์ ด้วยการไ้ประโยชน์จากที่ดิน การใช้ทรัพยากรเกินศักยภาพ และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกที่รุนแรงขึ้นเรื่อย ๆ และที่น่าหดหู่ใจที่สุดก็คือมนุษย์พร้อมใจกันเมินเฉยวิกฤติเหล่านี้อย่างถาวรหนา โดยเฉพาะในสหรัฐอเมริกา ประเทศบ้านเกิดของผมเอง

ทำไมผู้คนจึงใส่ใจเรื่องนี้กันน้อยนัก ทั้งที่กำลังเผชิญกับความเปลี่ยนแปลงยิ่งใหญ่ในระดับดาวเคราะห์ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อชีวิต

³ Hundred-Year Flood เหตุการณ์ฝนตกที่อาจก่อให้เกิดน้ำท่วมใหญ่ในรอบศตวรรษ

ลูกหลานของเราทั้งปวง ในปี 1968 บาบ่า ดิอุม เจ้าหน้าที่ป่าไม้ชาวเซเนกัลให้คำตอบที่ชวนให้จดจำ เขาบอกว่า “สุดท้ายแล้วเราจะพิทักษ์ปกป้องเฉพาะสิ่งที่เรารัก เราจะรักเฉพาะสิ่งที่เราเข้าใจ และเราจะเข้าใจเฉพาะสิ่งที่เราถูกสอนมา”

เช่นนั้นเอง หนังสือเล่มนี้จึงเป็นความพยายามที่จะเข้าใจ เป็นคำเชิญชวนให้หันมาเห็นคุณค่าของประวัติศาสตร์อันยาวนานที่นำพาดาวเคราะห์ของเรามาสู่ปัจจุบันนี้ เป็นการกระตุ้นและชักชวนให้มองเห็นว่ากิจกรรมของมนุษย์กำลังเปลี่ยนแปลงโลกอายุสี่พันล้านปีไปได้อย่างไร และเป็นการท้าทายให้เราลงมือทำอะไรสักอย่างเสียที่

1)

โลกเคมี

การสร้างดาวเคราะห์



ในปฐมภavnันมี...เอ่อ...จุดเล็ก ๆ แต่ม่น้อย ๆ พงฐลึที่ทั้งเล็ก
อย่างเหลือเชื่อแต่ขณะเดียวกันก็หนาแน่นเกินจินตนาการ มันไม่ใช่การ
รวมตัวอย่างหนาแน่นของสรวพลิ่ง ณ จุดใดจุดหนึ่งในความว่างเปล่า
อันไพศาลของเอกภพ แต่ม่น คือเอกภพเองเลย แล้วมันมาอยู่ตรงนั้น
ได้อย่างไร ไม่มีใครรู้

สิ่งที่เกิดก่อนหน้านั้น (ถ้ามี) ก็คงลึกลับพอ ๆ กัน แต่ประมาณ 13.8
พันล้านปีก่อน จุดเริ่มต้นเล็กจิ๋วของเอกภพได้ขยายตัวอย่างรวดเร็ว เป็น
“บิกแบง” หรือการระเบิดครั้งใหญ่ ปลดปล่อยคลื่นแห่งพลังงานและ
มวลสารออกมาสู่ภายนอก สสารที่ว่าไม่ใช่หินหรือแร่ธาตุที่เราพบในการ
ดำรงอยู่ของเรา ไม่ใช่แม้แต่อะตอมที่ประกอบขึ้นเป็นหิน อากาศ และน้ำ
สสารในช่วงแรกแย้มของเอกภพคือควาร์ก เลปตอน และกลูออน ซึ่งเป็น
กลุ่มอนุภาคพื้นฐานที่จะรวมตัวกันเป็นอะตอมในที่สุด

ความเข้าใจของเราเกี่ยวกับเอกภพและประวัติศาสตร์ของมัน
ส่วนใหญ่แล้วมาจากสิ่งชั่วคราวที่สุด นั่นก็คือแสงสว่าง จุดแสงระยิบ-
ระยับที่ทำให้ท้องฟ้ายามค่ำคืนเป็นรูปเป็นร่างขึ้นอาจดูไม่น่าจะเป็นข้อมูล

ทางประวัติศาสตร์ได้ แต่คุณสมบัติสองอย่างของแสงช่วยให้เราเข้าใจว่าเอกภพมีวิวัฒนาการมาอย่างไร อย่างแรกคือระดับความเข้มข้นของความยาวคลื่นแสงของรังสีที่แผ่มาถึงเราสามารถบอกถึงองค์ประกอบของแหล่งที่มาของมันได้ ดวงตาของเรามองเห็นความยาวคลื่นแสงได้เพียงช่วงแคบๆ เท่านั้น แต่ดวงตาและเทหวัตถุทั้งหลายปล่อยหรือดูดซับการแผ่รังสีได้ในสเปกตรัมที่กว้างขวางยิ่ง ตั้งแต่คลื่นวิทยุและคลื่นไมโครเวฟ ถึงรังสีเอกซเรย์และรังสีแกมมา ซึ่งรังสีแต่ละประเภทก็มีเรื่องราวของมันเอง และที่สำคัญ แสงสว่างเดินทางภายในชีวิตจำกัดความเร็วที่จำกัดไว้อย่างเข้มงวด นั่นคือ 299,792,458 เมตรต่อวินาที หรือ 186,276 ไมล์ต่อวินาทีในอวกาศ แสงอาทิตย์แผ่ออกมาแปดนาทียี่สิบวินาทีก่อนที่จะมาถึงเรา จะมองเห็นมัน ส่วนแสงดวงดาวและเทหวัตถุอื่นที่อยู่ไกลกว่านั้นก็แผ่ออกมานานก่อนหน้านั้นเสียอีกกว่าเราจะมองเห็น และยิ่งนานขึ้นไปอีกสำหรับวัตถุที่อยู่ไกลออกไป นั่นคือเหตุผลที่ฟากฟ้าดารดาชด้วยดวงดาวจึงกลายเป็นหนังสือเรียนประวัติศาสตร์แห่งนา

คลื่นไมโครเวฟที่กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั่วท้องฟ้าบอกเล่าเรื่องราวของบิกแบงและสิ่งที่เกิดตามมาในทันทีหลังการระเบิดนั้น การแผ่รังสีจากดวงดาวรุ่นแรกซึ่งก่อตัวขึ้นสองหรือสามแสนปีหลังจากกาลเวลาเริ่มต้นเพิ่งเดินทางมาถึงเราในปัจจุบัน แล้วดวงดาวรุ่นแรกๆ ก่อตัวขึ้นมาได้อย่างไร คำตอบคือด้วยฝีมือของความโน้มถ่วงซึ่งทำหน้าที่เป็นสถาปนิกของเอกภพ ความโน้มถ่วงคือการดึงดูดระหว่างวัตถุ ซึ่งระดับความแรงของการดึงดูดขึ้นกับมวลของวัตถุและระยะห่างระหว่างวัตถุ เมื่ออะตอมเริ่มก่อตัวขึ้นในเอกภพยุคเริ่มแรกที่กำลังขยายตัว แรงโน้มถ่วงก็เริ่มดึงดูดอะตอมเข้าหากัน การรวมตัวของอะตอมเป็นกระจุกๆ ที่เพิ่มมากขึ้นทำให้แรงดึงดูดมีพลังมากขึ้น และสุดท้ายมันก็สลายตัวมารวมกันเป็นก้อนร้อนๆ ที่หนาแน่น มันร้อนและหนาแน่นเสียจนนิวเคลียสของ

ไฮโดรเจนหลอมรวมกันเป็นฮีเลียมซึ่งปล่อยแสงสว่างและความร้อน เมื่อสิ่งนี้เกิดขึ้นดวงดาวก็เกิดขึ้น ดาวฤกษ์รุ่นปฐมกาลที่มีขนาดใหญ่ ร้อนระอุ และอายุสั้น คือผู้กำหนดทิศทางของสิ่งต่างๆ ที่จะถือกำเนิด ในเวลาต่อมา รวมถึงพวกเราด้วย

สิ่งที่บิกแบงสร้างขึ้นส่วนใหญ่ประกอบด้วยอะตอมของไฮโดรเจน ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่เรียบง่ายที่สุด รวมถึงดิวเทอเรียม (ไฮโดรเจนที่มี นิวตรอนเพิ่มเข้ามา) จำนวนหนึ่ง ฮีเลียม ลิเทียมปริมาณเล็กน้อยก็ก่อตัวขึ้น เช่นกัน รวมถึงธาตุน้ำหนักเบาอื่นๆ ในจำนวนที่ยังน้อยอยู่ และนอกจาก นั้นก็ไม่ค่อยมีอะไรแล้ว อันที่จริงยัง *มี* สิ่งอื่นด้วย แต่เราไม่แน่ใจว่ามัน คืออะไร ในช่วงทศวรรษ 1950 นักดาราศาสตร์เริ่มใช้การเคลื่อนไหวของ ดวงดาวและกาแล็กซี (กลุ่มดาว ก๊าซ และฝุ่นผงที่มารวมตัวกันด้วยฝีมือ ของความโน้มถ่วงเจ้าเก่า) เพื่อคำนวณปริมาณแรงดึงดูดในอวกาศห้วงลึก แต่เมื่อพวกเขานำมวลของวัตถุทั้งหมดที่เรารู้จักในท้องฟ้ามารวมกันก็พบว่า มันไม่เพียงพอที่จะอธิบายข้อสังเกตของตนได้ ช่างนอกนั้นจะต้องมีสิ่งอื่น อยู่อีกแน่ๆ สิ่งที่มีปฏิสัมพันธ์กับสสารปกติผ่านความโน้มถ่วง แต่ไม่มี ปฏิสัมพันธ์กับแสง นักดาราศาสตร์เรียกมันว่าสสารมืด นักดาราศาสตร์ เข้าใจบางๆ ว่าสสารมืดน่าจะเป็นอะไร แต่ไม่มีใครแน่ใจแบบฟันธงได้เลย สิ่งที่ลึกลับยิ่งกว่าคือพลังงานมืด ที่เชื่อว่าจำเป็นสำหรับการอธิบายระบบ การทำงานของเอกภพ เมื่อรวมกันแล้วสสารมืดและพลังงานมืดน่าจะคิด เป็น 95 เปอร์เซ็นต์ของทุกสิ่งที่ดำรงอยู่ เป็นองค์ประกอบลึกลับซับซ้อน ที่เราไม่สามารถตรวจพบ แต่น่าจะมีบทบาทสำคัญในการก่อร่างสร้างตัว ของเอกภพ เรายังมีสิ่งที่ต้องเรียนรู้อีกมากมายเลยครับ

ผมขอย้อนกลับไปเรื่องสสารทั่วไปที่เรารู้จักกันก่อนนะครับ เมื่อถึง ยุคสมัยที่เริ่มมีแสงสว่างจากดวงดาว เอกภพนั้นเป็นเหมือนค็อกเทลเย็นๆ

ที่ (ส่วนใหญ่) ประกอบด้วยอะตอมของไฮโดรเจน ดาวฤกษ์รุ่นแรกๆ ผลิตก๊าซฮีเลียมมากขึ้น แต่ก็ยังไม่มีอะไรที่สามารถนำมาสร้างเป็นโลกได้ (ดูตาราง) ถ้าอย่างนั้นเหล็ก ซิลิคอน และออกซิเจน ที่จำเป็นต่อการสร้างดาวเคราะห์ของเรามาจากไหนล่ะ ไนโตรคาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และธาตุอื่นที่จำเป็นต่อการสร้างร่างกายของเราอีกล่ะ มันมาจากไหน ธาตุเหล่านี้และธาตุอื่นทั้งหมดล้วนกำเนิดขึ้นจากดาวฤกษ์รุ่นต่อๆ มาครับ มันเป็นโรงงานผลิตอะตอมที่วันหนึ่งจะก่อตัวเป็นดาวเคราะห์ของเรา ณ อุณหภูมิและแรงกดดันระดับสูงในดาวฤกษ์ขนาดใหญ่ ธาตุเบาจะหลอมรวมตัวกันเป็นคาร์บอน ออกซิเจน ซิลิคอน ส่วนแคลเซียม เหล็ก ทองคำ ยูเรเนียม และธาตุหนักอื่นๆ ถูกหลอมในการระเบิดครั้งใหญ่ของหมู่ดาวที่เรียกว่าซูเปอร์โนวา ใบหน้าที่คุณมองเห็นในกระจกงาอาจมีอายุไม่กี่สิบปี แต่มันประกอบขึ้นด้วยธาตุที่เกิดขึ้นเมื่อพันล้านปีก่อน ในดวงดาวโบราณนะครับ

ด้วยความยาวนานอย่างยิ่งยวดของกาลเวลา ดวงดาวมากมายเกิดขึ้นและดับไป แต่ละวงจรเติมปริมาณธาตุในคลังเอกภพที่รวมตัวกันเป็นโลกและสิ่งมีชีวิตในปัจจุบัน บรรดาแก๊สที่หลอมรวมกันและหลุมดำถือกำเนิด (บริเวณที่มีความหนาแน่นสูงมากจนแสงสว่างไม่อาจเล็ดลอดออกมาได้) ส่งผลอย่างช้าๆ ต่อการก่อตัวของเอกภพที่เราเห็นอยู่ทุกวันนี้

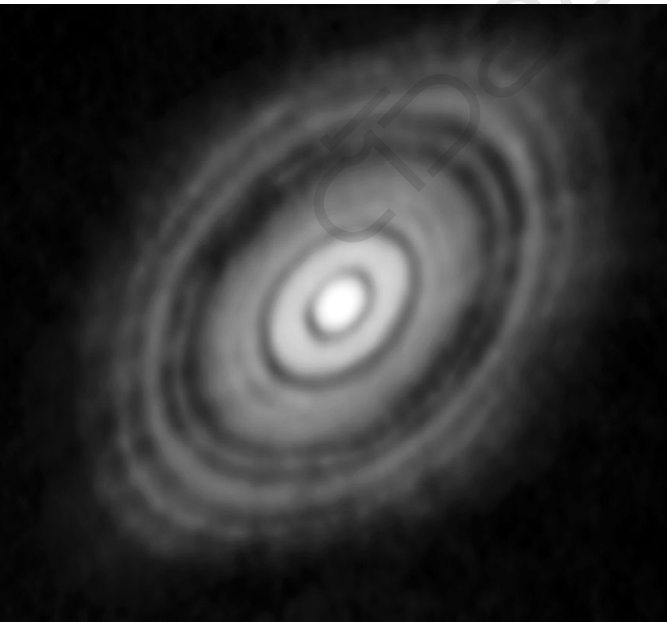
เราจะกระโดดมาที่ช่วงเวลา 4.6 พันล้านปีก่อนนะครับ โดยฟังความสนใจมาที่เมฆหมอกอะตอมไฮโดรเจนธรรมดาๆ กลุ่มหนึ่ง ที่มีก๊าซ น้ำแข็ง และเม็ดแร่ธาตุจำนวนหนึ่ง ภายในแกนกังหันของกาแล็กซีธรรมดาๆ ที่เรียกว่าทางช้างเผือก ในตอนแรกเมฆหมอกกลุ่มนี้มีขนาดใหญ่ กระจัดกระจาย และเยือกเย็น (เย็นมากจริงๆ ครับ อุณหภูมิอยู่ที่ 10 - 20 องศาเคลวิน หรือ -460 ถึง -420 องศาฟาเรนไฮต์) มันอาจถูกดัน

องค์ประกอบแร่ธาตุของโลกและสิ่งมีชีวิต

(เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก)

โลก	
เหล็ก	33
ออกซิเจน	31
ซิลิคอน	19
แมกนีเซียม	13
นิกเกิล	1.9
แคลเซียม	0.9
อะลูมิเนียม	0.9
อื่น ๆ	0.3
เซลล์ในร่างกายมนุษย์	
ออกซิเจน	65
คาร์บอน	18
ไฮโดรเจน	10
ไนโตรเจน	3
แคลเซียม	1.5
ฟอสฟอรัส	1
อื่น ๆ	1.5

จากซูเปอร์โนวาที่อยู่ข้างๆ เมฆหมอกกลุ่มนี้จึงเริ่มสลายกลายเป็นเนบิวลา ขนาดเล็กกว่าเดิมมาก หนาแน่นขึ้น และร้อนขึ้นด้วย เหตุการณ์เช่นเดียวกันนี้เกิดนับพันล้านครั้งในส่วนอื่นๆ ของเอกภพ ความโน้มถ่วงทำสิ่งที่มันทำมาแล้วหลายพันล้านครั้งในบริเวณอื่นๆ คือดึงหมู่เมฆส่วนใหญ่เข้าสู่มวลศูนย์กลางที่ร้อนจัดและหนาแน่น ซึ่งก็คือดวงอาทิตย์ของเรา ไฮโดรเจนในเนบิวลาส่วนใหญ่เข้าไปอยู่ในดวงอาทิตย์ ส่วนน้ำแข็งและเม็ดแร่ธาตุรวมตัวกันเป็นแผ่นกลมที่หมุนอยู่รอบดวงดาวเกิดใหม่ คล้ายวงแหวนที่ประกอบขึ้นจากอนุภาคเล็กๆ ที่ล้อมดาวเสาร์อยู่ทุกวันนี้ (รูปที่ 1) ในตอนแรก แผ่นกลมนี้ร้อนจัดขนาดที่แร่ธาตุและน้ำแข็งที่ประกอบขึ้นเป็นตัวมันเองระเหยกกลายเป็นไอ แต่พอเวลาผ่านไปสองสามล้านปี



รูปที่ 1 – ภาพที่บันทึกนี้
ถ่ายโดยกล้อง Atacama
Large Millimeter Array
แสดงภาพของดาวเอชแอลวีว
(HL Tauri) ดาวฤกษ์อายุน้อย
ลักษณะคล้ายดวงอาทิตย์
และจานดาวเคราะห์ก่อนเกิด
(Protoplanetary Disk)
วงแหวนและช่องว่างที่
เห็นชัดเจนในภาพแสดงถึง
ดาวเคราะห์ที่กำลังก่อตัว
ขณะกวาดเอาฝุ่นละออง
และก๊าซออกไปจากวงโคจร
ระบบสุริยะของเราอาจมี
ลักษณะคล้ายกันนี้เมื่อ
4.54 พันล้านปีก่อน
ALMA (ESO/NAOJ/NRAO/
NASA/ESA)

มันก็เริ่มเย็นตัวลง ส่วนที่อยู่ด้านนอกเย็นเร็วกว่า ส่วนที่อยู่ใกล้ความร้อนของดวงอาทิตย์เย็นช้ากว่า

เรารู้จากประสบการณ์ในชีวิตประจำวันว่าสารต่างๆ ละลายหรือจับตัวเป็นผลึกที่อุณหภูมิแตกต่างกัน เช่น บนพื้นผิวโลก น้ำกลายเป็นน้ำแข็งที่ 0 องศาเซลเซียส (32 องศาฟาเรนไฮต์) แต่น้ำแข็งแห่งนี้จะแข็งตัวด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ในอุณหภูมิที่ต่ำกว่านั้นมาก (-78.5 องศาเซลเซียส) ในทำนองเดียวกัน แร่ธาตุที่พบในหินจับตัวเป็นผลึกจากสารตั้งต้นหลอมเหลวในอุณหภูมิที่มีตั้งแต่หลักร้อยไปจนถึงสูงกว่า 1,000 องศาเซลเซียส ด้วยเหตุนี้เอง เมื่อจานดาวเคราะห์ก่อตัวขึ้นจากก้อนฝุ่น สสารมากมายจึงตกผลึกเป็นของแข็งในเวลาและตำแหน่งที่แตกต่างกัน แล้วแต่ว่าห่างจากความร้อนของดวงอาทิตย์ขนาดไหน ออกไซด์ของแคลเซียม อะลูมิเนียม และไทเทเนียมก่อตัวขึ้นก่อน ตามด้วยโลหะเหล็ก นิกเกิล และโคบอลต์ หลังจากนั้น ในจุดที่ไกลห่างจากดวงอาทิตย์ออกไป เส้นเยือกแข็ง¹ ก็ถูกกำหนดขึ้น น้ำแข็งที่เกิดจากน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ มีเทน และแอมโมเนีย ซึ่งเป็นวัสดุสำหรับสร้างมหาสมุทร อากาศ และสิ่งมีชีวิต เศษแร่ธาตุและน้ำแข็งที่กระทบกันก่อให้เกิดเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ขึ้น และรวมตัวกันจนมีขนาดใหญ่มากกว่าเดิมภายในเวลาไม่กี่ล้านปี มีแค่โครงสร้างทรงกลมขนาดใหญ่เหลืออยู่เพียงน้อยนิดในทีี่ที่ครั้งหนึ่งจานดาวเคราะห์เคยหมุนอยู่ “หินก้อนที่สามจากดวงอาทิตย์” คือโลกของเรา นั่นเอง คือมวลหินที่โคจรรอบดวงอาทิตย์ ณ ระยะห่างประมาณ 93 ล้านไมล์ (150 ล้านกิโลเมตร)

¹ เป็นระยะหนึ่งซึ่งสารที่มีไฮโดรเจนเป็นส่วนประกอบ เช่น น้ำ มีเทน แอมโมเนีย จะมีสภาพเยือกแข็ง

โลกก่อตัวเป็นรูปทรง อย่างที่เรารู้จักทุกวันนี้ได้อย่างไรกันแน่ และเรารู้อะไรบ้างเกี่ยวกับช่วงเวลาที่มันเป็นทารกแรกเกิด ถ้าแสงสว่างเป็นพวงดาวมาให้กับประวัติศาสตร์ของเอกภพ ก้อนหินก็คือพวงดาวที่บอกเล่าเรื่องราวดาวเคราะห์ของเรา เมื่อคุณเหม่อมองไปที่แกรนด์แคนยอนหรือรู้สึกทึ่งกับยอดเขาสูงที่ล้อมรอบทะเลสาบหลุยส์ คุณกำลังมองดูห้องสมุดของธรรมชาติอยู่นะครับ มีหนังสือประวัติศาสตร์โลกตั้งเรียงอยู่มากมายหลายเล่ม จารึกอยู่ในหิน ในตะกอน ไม่ว่าจะเป็นก้อนกรวด หินทราย หรือโคลน ล้วนก่อตัวขึ้นจากการสีกกร่อนของหินยุคแรกเริ่ม หินปูนที่ตกตะกอนจากแหล่งน้ำซึ่งกระจายตัวอยู่ทั่วทั้งน้ำท่วมถึงและพื้นมหาสมุทร ช่วยบันทึกลักษณะทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของพื้นผิวดาวเคราะห์ของเราในเวลาและสถานที่ที่มันก่อเกิด หินชนิดซึ่งก่อตัวจากวัสดุหลอมละลายลึกลงไปได้ผิวโลก แสดงถึงการเคลื่อนไหวภายในของโลกของเรา เช่นเดียวกับหินแปรที่หลอมขึ้นจากสารตั้งต้นที่เป็นตะกอนหรือมีความหนืดในอุณหภูมิสูงและมีแรงดันที่อยู่ลึกลงไปในโลก กล่าวโดยรวม หินเหล่านี้เป็นเรื่องราวอันยิ่งใหญ่เกี่ยวกับพัฒนาการของโลก ตั้งแต่วัยเยาว์จนถึงวัยเติบโตสมบูรณ์ เรื่องราววิวัฒนาการของชีวิตตั้งแต่แบคทีเรียจนถึงตัวคุณ และเรื่องราวที่น่าจะยิ่งใหญ่ที่สุด ซึ่งก็คือเรื่องราวอิทธิพลที่โลกกายภาพกับโลกชีวภาพมีต่อกันและกันตลอดช่วงเวลาที่ผ่านมา ถึงผมจะเป็นนักธรณีวิทยามา 40 ปีแล้ว ก็ยังรู้สึกอัศจรรย์ใจอยู่ดีที่หน้าผาริมชายฝั่งดอร์เซตทางตอนใต้ของประเทศอังกฤษ ช่วยให้ผมจินตนาการภาพของโลกเมื่อสมัย 180 ล้านปีก่อนได้ และที่น่าสนใจยิ่งกว่านั้นก็คือบรรดาหินที่บอกเล่าเรื่องราวหลายพันล้านปีก่อนซึ่งเราจะได้เรียนรู้ในลำดับต่อไป

ถ้าลองสังเกตยอดตระหง่านของเทือกเขาร็อกกีหรือเทือกเขาแอลป์ ก็อาจมีอีกแง่มุมหนึ่งของประวัติศาสตร์โลกปรากฏแวบขึ้นในความคิด

อย่างชัดเจน รูปทรงคล้ายฟันของมันไม่ได้แสดงถึงการทับถมของตะกอน แต่ตรงกันข้าม มันถูกสลักเสลาด้วยการกัดเซาะ ซึ่งเป็นกระบวนการทางชีวภาพและเคมีที่ทำให้หินสีกร่อนและลบบเลือนเรื่องราวของมันไป โลกเขียนเรื่องราวของตัวเองด้วยมือข้างหนึ่งและลบทิ้งด้วยมืออีกข้างหนึ่ง และยิ่งเรามองย้อนอดีตไกลออกไปเรื่อย ๆ ก็ยิ่งเห็นว่ายางลบของโลกนั้นเหนือชั้นจริง ๆ ดาวเคราะห์ของเราก่อตัวขึ้นประมาณ 4.54 พันล้านปีก่อน แต่หินเก่าแก่ที่สุดในโลกมีอายุเพียงสี่พันล้านปีเท่านั้น ฉะนั้นมันต้องเคยมีหินที่เก่ากว่านั้นแน่ แต่ถูกกัดเซาะหายไปหรือไม่ก็ถูกฝังและเปลี่ยนแปลงด้วยกระบวนการแปรสภาพจนอยู่ในรูปแบบที่ต่างจากเดิมอย่างสิ้นเชิง อาจมีเหลืออยู่บ้างเล็กน้อยในพื้นที่ห่างไกลของไหลเขาแคนาดาหรือไซบีเรีย รอคอยให้มีใครบางคนมาพบเข้า แต่ส่วนใหญ่แล้ว หกร้อยล้านปีแรกของประวัติศาสตร์โลกถือเป็นยุคมืดของดาวเคราะห์ดวงนี้

แล้วเราจะสร้างแบบจำลองโลกสมัยแรกเกิดได้อย่างไรถ้าไม่มีบันทึกทางประวัติศาสตร์ ชาวดีคือเรามีสำเนาสำรองที่อาจเรียกได้ว่าถูกเก็บไว้ในนอกโลก มันคืออุกกาบาตนั่นเอง เหล่าผู้เหลือรอดจากระบบสุริยะยุคแรกเริ่ม ซึ่งตกลงมาสู่โลกเป็นบางครั้งคราว เรามั่นใจว่าโลกและดาวเคราะห์อื่นๆ ก่อร่างสร้างตัวขึ้นมานานกว่า 4.5 พันล้านปี เพราะ “นาฬิกา” ทางธรณีวิทยาที่ถูกกักเก็บอยู่ในแร่ธาตุในหินสุดพิเศษเหล่านี้ (เดี๋ยวผมค่อยมาอธิบายเพิ่มเติมเรื่องการวัดอายุของโลกนะครับ) มีอุกกาบาตบางประเภทที่เรียกว่าอุกกาบาตชนิดหินเนื้อเม็ดหรือคอนไดรต์ ประกอบขึ้นด้วยเมล็ดกลมเล็กจิ๋วขนาดเป็นมิลลิเมตรที่เรียกว่าคอนดรูล ซึ่งเชื่อกันว่ามันเก็บรักษานิวไคลด์กัมมันตรังสีที่ระเหยเป็นไอในช่วงแรกของการก่อตัวของดาวเคราะห์เอาไว้ (รูปที่ 2) มุมมองนี้ได้รับการสนับสนุนจากการศึกษาวิจัยองค์ประกอบของคอนดรูลอย่างละเอียด ซึ่งได้แก่ แร่แคลเซียม อะลูมิเนียม และไทเทเนียม ซึ่งเป็นกลุ่มแรกที่ความแน่น

ตอนแผ่นดาวเคราะห์ของเราเริ่มเย็นตัวลง พร้อมกับเม็ดแร่ธาตุหายากที่พุ่งออกมาจากซูเปอร์โนวาใกล้ๆ กัน และภายหลังถูกกวาดเข้ามาตอนที่ระบบสุริยะก่อตัว อุกกาบาตคอนไดรต์ไม่เพียงรักษามันที่การก่อตัวของระบบสุริยะสมัยแรกเริ่มเอาไว้เท่านั้น แต่องค์ประกอบทางเคมีของมันยังสื่อว่ามันเป็นวัตถุหลักที่ก่อตัวเป็นโลกของเราอีกด้วย

ภายในเวลาไม่กี่ล้านปี หินและน้ำแข็งส่วนใหญ่ที่อยู่รอบดวงอาทิตย์ก็จับตัวกันกลายเป็นดาวเคราะห์มากมาย มีความเชื่อแต่ดั้งเดิมว่า



รูปที่ 2 – อุกกาบาตอัลเลนด คอนไดรต์คาร์บอน ตกลงมาในโลกในปี 1969 เบียดกลมๆ ที่อยู่ข้างในคือคอนดรูล หรือหินทรงกลมที่ก่อตัวขึ้นในช่วงแรกเริ่ม กำเนิดสุริยะเอกภพของเรารวมตัวกันเป็นก้อนขนาดใหญ่ และในที่สุดก็ก่อตัวเป็นดาวเคราะห์ชั้นในของระบบสุริยะ รวมถึงโลกด้วย คอนไดรต์คาร์บอนประกอบด้วย น้ำและโมเลกุลชีวภาพ ซึ่งเป็นวัตถุที่สุดท้ายก็มาอยู่ในบรรยากาศ มหาสมุทร และชีวิตทั้งหลาย ก้อนสี่เหลี่ยมที่อยู่ในรูปมีขนาดหนึ่งเซนติเมตรทุกด้าน
มัตเทโอ คินาลาโต (โดย Wiki, Creative Commons)

อนุภาคขนาดเท่าฝุ่นเกาะรวมกันเป็นเม็ดขนาดใหญ่ขึ้น และเม็ดเหล่านั้นก็รวมตัวกันเป็นก้อนที่ใหญ่ขึ้นอีก และในที่สุดก็ก่อตัวเป็นส่วนเศษของดาวเคราะห์ หรือก้อนหินขนาดใหญ่ระดับกิโลเมตรจำนวนมากอย่างเช่นดาวเคราะห์น้อยที่เราพบอยู่ระหว่างวงโคจรของดาวอังคารและดาวพฤหัสบดีในปัจจุบัน อีกสมมติฐานหนึ่งคือวัตถุคล้ายดาวเคราะห์เกิดจากการรวมตัวของอนุภาคขนาดเท่าก้อนกรวด แต่ไม่ว่าจะเป็นกรณีไหน เมื่อการรวมตัวใกล้จะเสร็จสมบูรณ์ ก็จะเหลือเพียงวัตถุขนาดเท่าดวงจันทร์และดาวอังคารอยู่ประมาณหนึ่งร้อยก้อนเท่านั้น ซึ่งพวกมันก็จะชนกันแล้วก่อกำเนิดเป็นดาวเคราะห์ต่างๆ ของระบบสุริยะของเรา การเปลี่ยนแปลงที่รุนแรงเช่นนี้เพียงครั้งเดียวสามารถส่งผลกระทบอย่างมากต่อดาวเคราะห์ที่กลายมาเป็นบ้านของเราในที่สุด ไม่กี่สิบล้านปีหลังจากส่วนใหญ่ของดาวโลกก่อตัวขึ้นแล้ว วัตถุขนาดเท่าดาวอังคารพุ่งเข้าชนดาวโลกในระยะแรกเริ่มทำให้เกิดเศษหินและก๊าซกระจายออกสู่อวกาศ วัตถุส่วนใหญ่ที่กระจายออกไปนั้น ในที่สุดก็รวมตัวกันเป็นหินทรงกลมขนาดเล็ก และคงอยู่ถาวรในวงโคจรรอบโลก พระจันทร์เต็มดวงนวลผ่องอาจเป็นแรงบันดาลใจให้เราแต่งบทกวี แต่มันเป็นดาวที่เกิดจากความรุนแรง และความลับของมันก็ถูกเปิดเผยจากการศึกษาหินบนดวงจันทร์อย่างละเอียด

โลกคือลูกบอลหินกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ๓,๑๒๐ ไมล์ หรือ ๕,๐๑๒ กิโลเมตร (ที่จริงแล้วดาวเคราะห์ของเราไม่คืองกลมนัก เนื่องจากวิหิมของมันเป็นโพรงออกมานิดหนึ่งตรงเส้นศูนย์สูตร และแบนราบตรงขั้วทั้งสองด้าน) ถ้าคุณผ่าโลกออกเป็นสองซีก (ไม่แนะนำให้ทำจริงนะครับ) คุณจะเห็นว่าดาวเคราะห์ของเราไม่ได้เป็นเนื้อเดียวกันทั้งก้อน แต่เป็นวงกลมซ้อนกันเป็นชั้นเหมือนไข่ต้มสุก (รูปที่ 3)

“ไข่แดง” คือแกนโลก ซึ่งเป็นส่วนในที่ร้อนและหนาแน่น คิดเป็นหนึ่งในสามของมวลทั้งหมด แกนนี้ส่วนใหญ่ประกอบด้วยแร่เหล็ก รวมถึงนิกเกิล และประมาณสิบเปอร์เซ็นต์เป็นธาตุน้ำหนักเบาที่คาดว่าจะรวมไฮโดรเจน ออกซิเจน ซัลเฟอร์ และ/หรือนิโตรเจน เราตัดสินใจเลือกใช้คำว่า “คาดว่า” เพราะไม่มีใครเคยเดินทางไปถึงแกนโลกเพื่อเก็บตัวอย่างออกมา (ต้องขออภัยจูลส์ เวิร์น² ด้วย) คลื่นพลังงานที่เกิดจากแผ่นดินไหวทำหน้าที่คล้ายเครื่องซีทีสแกนในโรงพยาบาล รายละเอียดที่แสดงว่าคลื่นเหล่านี้ถูกส่ง สะท้อน หักเห หรือถูกดูดซับอย่างไรภายในดาวเคราะห์ดวงนี้ เผยให้เห็นถึงมิติต่างๆ และความหนาแน่นของแกนโลก ซึ่งจำเป็นจะต้องประกอบด้วยเหล็กเป็นส่วนใหญ่แต่ไม่ต้องถึงกับทั้งหมด การทดลองภายในห้องปฏิบัติการและการคำนวณบ่งชี้ว่าส่วนผสมของธาตุเบาเช่นที่กล่าวไว้ข้างต้นก็ทำให้เกิดระดับความหนาแน่นตามที่พบได้เช่นกัน แต่ไม่มีใครรู้สัดส่วนที่ชัดเจนของส่วนผสม เพราะไม่มีสูตรการผสมแบบใดที่เป็นคำตอบหนึ่งเดียวของปัญหา แกนโลกชั้นในหรือลูกกลมๆ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 762 ไมล์ (1,226 กิโลเมตร) มีสภาพเป็นของแข็ง ส่วนแกนโลกชั้นนอก (หนาประมาณ 1,475 ไมล์ หรือ 2,260 กิโลเมตร) ยังคงหลอมเหลวและเคลื่อนที่ช้าๆ ด้วยการพาความร้อน โดยสสารที่หนาแน่นกว่าและร้อนกว่าตรงส่วนใกล้ฐานลอยขึ้น และสสารที่หนาแน่นน้อยกว่าและอยู่ค่อนไปด้านบนสุดจมลง การเคลื่อนที่ของแกนด้านนอกเป็นตัวสร้างไดนาโมไฟฟ้าที่ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กโลกขึ้น ในชีวิตประจำวันคุณคงไม่ได้นึกถึงสนามแม่เหล็กนี้หรอก แต่คุณควรขอบคุณมันครับ เพราะสนามแม่เหล็กช่วยปกป้องชั้นบรรยากาศของเราไม่ให้ถูก

² Jules Verne (1828 - 1905) นักเขียนนวนิยายชาวฝรั่งเศส เจ้าของบทประพันธ์ขายดีระดับโลกมากมายที่รวมไปถึงหนังสือ Journey to the Center of the Earth ในปี 1864 ซึ่งเป็นเรื่องราวการผจญภัยของนักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันที่เดินทางไปยังใจกลางโลก

ลมสุริยะพัดกระจัดกระจายออกไป (ลมสุริยะคือกระแสพลังงานของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าซึ่งถูกส่งมาจากดวงอาทิตย์) และยังเป็นประโยชน์ทำให้เข็มทิศชี้ไปทางทิศเหนือ (หรือไม่ก็ใกล้เคียง)

ชั้นเนื้อโลก (Mantle) เปรียบเสมือนไข่ขาวของดาวเคราะห์ของเรา มันห่อหุ้มแกนโลกเอาไว้ เนื้อโลกคิดเป็นราวๆ สองในสามของมวลดาวโลกทั้งหมด ส่วนใหญ่แล้วประกอบด้วยธาตุกลุ่มซิลิเกตหรือธาตุที่อุดมไปด้วยซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2 ซึ่งก็คือหินควอตซ์ในรูปคริสตัลบริสุทธิ์) ร่วมกับแมกนีเซียม เหล็ก แคลเซียม และอะลูมิเนียมในปริมาณที่น้อยกว่าความรู้ส่วนใหญ่ของเราเกี่ยวกับเนื้อโลกได้มาจากคลื่นแผ่นดินไหวอีกเช่นกัน โดยแสดงภาพผ่านการทดลองภายในห้องปฏิบัติการ แต่บางครั้งโลกก็ช่วยเราด้วยการส่งชิ้นส่วนเล็กๆ ของเนื้อโลกขึ้นมาสู่พื้นผิว เพชรเป็นผู้ส่งสารที่โดดเด่นเป็นพิเศษ เดินทางมาจากโลกที่อยู่ด้านใน เพชรก่อตัวขึ้นที่ความลึก 100 ไมล์ (160 กิโลเมตร) หรืออาจใกล้ผิวโลกกว่านั้น ก่อนคาร์บอนบริสุทธิ์แข็งๆ เหล่านี้ถูกแมกมานำพามาส่งที่พื้นผิว ซึ่งแมกมาก็คือแหล่งกำเนิดหลอมเหลวของลาวาและหินอัคนีอื่นๆ ลอเรเลี ลี³ ยืนยันว่าเพชรคือเพื่อนที่ดีที่สุดของผู้หญิง แต่เพชรก็เป็นเพื่อนที่แสนดีของนักธรณีวิทยาเหมือนกันครับ เพราะโดยทั่วไปแล้วเพชรมักประกอบด้วยวัตถุจากชั้นเนื้อโลกขนาดจิ๋วที่สามารถนำไปศึกษาในห้องทดลองได้

เนื้อโลกนั้นเป็นของแข็ง แต่ในระยะยาวมันมีการหมุนเวียนความร้อนด้วย รูปแบบการหมุนเวียนของเนื้อโลกที่มีลักษณะเป็นสามมิติอย่างชัดเจนยังคงเป็นที่ถกเถียงกันอยู่ เช่นเดียวกับคำถามที่ว่าทุกส่วนของเนื้อโลกสามารถผลิตหินภูเขาไฟที่พุ่งขึ้นสู่พื้นผิวโลกได้หรือเปล่า แต่

³ Lorelei Lee เป็นตัวละครเอกในภาพยนตร์เรื่อง *Gentlemen Prefer Blondes* ในปี 1953 ที่รับบทโดยมาริลิน มอนโร และร้องเพลง *Diamonds Are a Girl's Best Friend*

นักธรณีวิทยาเห็นพ้องกันว่า การหลอมละลายของหินชั้นเนื้อโลกก่อให้เกิดชั้นของโลกที่เราเข้าถึงง่ายที่สุด นั่นก็คือเปลือกโลกนั่นเอง

เปลือกโลกมีขนาดน้อยกว่าหนึ่งเปอร์เซ็นต์ของมวลดาวเคราะห์ดวงนี้ มันเป็นเหมือนเปลือกบาง ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับไข่ และเป็นชั้นเดียวที่เราสามารถสังเกตและเก็บตัวอย่างได้เป็นประจำ จึงทำให้เรามีมุมความรู้ อันน่าทึ่ง ทวีปต่าง ๆ สร้างขึ้นจากเปลือกโลกที่ประกอบไปด้วยควอตซ์ (SiO_2) และแร่ธาตุกลุ่มเฟลด์สปาร์ที่อุดมไปด้วยซิลิเนียมและโพแทสเซียม ตัวอย่างที่ดีเยี่ยมคือหินแกรนิตที่เห็นในภูเขาไวต์ของรัฐนิวแฮมเชอร์ หรือเทือกเขาเซียร์ราเนวาดา ซึ่งตั้งตระหง่านอลังการอยู่ที่อุทยานแห่งชาติโยเซมิตี เปลือกโลกใต้มหาสมุทรนั้นแตกต่างออกไป มันประกอบด้วย หินเบซอลต์เหมือนที่ถูกพ่นออกมาจากภูเขาไฟแถบหมู่เกาะฮาวาย มันมีแร่ธาตุเฟลด์สปาร์ที่เต็มไปด้วยแคลเซียมหรือโซเดียม แต่ไม่มีควอตซ์ เปลือกโลกที่เป็นพื้นทวีปหนากว่าและหนาแน่นน้อยกว่าเปลือกโลกที่เป็นพื้นมหาสมุทร ทำให้มัน “ลอย” อยู่เหนือเปลือกโลกมหาสมุทรได้ ทำนองเดียวกับน้ำแข็งที่ลอยอยู่ในเครื่องต้มเย็น ๆ ซึ่งความจริงเป็นเพราะน้ำบนพื้นผิวโลกมักรวมตัวกันในภูมิภาคที่ต่ำ ด้วยหลักการนี้ เปลือกโลกที่เป็นหินเบซอลต์ส่วนใหญ่จึงยังคงอยู่ใต้ทะเล

โลกที่เป็นชั้น ๆ ของเรา เกิดขึ้นมาได้อย่างไร เราอาจคิดว่าชั้นที่เป็นวงกลมของโลกสะท้อนถึงการรวมตัวกันตามลำดับของวัตถุที่แตกต่างกัน ตอนดาวเคราะห์ก่อตัว แต่แนวคิดนี้ไม่สอดคล้องกับข้อสังเกตทางกายภาพ และทางเคมีหลายอย่าง นักวิทยาศาสตร์ส่วนใหญ่เห็นพ้องกันว่าเมื่อโลกที่เพิ่งก่อกำเนิดมีขนาดใหญ่ขึ้น ความร้อนที่เกิดจากการปะทะอย่างต่อเนื่อง และการสลายของไอโซโทปกัมมันตรังสีทำให้โลกหลอมละลาย

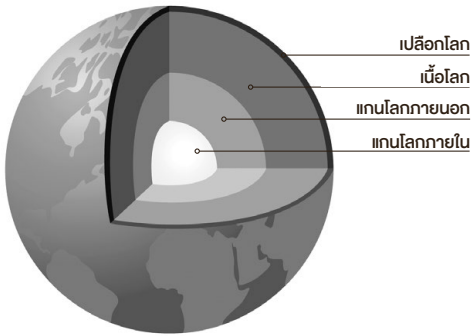
ธาตุ ไอโซโทป และสารประกอบเคมี

ธาตุคือองค์ประกอบพื้นฐานในการสร้างสารประกอบเคมี คุณสมบัติทั้งหลายของมันถูกกำหนดโดยจำนวนโปรตอนและอิเล็กตรอนที่มี เช่น คาร์บอนเกาะเกี่ยวกับธาตุอื่นๆ ในรูปแบบเฉพาะตัว เพราะมันมีโปรตอนหกประจุและอิเล็กตรอนหกประจุ ส่วนออกซิเจนนั้นต่างออกไปเพราะมันมีโปรตอนแปดประจุและอิเล็กตรอนแปดประจุ ตารางธาตุที่ติดหิ้งในห้องเรียนทั่วโลกอย่างน่าภาคภูมิใจ ช่วยให้เรามีมุมมองอันเป็นระบบระเบียบว่าโปรตอนและอิเล็กตรอนของธาตุ 118 ชนิดที่เรารู้จักกำหนดพันธะทางเคมีของมันอย่างไร รวมถึงการกระจายตัวของมันในธรรมชาติด้วย

อะตอมของคาร์บอนทั้งหมดมีโปรตอนหกตัวและอิเล็กตรอนหกตัว แต่จำนวนนิวตรอนอาจผันแปร อะตอมของคาร์บอนส่วนใหญ่ (ประมาณ 99 เปอร์เซนต์) คือคาร์บอน-12 ซึ่งประกอบด้วยนิวตรอนหกตัวและโปรตอนหกตัวสำหรับน้ำหนักอะตอม 12 (อะตอมของไฮโดรเจนคือ 1) อย่างไรก็ตาม ประมาณ 1 เปอร์เซนต์ของอะตอมคาร์บอนมีนิวตรอนพิเศษเพิ่มขึ้นหนึ่งตัวสำหรับน้ำหนักอะตอม 13 และในทุกล้านล้านอะตอมคาร์บอน มีแค่สองสามอะตอมที่มีนิวตรอนแปดตัวสำหรับน้ำหนักอะตอม 14 โดยคาร์บอน-14 อาจเป็นสิ่งที่เรารู้จักเนื่องจากคุณสมบัติเฉพาะที่มีประโยชน์ประการหนึ่งของมัน คือมันสามารถ

แม้กัมมันตภาพรังสีได้ ไอโซโทปกัมมันตรังสีนั้นไม่เสถียรสามารถสลายกลายเป็นอะตอมลูกเมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งคาร์บอน-14 จะสลายตัวเป็นไนโตรเจน-14 ตามธรรมชาติในห้องทดลองเราสามารถวัดอัตราการสลายตัวนี้ได้ กล่าวคือครึ่งหนึ่งของคาร์บอน-14 ที่นำเสนอในตัวอย่างจะสลายเป็นไนโตรเจนใน 5,730 ปี (เรียกว่าครึ่งชีวิตของมัน) ทำให้ C-14 เป็นมาตรวัดเวลาที่มีคุณค่าสำหรับการศึกษาวิจัยทางโบราณคดี อย่างไรก็ตามหลังจากเวลาสองสามหมื่นปีผ่านไป ก็ไม่มี C-14 ในตัวอย่างเหลือมากพอที่จะวัดได้อย่างแม่นยำ เราจึงต้องมองหาไอโซโทปอื่นๆ เพื่อกำหนดช่วงเวลาในประวัติศาสตร์โลกที่ไกลโพ้นออกไป ซึ่งก็คือไอโซโทปของยูเรเนียม

แม้จำนวนโปรตอนและอิเล็กตรอนจะเป็นตัวกำหนดอัตลักษณ์ของธาตุและประเภทของปฏิกิริยาทางเคมีที่มันสามารถเข้าร่วมได้ แต่น้ำหนักไอโซโทปที่แตกต่างกันจะส่งอิทธิพลต่ออัตราการเกิดของปฏิกิริยา จึงมีการใช้ไอโซโทปกัมมันตรังสีของธาตุจำนวนหนึ่งเป็นเครื่องมือตรวจวัดประวัติศาสตร์โลก และคุณลักษณะนี้ของไอโซโทปทำให้มันเป็นสิ่งที่ไม่ได้สำหรับการศึกษาวิจัยประวัติศาสตร์โลกและชีวิต



รูปที่ 3 – ภาพตัดของโลก

แสดงถึงการแบ่งโซนภายในของดาวเคราะห์ของเรา เปลือกโลกที่เราเหยียบย่ำอยู่นี้เป็นแค่พื้นผิวบางๆ ที่ปกคลุมเปลือกโลกชั้นนอก ส่วนชั้นบรรยากาศและมหาสมุทรยิ่งบางกว่านั้นอีก

ธาตุที่หนักกว่าโดยเฉพาะเหล็กจมลงสู่ศูนย์กลาง ส่วนแร่ธาตุอย่างแมกนีเซียมซิลิเกตและสารประกอบอื่นๆ ของเหล็ก อะลูมิเนียม โซเดียม โพแทสเซียม และซิลิกา ก่อตัวเป็นชั้นด้านนอก โครงสร้างแบบวงกลมซ้อนกันของแกนโลกและเนื้อโลกก่อกำเนิดขึ้น และชั้นเปลือกโลกที่เป็นพื้นผิวด้านนอกก็เกิดตามมาหลังจากนั้นไม่นาน

เปลือกโลกก่อตัวขึ้นอย่างไร การจะตอบคำถามนี้ เราต้องย้อนกลับมาพูดถึงเรื่องราวต่างๆ หลอมละลายหรือตกผลึกที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ในช่วงเวลาสองสามล้านปีหลังจากโลกก่อตัวขึ้น เนื้อโลกร้อนๆ ก็ผลิตวัตถุหลอมเหลวที่พุ่งขึ้นสู่พื้นผิวและกระจายไปทั่วดาวเคราะห์ เกิดสิ่งที่นักวิทยาศาสตร์ดาวเคราะห์เรียกว่ามหาสมุทรแมกมา ถ้าคุณเคยเห็นลาวาใหม่ๆ กำลังไหลออกมาจากภูเขาไฟคีเลาเวอา ภูเขาไฟที่คุกรุ่นที่สุดของฮาวาย คุณน่าจะพอนึกภาพนั้นได้คร่าวๆ พื้นผิวหยาบสีดำมีสีส้มเรืองแสงอยู่ในรอยแตกพร้อมลาวาสดใหม่ ทั้งหมดนี้ห่อหุ้มด้วยชั้นไอน้ำร้อนระอุ

เมื่อความร้อนเริ่มกระจายหายไปในพื้นที่บรรยากาศ ไม่นานมหาสมุทร

แมกมาก็เย็นลงและก่อตัวเป็นเปลือกโลกสมัยดึกดำบรรพ์ ซึ่งโดยรวมแล้วประกอบด้วยหินแบซอลต์ เมื่อเปลือกโลกหนาขึ้นและส่วนฐานเริ่มละลาย หินที่อุดมไปด้วยซิลิกาละลายแกรนิตก็เริ่มก่อตัวขึ้นเป็นเปลือกโลกที่เป็นพื้นทวีปแผ่นแรก บันทึกวิวัฒนาการของเปลือกโลกถูกเก็บรักษาไว้ในเม็ดแร่ธาตุเล็กจิ๋วที่เรียกว่าเซอร์คอน (Zircon หรือ เซอร์โคเนียมซิลิเกต, ZrSiO_4) ซึ่งก่อตัวขึ้นเป็นหินอัคนีอุดมด้วยซิลิกา ที่ตกผลึกจากแมกมาหลอมเหลว เซอร์คอนมีคุณสมบัติโดดเด่นอย่างหนึ่งที่ทำให้นักธรณีวิทยาสนใจ คือเมื่อตกผลึก เซอร์คอนจะนำยูเรเนียมปริมาณเล็กน้อยเข้าไปรวมอยู่ในโครงสร้างของมัน แต่ไม่รวมเอาตะกั่วเข้าไป เพราะตะกั่วมีขนาดใหญ่เกินกว่าจะเข้าไปอยู่ในผลึกที่กำลังเติบโต ทำให้เรื่องนี้จึงสำคัญนะหรือ ก็เพราะไอออนของยูเรเนียมจำนวนหนึ่งมีกัมมันตภาพรังสี ยูเรเนียม-235 และยูเรเนียม-238 สลายตัวเป็นตะกั่ว-207 และตะกั่ว-206 ตามลำดับ ในอัตราความเร็วที่สามารถวัดได้ในห้องปฏิบัติการทดลอง ยูเรเนียม-238 มีครึ่งชีวิตเท่ากับ 4.47 พันล้านปี หมายความว่าในสเกลเวลาระดับนี้ ครึ่งหนึ่งของยูเรเนียม-238 ในตัวอย่างจะสลายตัวเป็นตะกั่ว-206 ในทำนองเดียวกัน ยูเรเนียม-235 มีครึ่งชีวิต 710 ล้านปี เพราะไม่มีตะกั่วปนเข้ามาในเซอร์คอนเลยตอนที่มันก่อตัว ตะกั่วใดๆ ที่เรารู้ได้ในวันนี้จึงต้องเกิดขึ้นจากซากกัมมันตภาพรังสีของยูเรเนียมอย่างแน่นอน ดังนั้นการวัดยูเรเนียมและตะกั่วในเซอร์คอนอย่างละเอียดจึงทำให้เราได้นาฬิกาหรือมาตรวัดเวลาโลกที่ดีที่สุดสำหรับประวัติศาสตร์ไกลโพ้นของดาวเคราะห์ของเรา

สรุปว่าเซอร์คอนช่วยให้เราบอกธรณีกาล⁴ได้ แต่ถ้าในโลกเราไม่มี

⁴ Geologic Time การแบ่งย่อยเหตุการณ์หรืออายุทางธรณีวิทยาตามช่วงเวลา โดยจัดหมวดหมู่กาลเวลาตลอดอายุขัยของโลกออกเป็นช่วงๆ

หินที่มีอายุมากกว่าสี่พันล้านปี แล้วเซอร์คอนจะให้ความกระจ่างเกี่ยวกับประวัติศาสตร์ช่วงแรกของดาวโลกได้อย่างไร การจะตอบคำถามข้อนี้ เราต้องไปที่ชายหาดนอร์ทฮอร์นในแมสซาชูเซตส์ ซึ่งเป็นชายทะเลสุดโปรดของครอบครัวผมเอง ทRAYที่เราเอามาสร้างปราสาทนั้นก่อตัวจากการสึกกร่อนของที่ราบสูงโบราณ ซึ่งยังหลงเหลือซากอยู่ที่เทือกเขาไวต์ในนิวแฮมเชอร์และเทือกเขาอื่น ๆ ที่เป็นแนวหลักของภูมิภาคนิวอิงแลนด์ เทือกเขาเหล่านี้เผยให้เห็นหินแกรนิตที่ก่อตัวในช่วงการกำเนิดของภูเขาเมื่อสี่ร้อยล้านปีก่อน เราอายุของมันเพราะหินแกรนิตประกอบด้วยเซอร์คอนที่บ่งชี้ว่ามันก่อตัวขึ้นเมื่อใด เมื่อเวลาผ่านไป เซอร์คอนเหล่านั้นบางส่วนจะถูกกัดเซาะออกมาจากภูเขาและไหลไปตามแม่น้ำสู่ชายฝั่งทะเล และในที่สุด (ณ ตอนนั้น) ก็ถูกเปลี่ยนเป็นเม็ดทรายบนชายหาดของแมสซาชูเซตส์ ดังนั้นชายหาดสมัยใหม่เหล่านี้จึงถูกสร้างขึ้นจากเม็ดทรายที่เก่าแก่มาก รวมถึงเซอร์คอนที่อายุสี่ร้อยล้านปีด้วย

เรื่องนี้อธิบายว่าเซอร์คอนให้ความกระจ่างเกี่ยวกับยุคมีดของโลกเราได้อย่างไร ในออสเตรเลียตะวันตก กลุ่มก้อนหินสีส้มหน้าตาอัปลักษณ์ที่ถูกกลมกัดเซาะซึ่งเรียกกันว่า แจ็กฮิลล์ฟอร์เมชัน (Jack Hills Formation) แสดงถึงหินทรายและก้อนกรวดที่เป็นตะกอนจากแม่น้ำเมื่อราวสามพันล้านปีก่อน อายุของหินกลุ่มนี้น่าสนใจพอตัวเลยครับ เพราะเราไม่ค่อยพบหินตะกอนอายุมากขนาดนี้ แต่ความพิเศษของแจ็กฮิลล์เห็นได้ชัดเจนเมื่อเราพิจารณาดูเม็ดทรายที่มารวมตัวกันเป็นหินทรายเมื่อหลายพันล้านปีก่อนอย่างละเอียด ในบรรดาเม็ดทรายเหล่านั้นมีเซอร์คอนซึ่งประมาณห้าเปอร์เซ็นต์ของมันมีอายุมากกว่าสี่พันล้านปี ส่วนที่เก่าแก่ที่สุดวัดได้ที่ 4.38 พันล้านปี ซึ่งเกือบจะเท่าอายุดาวเคราะห์ดวงนี้เลยทีเดียว และเมื่อไม่นานมานี้ก็ยังมี การค้นพบลักษณะคล้ายกันที่แอฟริกาใต้และอินเดีย

เราได้เรียนรู้อะไรจากแร่ธาตุโบราณเหล่านี้ ประการแรกคือเซอร์คอน ไม่ก่อตัวในหินอัคนีทั้งหมด ส่วนใหญ่มันปรากฏอยู่ในเปลือกโลกที่อุดมด้วยซิลิกา ซึ่งเป็นองค์ประกอบทางเคมีที่นำไปสู่การเกิดหินแกรนิต ดังนั้น เซอร์คอนจึงเป็นสิ่งที่บ่งชี้ว่าการเกิดเปลือกโลกแบบต่าง ๆ เริ่มต้นมาตั้งแต่สมัยแรก ๆ ของประวัติศาสตร์ดาวเคราะห์ของเรา องค์ประกอบทางเคมีของออกซิเจนในเซอร์คอนยังสื่อว่าน้ำที่เป็นของเหลวมีอยู่แล้วตั้งแต่ 4.38 พันล้านปีก่อน บรรยากาศชั้นไฮโดรสเฟียร์ของโลกมีอายุเก่าแก่เกือบเท่าตัว ดาวโลกเอง และเซอร์คอนอายุมากประกอบด้วยแร่ธาตุอื่น ๆ ปริมาณเล็กน้อยที่สามารถใช้อธิบายคุณสมบัติภายในของโลกเมื่อกว่าสี่พันล้านปีก่อน สิ่งที่น่าสนใจที่สุดและเป็นที่ถกเถียงกันมากที่สุดอาจเป็นเม็ดแกรไฟต์เล็ก ๆ ซึ่งเป็นแร่ธาตุที่เกิดจากคาร์บอนบริสุทธิ์ พบในเซอร์คอนอายุ 4.1 พันล้านปี นี่คือการยืนยันว่าสิ่งมีชีวิตยุคแรกทั้งไวรัหรือเปล่า เราจะกลับมาที่คำถามนี้ในบทที่ 3 ตอนนี้เรามาศึกษาภาพดาวเคราะห์วัยเยาว์ของเรากันก่อนดีกว่า

มาถึงจุดนี้ เราได้อธิบายถึงองค์ประกอบใหญ่ ๆ ของมวลโลกไปแล้ว แล้วสิ่งสำคัญที่สุดสำหรับสิ่งมีชีวิตอย่างน้ำที่อยู่ในมหาสมุทรและก๊าซในบรรยากาศของเราละ นานหลายปีที่เดียวที่นักวิทยาศาสตร์ดาวเคราะห์ตั้งสมมติฐานว่าอากาศและน้ำของโลกโดยรวมมาจากดาวหางที่ผนวกเข้ามาเป็นโลกตอนมันกำลังเติบโต โดยเข้ามาฉาบเคลือบโลกไว้ในช่วงท้ายของการก่อตัว ดาวหางหรือที่นิยมเรียกว่า “ก้อนหิมะสกปรก” คือผู้ส่งสารจากดินแดนนอกระบบสุริยะยุคแรกของเรา ส่วนใหญ่ประกอบขึ้นจากน้ำแข็งและมีหินผสมด้วยเล็กน้อย ความเข้าใจองค์ประกอบทางเคมีของดาวหางที่ก้าวหน้าขึ้นช่วยให้เราสามารถทดสอบสมมติฐานว่าด้วย

ต้นกำเนิดดาวหาง ซึ่งทำได้ด้วยการใช้ไอโซโทปของไฮโดรเจน เราพอเข้าใจเรื่องของปริมาณไฮโดรเจนและดิวเทอเรียมในน้ำและสสารที่มีไฮโดรเจนในโลก (ซึ่งกล่าวไปแล้วว่าดิวเทอเรียมเป็นไอโซโทปของไฮโดรเจนที่มีนิวตรอนหนึ่งตัว โปรตอนหนึ่งตัว และอิเล็กตรอนหนึ่งตัว) เช่นนี้เอง ต้นกำเนิดของน้ำในโลกจึงน่าจะมีอัตราส่วนไฮโดรเจนต่อดิวเทอเรียมคล้ายกัน น่าเศร้าที่ดาวหางไม่ผ่านการทดสอบสมมติฐานดังกล่าว องค์ประกอบเคมีที่เป็นไฮโดรเจนชัดเจนของมันเป็นสื่อให้เห็นว่าพวกมันเป็นที่มาของน้ำในโลกอย่างมากไม่เกินสิบเปอร์เซ็นต์เท่านั้น

ส่วนที่เหลือของน้ำในโลก รวมถึงก๊าซมากมายในบรรยากาศและคาร์บอนในร่างกายของเรา เดินทางมาถึงโลกพร้อมกับอุกกาบาตที่สร้างดาวเคราะห์ดวงนี้ทั้งหมด โดยเฉพาะอุกกาบาตประเภทคอนไดรต์ บางชนิดที่เชื่อกันว่าเข้ามายังโลกในช่วงการเติบโตระยะสุดท้าย คอนไดรต์กลุ่มหนึ่งที่เรียกว่าคอนไดรต์คาร์บอนสมควรได้รับความสนใจเป็นพิเศษ เพราะมวลของมันเป็นน้ำ 3-11 เปอร์เซ็นต์ ส่วนใหญ่เกาะเกี่ยวกันทางเคมีกลายเป็นดินเหนียวและแร่ธาตุอื่นๆ และ 2 เปอร์เซ็นต์กลายเป็นสสารชีวภาพ (โมเลกุลที่คาร์บอนและไฮโดรเจนเกาะเกี่ยวกัน) รวมถึงกรดแอมิโนแบบที่เราพบในโปรตีน อุกกาบาตคอนไดรต์จึงเป็นที่มาของน้ำและคาร์บอน มันไม่เหมือนกับดาวหางเพราะมันผ่านการทดสอบไอโซโทปไฮโดรเจน ดังนั้นจึงดูเหมือนอุกกาบาตคอนไดรต์ชนิดต่างๆ นั้นเองที่ทำให้เกิดหิน น้ำ และอากาศที่เราใช้ดำรงชีวิต

ในโลกยุคแรกเริ่ม ความร้อนน่าจะทำให้ไอน้ำ ก๊าซไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์จากภายในก่อตัวเป็นชั้นบรรยากาศร้อนๆ ที่มีความหนาแน่น อาจจะหนาแน่นกว่าที่เราสัมผัสอยู่ทุกวันนี้ถึงหนึ่งร้อยเท่าเลยทีเดียว เมื่อโลกเย็นตัวลง ไอน้ำส่วนใหญ่ควบแน่นเป็นของเหลว

และตกลงมากลายเป็นมหาสมุทร ในขณะเดียวกัน คาร์บอนไดออกไซด์บางส่วนในอากาศทำปฏิกิริยากับหินและน้ำจนกลายเป็นหินปูน และกลับรินสู่ผืนโลกในรูปของตะกอน บางทีโลกตอนนั้นอาจดูเหมือนเกาะฮาวายก็ได้เนะครับ เพราะมีบรรดาภูเขาไฟที่มียอดเมฆปกคลุมโผล่ขึ้นมาจากทะเล และอาจมีสีแปลกประหลาดด้วย เพราะนักวิทยาศาสตร์จำนวนหนึ่งคิดว่าโมเลกุลชีวภาพขนาดเล็กที่เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีจากการแผ่กัมมันตภาพรังสีอาจก่อให้เกิดหมอกควันสีส้มในชั้นบรรยากาศอันหนาแน่นของโลกยุคแรก

กระบวนการกำจัดก๊าซยังไม่เสร็จสิ้นครับ ยังมีน้ำอยู่ในชั้นเนื้อโลกมากกว่าในมหาสมุทร และการเคลื่อนตัวของน้ำจากเนื้อโลกมาสู่ผิวโลกก็ไม่ได้เป็นไปแบบทางเดียว มีเหตุผลที่ทำให้เราเชื่อว่าเนื้อโลกร้อนๆ ในวัยเยาว์นั้นเก็บกักน้ำได้น้อยกว่าเนื้อโลกในยุคปัจจุบัน มหาสมุทรสมัยก่อนจึงน่าจะมีขนาดใหญ่กว่ามหาสมุทรในปัจจุบัน สิ่งหนึ่งที่ชัดเจนคือ ก๊าซออกซิเจนไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งของบรรยากาศสมัยแรกเริ่ม เราจะได้เห็นในบทที่ 4 ว่าออกซิเจนที่หล่อเลี้ยงเราทุกวันนี้เกิดขึ้นในภายหลังโดยมาจากกระบวนการทางชีวภาพมากกว่ากระบวนการทางกายภาพล้วนๆ

เมื่อโลกเย็นลงและเริ่มมีรูปลักษณ์แตกต่างไป อิทธิพลของอุกกาบาตขนาดใหญ่ค่อยๆ จางหาย แต่จนทุกวันนี้อุกกาบาตก็ยังคงตกลงมาสู่โลก ในปี 1992 อุกกาบาตขนาดเล็กตกกระแทกกระทั้นครั้งหนึ่งในเมืองฟิสกิลที่นิวยอร์ก นักท่องเที่ยวยังคงมาเยี่ยมชมหลุมอุกกาบาตสุดอลังการใกล้แฟลกสตาฟในรัฐแอริโซนา และสามารถมองลงไปเห็นหลุมกว้างเกือบสามส่วนสี่ไมล์ (1.2 กิโลเมตร) ที่เกิดจากแรงตกกระทบเมื่อราว 50,000 ปีก่อน กระนั้นเมื่อเวลาผ่านไป ความถี่ของการตกและขนาดของอุกกาบาตที่ตกมายังโลกก็ลดน้อยลงเรื่อยๆ ในโลกเมื่อตอน

อายุเยาว์ อุกกาบาตที่ใหญ่ขนาดสามารถทำให้มหาสมุทรสมัยแรกเริ่มระเหยเป็นไอน้ำได้ตกกระแทกโลกอย่างต่อเนื่องอยู่ชั่วระยะเวลาหนึ่ง หลักฐานเรื่องนี้ไม่ได้มาจากโลกของเราแต่อย่างใด หากแต่มาจากดาวเคราะห์เพื่อนบ้านเรา นั่นก็คือดาวอังคาร พื้นผิวดาวอังคารที่เป็นหลุมอุกกาบาตสมัยโบราณยังคงปรากฏให้เห็นในที่ราบสูงทางใต้ บางหลุมในจำนวนนี้มีขนาดใหญ่ยักษ์ หลุมหนึ่งแสดงถึงแรงกระแทกที่รุนแรง น่าที่ชื่อว่าเฮลลสพลาเนียเทีย มีขนาดหลุมกว้างประมาณ 2,300 กิโลเมตร เทียบคร่าว ๆ คือระยะทางระหว่างบอสตันไปนิวยอร์ก พลังงานจากแรงกระแทกกระดืบนั้นทำให้ระเบิดนิวเคลียร์ดูจ๊ับจ้อยเหมือนประทัดไปเลยครับ

ผลกระทบจากการตกกระแทกของอุกกาบาตเลื่อนหายไปตอนไหนแน่ ยังคงเป็นหัวข้อที่โต้เถียงกันอยู่อย่างถึงพริกถึงขิง นับตั้งแต่ยุคแรกๆ ที่มนุษย์เริ่มสำรวจดวงจันทร์ เรานิยมคิดเรื่องนี้โดยอิงกับ “การระดมชนหนักครั้งสุดท้าย” (Late Heavy Bombardment หรือ LHB) ซึ่งเป็นรอบที่อุกกาบาตกระหน่ำชนดาวเคราะห์ในระบบสุริยะชั้นในช่วงประมาณ 3.9 พันล้านปีก่อน หลักฐานชัดเจนส่วนใหญ่มาจากตัวอย่างที่นักบินอวกาศเก็บได้จากหลายส่วนของพื้นผิวดวงจันทร์ น่าประหลาดใจที่ตัวอย่างจำนวนมากมีหลักฐานบ่งบอกถึงเหตุการณ์สั่นสะเทือนรุนแรงเมื่อประมาณ 3.9 พันล้านปีก่อน แต่เดิมมันถูกตีความว่าเป็นอัตราการตกของอุกกาบาตที่พุ่งสูงโดดเด่นในช่วงหนึ่ง ซึ่งอธิบายได้ด้วยโมเดลที่แสดงให้เห็นว่าการปลั๊กกันระหว่างวงโคจรดาวเสาร์และดาวพฤหัสบดีให้วัตถุจำนวนมากออกจากระบบสุริยะชั้นนอก อย่างไรก็ตามนักวิทยาศาสตร์ดาวเคราะห์บางคนเห็นต่างไป โดยโต้แย้งว่าหลักฐานมากมายของแรงกระแทกอายุ 3.9 พันล้านปีที่พบบนดวงจันทร์ ที่จริงแล้วเกิดจากเหตุการณ์ครั้งใหญ่เพียงครั้งเดียว ไม่ใช่กองทัพอุกกาบาตหลายลูก

ที่ตกลงมาคนละทีสองที บางคนแย้งว่ายอดเขาที่เห็นชัดเจนว่ามีอายุ 3.9 พันล้านปีคืองานศิลปะที่빙บอกว่าแรงกระแทกลดความรุนแรงลงเมื่อเวลาผ่านไป แบบจำลองใหม่ๆ ของพลวัตในระบบสุริยะสนับสนุนแนวคิดเรื่องการระดมชนหนักในฐานะเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นไม่ต่อเนื่อง แต่เสนอว่ามันน่าจะเกิดขึ้นก่อนหน้านั้นนานแล้ว ในปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์หลายคนเชื่อว่าเมื่อถึงประมาณ 4.2 - 4.3 พันล้านปีก่อน การตกกระแทกของอุกกาบาตขนาดที่สามารถทำให้น้ำในมหาสมุทรระเหยเป็นไอไม่ได้เป็นภัยคุกคามโลกเราอีกต่อไป

ละครอันน่าทึ่งเรื่องการทำเนิดโลก อันได้แก่ การสะสมพอกพูนของวัตถุจากดาวฤกษ์สมัยโบราณ การหลอมละลายของลูกโลก และการแยกย่อยเป็นส่วนต่างๆ ซึ่งส่งอิทธิพลกับภายในของดาวของเรา รวมถึงการก่อตัวของมหาสมุทรและบรรยากาศ ทั้งหมดล้วนเกิดขึ้นภายในระยะเวลาหนึ่งร้อยล้านปีหรือน้อยกว่านั้น เมื่อ 4.4 พันล้านปีก่อนโลกกลายเป็นดาวเคราะห์ที่ประกอบด้วยหิน จมอยู่ในน้ำ และมีอากาศปกคลุม ทวีปต่างๆ ผุดเกิด แต่ยังเล็กอยู่ และส่วนใหญ่ก็น่าจะจมอยู่ใต้ทะเล ผมจินตนาการภาพของโลกวัยเยาว์ว่าเป็นเหมือนอินโดนีเซียคือมีส่วนโค้งของยอดภูเขาไฟโผล่ขึ้นเหนือทะเล แต่มีส่วนที่เป็นมวลแผ่นดินคล้ายทวีปอย่างจำกัด โลกถูกห่อหุ้มด้วยชั้นบรรยากาศหนา แต่เป็นอากาศที่ปราศจากออกซิเจน มนุษย์ที่เดินทางข้ามเวลากลับไปคงไม่อาจมีชีวิตรอดในโลกสมัยแรกเริ่มได้นานนัก เช่นนั่นเอง แม้โลกในตอนนั้นจะมีสรรพสิ่งที่เราคุ่นเคยอยู่บ้าง แต่มันก็ยังไม่ใช่อะไรของโลกที่เราโลกที่เรารู้จักมีทวีปขนาดใหญ่ มีอากาศที่หายใจได้ และมีชีวิต...ซึ่งตอนนั้น ชีวิตยังไม่มา