

การผูกบังเกิดกลับมามีผลกระทบต่อส่วนประกอบย่อย

สิ่งที่ผูกบังเกิดขึ้นมาในระบบซับซ้อน ไม่ว่าจะเป็นความสามารถในการคิดและจดจำของสมองหรือแบบแผนใหม่ที่เกิดขึ้นในกรณีของตัวอย่างอื่นๆ นั้น จะกลับมามีผลกระทบต่อส่วนประกอบย่อยอีกในกรณีของสมอง ความสามารถในการคิดและจดจำที่เกิดขึ้นจะทำให้คนนั้นมีจินตนาการไปถึงเรื่องต่างๆ จินตนาการเหล่านี้จะมีผลกระทบต่อเซลล์สมองให้มีการหลั่งสารเคมีออกมาอีก ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจนอีกตัวอย่างหนึ่งก็คือ การกระจุกตัวของคนผิวดำในบริเวณหนึ่ง จะทำให้บริเวณนั้นเป็นที่รู้จักกันว่าเป็นย่านของคนผิวดำ ซึ่งจะทำให้คนผิวขาวไม่อยากจะมาอยู่อีก เป็นต้น

ระบบซับซ้อนมักมีโครงสร้างต่อเนื่องเป็นระดับชั้น

การผูกบังเกิดยังทำให้ระบบซับซ้อนมีโครงสร้างต่อเนื่องเป็นระดับชั้น (hierarchy) อีกด้วย กล่าวคือ ระบบซับซ้อนหนึ่งอาจเกิดจากระบบซับซ้อนอื่นที่เล็กกว่า เช่น โมเลกุลเป็นระบบซับซ้อนที่เกิดจากกลุ่มของอะตอม เซลล์เป็นระบบซับซ้อนที่เกิดจากกลุ่มของโมเลกุลของสารอินทรีย์ เนื้อเยื่อเป็นระบบซับซ้อนที่เกิดจากกลุ่มของเซลล์ อวัยวะเป็นระบบซับซ้อนที่เกิดจากกลุ่มของเนื้อเยื่อ สิ่งมีชีวิต เป็นระบบซับซ้อนที่เกิดจากกลุ่มของอวัยวะ สังคมคือระบบซับซ้อนที่เกิดจากกลุ่มคน เป็นระดับชั้นเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ

การสังเกตระบบซับซ้อนในแต่ละระดับจะให้ผลที่แตกต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น หากเราสังเกตระบบจราจรที่ระดับของรถแต่ละคัน เราจะพบว่ารถวิ่งไปข้างหน้า อย่างไรก็ตาม เมื่อเราเปลี่ยนวิธีการสังเกตไปที่ระดับของรถติด ซึ่งถือเป็นการสังเกตระบบในระดับที่สูงกว่า เราจะพบว่า การเกิดรถติดเคลื่อนที่ไปข้างหลัง ในทิศทางที่สวนทางกับทิศทางที่รถวิ่ง เป็นต้น²

การค่อยๆ ของระบบซับซ้อนเป็นระดับชั้น โดยในแต่ละชั้นจำเป็นจะต้องอาศัยวิธีการสังเกตคนละแบบเช่นนี้ ทำให้เราต้องใช้ศาสตร์ต่างๆ กันในการอธิบายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติของแต่ละระดับชั้น เช่น ใช้ฟิสิกส์และเคมีอธิบายโลกกายภาพ ใช้ชีววิทยาอธิบายโลกทางชีวภาพที่ผูกบังเกิดขึ้นจากโลกทางกายภาพ ใช้จิตวิทยาอธิบายโลกทางจิตซึ่งผูกบังเกิดขึ้นจากโลกทางชีวภาพของมนุษย์ ใช้สังคมศาสตร์อธิบายปรากฏการณ์ทางสังคมที่ผูกบังเกิดขึ้นจากพฤติกรรมรวมหมู่ของมนุษย์ เป็นต้น ทั้งนี้ไม่ได้หมายความว่า ระบบในระดับชั้นสูงมีพฤติกรรมขัดกับกฎเกณฑ์ของระดับชั้นที่ต่ำกว่า แต่หมายความว่า กฎเกณฑ์ของระดับชั้นที่ต่ำกว่าไม่สามารถอธิบายปรากฏการณ์ของระบบในชั้นที่สูงกว่าได้อย่างครบถ้วน³

² ในทางวัสดุศาสตร์ (materials science) ซึ่งเป็นวิทยาการที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างและสมบัติของวัสดุต่างๆ ในชีวิตประจำวัน มีตัวอย่างในลักษณะเดียวกัน กล่าวคือ ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างระดับจุลภาคของวัสดุที่เป็นแบบพหุผลึก (polycrystal) นักวัสดุศาสตร์สามารถมีมุมมองในการวิเคราะห์ได้อย่างน้อย 2 ระดับคือ มุมมองในระดับอะตอม (atomistic approach) และมุมมองในระดับจุลภาค (microscopic approach) เช่น ในการศึกษาการเติบโตของเม็ดผลึก (grain) ในวัสดุหลายผลึกนั้น หากเรามองการเคลื่อนที่ของขอบเม็ดผลึก (grain boundary) ซึ่งเป็นรอยต่อระหว่างเม็ดผลึกในระดับอะตอม เราจะเห็นอะตอมเคลื่อนที่จากบริเวณหนึ่งไปอีกบริเวณหนึ่ง เช่น จากซ้ายไปขวา อย่างไรก็ตาม หากเรามองในระดับจุลภาค เราจะเห็นขอบเกรนเคลื่อนที่ในทิศทางตรงกันข้าม เช่น จากขวาไปซ้าย

³ ในกรณีของเคมีและฟิสิกส์ นักวิทยาศาสตร์บางคนเชื่อว่า เราสามารถอธิบายปฏิกิริยาทางเคมีทั้งหมดได้ด้วยกฎเกณฑ์ทางฟิสิกส์ที่เรียกว่า พลศาสตร์ทางไฟฟ้าควอนตัม (Quantum Electrodynamics หรือ QED) ดู Murray Gell-Mann, "The Quark and the Jaguar: Adventures in the Simple and the Complex", Freeman, 1994.

สถานะของระบบซับซ้อน

ระบบซับซ้อนมักจะมีพฤติกรรมของระบบแตกต่างกันไปตามสถานะต่างๆ สถานะของระบบซับซ้อนอาจเปรียบเทียบได้กับสถานะของสสารทั่วไป เช่น ของแข็ง ของเหลว หรือแก๊ส ในสถานะหนึ่งๆ ระบบซับซ้อนจะต้องมีลักษณะในเชิงคุณภาพ (qualitative characteristic) ก่อนข้างจะคงที่ แม้ว่าอาจมีลักษณะในเชิงปริมาณ (quantitative characteristic) ที่เปลี่ยนไปก็ตาม แต่เมื่อระบบมีการเปลี่ยนสถานะลักษณะทางคุณภาพของมันก็จะเปลี่ยนแปลงไปอย่างสิ้นเชิง เช่นเดียวกับน้ำที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสจะมีลักษณะในเชิงคุณภาพ คือ เป็นของเหลว มีความหนืด หรือแรงตึงผิวไม่แตกต่างจากน้ำที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสมากนัก แต่เมื่อน้ำเดือดกลายเป็นไอน้ำ ลักษณะทางคุณภาพของน้ำในสถานะของเหลว เช่น การมีความหนืด หรือแรงตึงผิวก็จะกลายเป็นสิ่งที่ไม่มีความหมายอีกต่อไป

นักวิทยาศาสตร์มักแบ่งสถานะของระบบซับซ้อนออกเป็นสามสถานะใหญ่ๆ คือ สถานะเป็นระเบียบ (order) สถานะซับซ้อน (complexity) และสถานะโกลาหล (chaos)⁴ กล่าวโดยย่อๆ เราอาจเปรียบเทียบสถานะเหล่านี้กับน้ำแข็ง น้ำ และไอน้ำตามลำดับ กล่าวคือ สถานะเป็นระเบียบซึ่งหมายถึงสถานะที่ระบบหยุดนิ่ง หรือเคลื่อนที่แบบกลับไปกลับมาเป็นคาบ อาจเทียบได้กับการเรียงตัวเป็นระเบียบของผลึกน้ำแข็ง ส่วนสถานะโกลาหลซึ่งระบบมีความยุ่งเหยิงจนดูเหมือนไร้ระเบียบนั้น อาจเปรียบเทียบได้กับไอน้ำ ซึ่งโมเลกุลของน้ำมีการเคลื่อนที่วุ่นวายแบบสุ่ม (random) ในขณะที่

สถานะซับซ้อนนั้นเป็นสถานะที่อยู่ระหว่างกลางของสองสถานะดังกล่าว เช่นเดียวกับสถานะของเหลว ซึ่งโมเลกุลของน้ำสามารถเคลื่อนไหวได้ แต่ไม่ยุ่งเหยิงเหมือนกับโมเลกุลของไอน้ำ

อย่างไรก็ตาม สถานะซับซ้อนของระบบซับซ้อนมักมีขอบเขตที่แคบ คือเป็นรอยต่อเล็กๆ หรือจุดของการเปลี่ยนสถานะระหว่างสถานะเป็นระเบียบและสถานะโกลาหล มากกว่าเป็นอาณาเขตโดยตัวมันเองอย่างแท้จริง นักวิทยาศาสตร์บางคนจึงเรียกสถานะซับซ้อนนี้ว่า “ขอบแห่งความโกลาหล” (The edge of chaos) ซึ่งหมายถึงว่า สถานะซับซ้อนเป็นเสมือนธรณีประจันระหว่างสถานะเป็นระเบียบและสถานะโกลาหลนั่นเอง

แม้ว่า สถานะซับซ้อนจะเป็นเพียงสถานะเล็กๆ ก็ตาม นักวิทยาศาสตร์ไม่น้อยก็ให้ความสนใจกับการศึกษาสถานะดังกล่าวมาก เนื่องจากมันเป็น “ทางสายกลาง” ระหว่างความเป็นระเบียบที่หยุดนิ่ง หรือมีแบบแผนตายตัวจนแทบไม่มีอะไรน่าสนใจกับความโกลาหลวุ่นวายจนแทบจะไม่สามารถมีความเป็นระเบียบได้ นักวิทยาศาสตร์กลุ่มหนึ่งยังเชื่อกันว่า ระบบซับซ้อนส่วนใหญ่ในโลกนี้ไม่ว่าจะเป็นสมอง ระบบจราจรในเมืองใหญ่ และระบบเศรษฐกิจล้วนเป็นระบบที่อยู่ ณ สถานะซับซ้อนทั้งสิ้น

ระบบซับซ้อน ณ สถานะซับซ้อน

เหตุผลที่นักวิทยาศาสตร์กลุ่มหนึ่งเชื่อว่าระบบซับซ้อนมักอยู่ในสถานะซับซ้อนนั้น ก็เนื่องมาจากความเชื่อที่ว่า สถานะดังกล่าวไม่เป็นระเบียบหรือหยุดนิ่งจนเกินไปจนระบบซับซ้อนไม่มีพฤติกรรมที่น่าสนใจ ในขณะเดียวกัน สถานะโกลาหลก็มีความวุ่นวายมากเกินไปจนระบบไม่เป็นระเบียบแบบแผนใดๆ จนไม่สามารถทำงานได้ เช่น หากสมองอยู่ในสภาวะที่เป็นระเบียบ ซึ่งแทบไม่มีการกระตุ้นระหว่างเซลล์สมองเลย สมองจะไม่สามารถส่งผ่านข้อมูลจากส่วนหนึ่งของสมองไปยัง

⁴ พจนานุกรมคณิตศาสตร์ของราชบัณฑิตยสถาน แปลความหมายของ chaos ว่าคือความ “อลวน” อย่างไรก็ตาม หังทราบบว่า สถานะโกลาหล หรืออลวนดังกล่าว ไม่ใช่สถานะแบบสุ่ม (random) ซึ่งไร้ระเบียบอย่างแท้จริง (disorder) แต่เป็นเพียงสถานะที่มีระเบียบซ่อนอยู่ในความไม่มีระเบียบ

อีกส่วนหนึ่งได้ ในทางกลับกัน หากสมองอยู่ในสภาวะโกลาหล ซึ่งเป็นสภาวะที่เซลล์สมองกระตุ้นกันและกันมาก จนเซลล์สมองแทบทุกเซลล์อยู่ในสภาวะตื่นตัวหมด การส่งผ่านข้อมูลอาจจะเกิดขึ้นได้ดี แต่การเก็บข้อมูลและการจดจำคงเป็นไปได้ยาก การทดลองบางอย่างยังยืนยันข้อสันนิษฐานนี้ เช่น ในการทดลองด้วย เซลลูลาร์ ออโตเมตอน (cellular automaton) ซึ่งเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ชนิดหนึ่งนักวิทยาศาสตร์พบว่าโปรแกรมคอมพิวเตอร์ชนิดนี้จะมีความสามารถในการคำนวณสูงสุด ณ จุดที่มีการเปลี่ยนสถานะระหว่างสถานะเป็นระเบียบและสถานะโกลาหล หรือ ณ สถานะซับซ้อนนั่นเอง



ซับซ้อนนั่นเอง

ข้อสันนิษฐานของนักวิทยาศาสตร์ที่ว่า ระบบซับซ้อนส่วนใหญ่ มักเคลื่อนตัวไปอยู่ ณ สถานะซับซ้อนนั้น เกี่ยว

ข้องกับการที่ระบบซับซ้อน

มักเป็นระบบเปิด (open system)

ซึ่งหมายถึงระบบที่สามารถถ่ายเท

มวลสาร และพลังงานกับสิ่งแวดล้อม

ภายนอกได้⁵ การเป็นระบบเปิดทำให้

ระบบซับซ้อนซึ่งอยู่ในสถานะอื่น เช่น สถานะ

เป็นระเบียบได้รับมวลสารหรือพลังงานมากพอจน

สามารถเปลี่ยนสถานะมายังสถานะซับซ้อนได้ อาทิ

การเป็นระบบเปิดของสมองทำให้สมองสามารถรับ

สัญญาณจากภายนอกผ่านหู ตา จมูก ลิ้น และกาย

จนมีสภาวะที่ตื่นตัวพอสมควรได้ในทำนองเดียวกัน

การเป็นระบบเปิดของระบบจราจร ซึ่งหมายความว่า

มีรถจากภายนอกแล่นเข้ามาในระบบ ทำให้การ

จราจรที่เคยเป็นระเบียบเนื่องจากมีความหนาแน่น

ของรถอยู่น้อย มีความหนาแน่นมาจนถึงจุดเปลี่ยน

สถานะ ซึ่งเป็นจุดที่เกิดรถติดนั่นเอง

ข้อสันนิษฐานที่ว่า ระบบซับซ้อนมีแนวโน้มที่

จะเข้าสู่สถานะซับซ้อนเป็นข้อสันนิษฐานที่ได้รับ

ความสนใจจากวงการวิทยาศาสตร์มาก และทำให้เกิดการถกเถียงทางวิชาการกันอย่างกว้างขวาง อย่างไรก็ตาม ในขณะนี้นักวิทยาศาสตร์ยังไม่ได้ข้อยุติในเรื่องดังกล่าวแต่อย่างใด เนื่องจากยังไม่สามารถนิยามดัชนีวัด “ความซับซ้อน” (complexity) ที่เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไป⁶ การพิสูจน์ความถูกต้องของข้อสันนิษฐานนี้จึงจำเป็นต้องอาศัยการวิจัยต่อไป

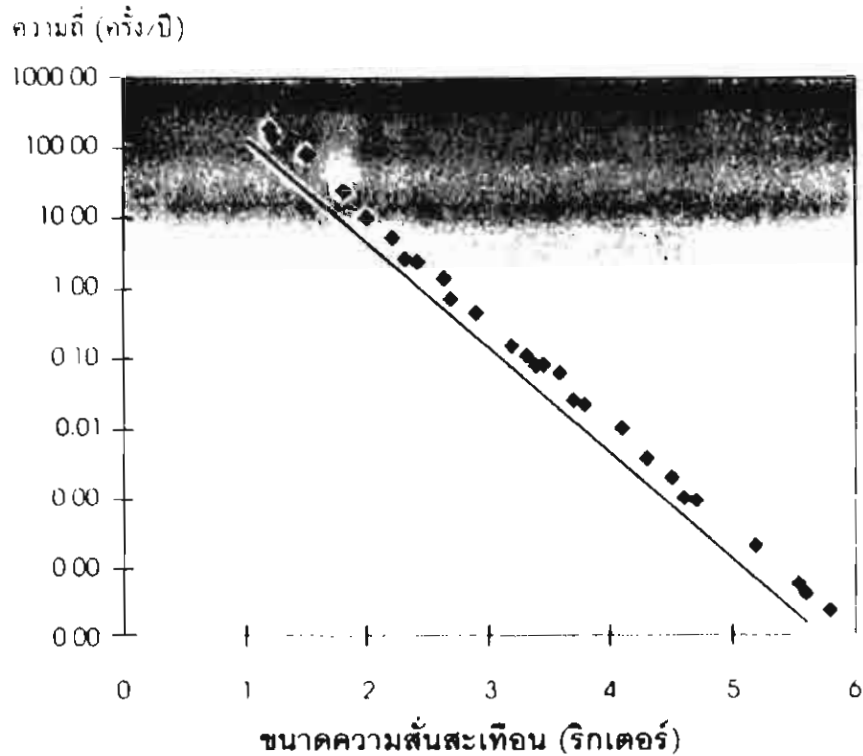
ระบบซับซ้อน ณ สถานะวิกฤติ และกฎยกกำลัง

แนวคิดเกี่ยวกับระบบซับซ้อนอีกประการหนึ่ง ที่ก่อให้เกิดการอภิปรายอย่างกว้างขวางคือ ข้อสันนิษฐานที่ว่า ระบบซับซ้อนที่อยู่ ณ สถานะวิกฤตินั้นจะมีการกระจายตัวของการเกิดเหตุการณ์ต่างๆ ตามกฎที่เรียกว่า “กฎยกกำลัง” (power law) ซึ่งเป็นข้อสังเกตทางสถิติว่า เหตุการณ์เล็กมักเกิดขึ้นบ่อยครั้งกว่าเหตุการณ์ใหญ่ โดยความถี่ในการเกิดเหตุการณ์จะแปรผกผันกับขนาดของเหตุการณ์ยกกำลังค่าหนึ่ง เช่น ความถี่ในการเกิดแผ่นดินไหวจะแปรผกผันกับขนาดของแผ่นดินไหวเมื่อวัดตามมาตราริกเตอร์ (Richter scale) ยกกำลังประมาณ 1.9 เป็นต้น (ดูรูปที่ 2)⁷

⁵ ในทางอุณหพลศาสตร์ (thermodynamics) ระบบยังแบ่งออกเป็นระบบโดดเดี่ยว (isolated system) ซึ่งไม่สามารถแลกเปลี่ยนมวลสารและพลังงานกับสิ่งแวดล้อมภายนอกได้ และระบบปิด (closed system) ซึ่งไม่สามารถแลกเปลี่ยนมวลสารกับสิ่งแวดล้อมภายนอกได้ แต่สามารถแลกเปลี่ยนพลังงานได้

⁶ ที่ผ่านมา มีผู้เสนอว่าเราสามารถวัดความซับซ้อนของระบบได้จาก เอนโทรปี (entropy) ความลึกเชิงตรรก (logical depth) หรือปริมาณสารสนเทศ (information content) เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันยังไม่มีเครื่องวัดความซับซ้อนของระบบที่เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป

⁷ ในวิชาเศรษฐศาสตร์ มีกฎในทำนองเดียวกันที่เรียกว่า “กฎของพาเรโต” (Pareto Law)



รูปที่ 2 : กฎยกกำลังในการเกิดแผ่นดินไหว

1	2	0	2	3
2	3	2	3	0
1	2	3	3	2
3	1	3	2	1
0	2	2	1	2

1	2	0	2	3
2	3	2	3	0
1	2		3	2
3	1	3	2	1
0	2	2	1	2

1	2	0	2	3
2	3	2	3	0
1	3	2		2
3	1		2	1
0	2	2	1	2

1	2	0	2	3
2	3	2		0
1	3	2	0	3
3	2	0		1
0	2	3	1	2
1	2	0	3	3
2	3		0	1
1	3	2	2	3
3	2	1	0	2
0	2	3	2	2
1	2	1	3	3
2		0	1	1
1	3	3	2	3
3	2	1	0	2
0	2	3	2	2
1	3	1	3	3
3	0	1	1	1
1		3	2	3
3	2	1	0	2
0	2	3	2	2
1	3	1	3	3
3	1	1	1	1
2	0		2	3
3	3	1	0	2
0	2	3	2	2
1	3	1	3	3
3	1	2	1	1
2	1	0	3	3
3	3	2	0	2
0	2	3	2	2

รูปที่ 3 : แบบจำลองกองทราย ภาพนี้แสดงการเกิดการถล่มหลายของกองทรายขนาดเล็กกองหนึ่ง โดยมีลำดับการเกิดเหตุการณ์จากซ้ายไปขวา การถล่มหลายของกองทรายนี้เกิดจากการที่มีเม็ดทรายหล่นใส่กองทรายตำแหน่งที่มีความสูง 3 หน่วยที่อยู่กลางของภาพแรก แล้วทำให้เกิดการถล่มหลายของกองทรายต่อเนื่องไป 7 ครั้ง โดยมีจำนวนเม็ดทรายที่เกี่ยวข้อง 9 เม็ด (ขนาดของการถล่มหลายคือ 9)

ตัวอย่างแบบจำลองที่มักใช้อธิบายปรากฏการณ์ดังกล่าวคือ “แบบจำลองกองทราย” (sand pile model) ในรูปที่ 3 ซึ่งสมมติว่า มีกองทรายเล็กๆ กองหนึ่งอยู่บนโต๊ะรูปร่างสี่เหลี่ยมจัตุรัส เมื่อเราโปรยเม็ดทรายเข้าไปในกองที่ละเม็ดจากเบื้องบน กองทรายนั้นก็ค่อยๆ สูงขึ้นเรื่อยๆ และมีความสูงแตกต่างกันในแต่ละส่วนของกอง ในตอนแรก การโปรยเม็ดทรายเพิ่มเข้าไป ยังจะไม่ทำให้เกิดความเปลี่ยนแปลงมากนัก เช่น อาจมีการถล่มทลายของกองทรายเพียงเล็กน้อยหรือไม่มีอะไรเกิดขึ้นเลย จนกระทั่งเมื่อบางส่วนของกองทรายที่ได้รับเม็ดทรายมากกว่าส่วนอื่นมีความสูงเกินกว่าขนาดที่มันจะสามารถรับน้ำหนักไว้ได้ กองทรายส่วนนั้นก็จะถล่มทลายลงมา โดยทรายจากการถล่มทลายจะกระจายไปยังส่วนอื่นของกองทรายที่อยู่รอบๆ จุดนั้น ซึ่งอาจทำให้ส่วนที่อยู่รอบๆ มีความสูงเกินกว่าระดับที่มันจะสามารถแบกรับไว้ได้ จึงถล่มทลายและทำให้ทรายกระจายไปอยู่รอบๆ อีกเป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ ตามแบบจำลองนี้ การถล่มทลายส่วนใหญ่จะจบลงอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตาม ในบางครั้งการถล่มทลายครั้งใหญ่ (avalanche) ซึ่งหมายถึงการถล่มทลายเป็นทอดๆ เป็นเวลานานนั้น อาจเกิดขึ้นได้เช่นกัน โดยความถี่ของการถล่มทลายขนาดต่างๆ จะเป็นไปตามขนาดของ “กฎยกกำลัง” ดังที่กล่าวถึงข้างต้น

กองทรายเป็นตัวอย่างของระบบซับซ้อนที่เป็นระบบเปิดที่แสดงการเปลี่ยนสถานะ ในตอนแรก การเพิ่มทรายลงในกองทรายยังไม่ทำให้เกิดการพังทลายเนื่องจากกองทรายอยู่ในสถานะที่เป็นระเบียบ หรือ “สถานะก่อนวิกฤต” (sub-critical state) ต่อมาเมื่อกองทรายมีระดับสูงขึ้นจนเข้าสู่ “สถานะวิกฤต” (critical state) การเพิ่มเม็ดทรายเพียงเม็ดเดียวเข้าสู่ระบบอาจทำให้เกิดการถล่มทลายเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องได้ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากทรายส่วนหนึ่งอาจจะกระเด็นออกนอกโต๊ะไปได้ กองทรายจึงไม่เข้าสู่ “สถานะเกินวิกฤต”

(super critical state) ซึ่งเป็นสถานะที่การเพิ่มเม็ดทรายเข้าสู่ระบบเพียงหนึ่งเม็ดจะทำให้เกิดการถล่มทลายต่อเนื่องครั้งใหญ่เสมอ

การที่เราพบหลักฐานว่า เหตุการณ์ในธรรมชาติมักแสดงการเปลี่ยนแปลงที่มีความถี่ในการเกิดตามกฎยกกำลังดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ทำให้นักวิทยาศาสตร์กลุ่มหนึ่งสันนิษฐานว่า ระบบธรรมชาติที่เป็นระบบเปิดมีแนวโน้มที่จะผลักดันตัวเองให้เข้าสู่สถานะวิกฤต (self-organized criticality) เช่นเดียวกับกองทราย อย่างไรก็ตาม ความเชื่อนี้ยังต้องอาศัยการพิสูจน์ทางวิทยาศาสตร์ต่อไปอีก

ระบบซับซ้อนแบบปรับตัวและแบบไม่ปรับตัว

เราอาจแบ่งระบบซับซ้อนตามความสามารถในการปรับตัวของมันเข้ากับสิ่งแวดล้อมออกเป็นสองพวก คือ ระบบซับซ้อนแบบไม่ปรับตัว (complex non-adaptive system) และระบบซับซ้อนแบบปรับตัว (complex adaptive system) ตัวอย่างของระบบซับซ้อนแบบไม่ปรับตัวได้แก่ ระบบซับซ้อนที่ไม่มีชีวิตทั้งหลาย เช่น กองทรายในระบบเหล่านี้ ลักษณะอุบัติบังเกิดจะมีลักษณะคงเดิมไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา หรือการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม

ส่วนระบบซับซ้อนแบบปรับตัวซึ่งเป็นระบบซับซ้อนที่ได้รับความสนใจจากนักวิทยาศาสตร์เป็นอย่างมากนั้น มักเป็นระบบที่เกี่ยวข้องกับสิ่งมีชีวิต ตัวอย่างของระบบซับซ้อนแบบปรับตัวได้แก่ ระบบที่เป็นส่วนประกอบย่อยของสิ่งมีชีวิต เช่น สมอ และระบบภูมิคุ้มกันโรคของร่างกายมนุษย์ ตลอดจนระบบที่มีสิ่งมีชีวิตเป็นองค์ประกอบ เช่น ระบบนิเวศน์ หรือระบบเศรษฐกิจ

นักวิทยาศาสตร์ส่วนใหญ่มีความเชื่อว่า ระบบซับซ้อนแบบปรับตัวสามารถปรับตัวได้โดยการเปลี่ยนแบบแผนของปฏิกริยาระหว่างส่วนประกอบย่อยๆ ของระบบซับซ้อนนั้น เช่น สมอมนุษย์

สามารถปรับตัวได้จากการเปลี่ยนแปลงแบบแผนในการ กระตุ้นหรือยับยั้งซึ่งกันและกันของเซลล์สมอง เป็นต้น การเปลี่ยนแปลงแบบแผนของปฏิภณระหว่าง ส่วนประกอบย่อยๆ ของระบบซับซ้อนนี้เองที่

ทำให้พฤติกรรมหรือลักษณะผุดบังเกิดของระบบ ซับซ้อนนั้นเปลี่ยนไป ความสามารถในการปรับตัว นี้เองที่ทำให้สิ่งมีชีวิตต่างๆ สามารถอยู่รอดในสิ่งแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาได้

วิธีการศึกษาระบบซับซ้อน

นอกจากการศึกษาระบบซับซ้อนจะทำให้ เราเข้าใจระบบในธรรมชาติ เช่น ระบบสมอง ระบบจราจร หรือระบบเศรษฐกิจในแง่มุมใหม่ ซึ่งแตกต่างจากเดิมแล้ว มันยังให้แนวทาง (methodology) ใหม่ในการศึกษาธรรมชาติแก่ เราแทนการจำแนกแจกแจงธรรมชาติออกเป็น ส่วนย่อยๆ อีกด้วย

วิธีการในการศึกษาระบบซับซ้อนที่ได้รับความนิยมที่สุดวิธีหนึ่งคือ การสังเคราะห์หรือ สร้างระบบซับซ้อนขึ้นจากส่วนประกอบย่อยๆ ของมัน นักวิทยาศาสตร์จึงเรียกศาสตร์แห่ง ระบบซับซ้อนว่าเป็น “ศาสตร์เชิงสังเคราะห์” (synthetic science) เพื่อให้เห็นความแตกต่าง จากการศึกษาธรรมชาติแบบจำแนกแจกแจง หรือ “ศาสตร์ในเชิงวิเคราะห์” (analytic science) อันเป็นแนวทางหลักในการศึกษาธรรมชาติ ที่ ผ่านมา เครื่องมือของศาสตร์เชิงสังเคราะห์ใน การศึกษาระบบซับซ้อน โดยเฉพาะระบบซับซ้อน ที่มีส่วนประกอบมากมายคือ “การจำลองด้วย คอมพิวเตอร์” (computer simulation)

ตามแนวทางการศึกษาศาสตร์ในเชิงสัง- เเคราะห์นี้ ความหมายของ “คำอธิบาย” (explanation) ของข้อสันนิษฐาน (hypothesis) หรือ ทฤษฎี (theory) หนึ่งๆ จะแตกต่างจากคำอธิบาย ในการศึกษาศาสตร์เชิงวิเคราะห์ กล่าวคือ ในการ

ศึกษาศาสตร์เชิงวิเคราะห์ เราจะกล่าวว่า ข้อ สันนิษฐานหรือทฤษฎีหนึ่งๆ สามารถ “อธิบาย” ระบบในธรรมชาติได้ก็ต่อเมื่อเราสามารถแยก ระบบนั้นออกเป็นส่วยย่อยๆ แล้ว ใช้ทฤษฎีที่เป็น ที่ยอมรับกันในขณะนั้นอธิบายส่วยย่อยๆ ต่อไป ส่วนในการศึกษาศาสตร์เชิงสังเคราะห์ เราจะ กล่าวว่า ข้อสันนิษฐานหรือทฤษฎีหนึ่งๆ สามารถ “อธิบาย” ระบบในธรรมชาติได้ก็ต่อเมื่อเราสามารถ “สังเคราะห์” ระบบซับซ้อนที่ต้องการศึกษาจาก ข้อสันนิษฐานหรือทฤษฎีนั้น หรือเมื่อข้อสันนิษ- ฐานหรือทฤษฎีนั้นเพียงพอ (sufficient) ในการ สังเคราะห์ระบบซับซ้อน นั้นเอง

ยกตัวอย่างเช่น การบินเป็นฝูงของนกโดย ไม่มีการสั่งการจากนกตัวใดตัวหนึ่ง สามารถ อธิบายได้จากข้อสันนิษฐานที่ว่า นกแต่ละตัวบิน ตามกฎง่ายๆ 3 ข้อนี้คือ

- ให้นกแต่ละตัวพยายามรักษาระยะห่าง ขึ้นต่ำค่าหนึ่งกับนกตัวอื่นๆ และสิ่งกีด ขวางไว้
- ให้นกแต่ละตัวพยายามบินด้วยความ เร็วที่ใกล้เคียงกับนกตัวอื่นที่อยู่ข้างๆ
- ให้นกแต่ละตัวพยายามบินไปสู่จุดศูนย์ กลางมวล (center of mass) ของกลุ่ม นกที่อยู่ข้างๆ

เมื่อใช้แบบคอมพิวเตอร์จำลองการบินของ
นกตามกฎการบิน 3 ข้อนี้ เราจะพบว่า การบิน
เป็นฝูงเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นเอง นอกจากนี้ การ
บินเป็นฝูงดังกล่าวยังมีความยืดหยุ่นต่อสภาพ
แวดล้อมเป็นอย่างดี กล่าวคือ ฝูงนกสามารถ
หลบหลีกสิ่งกีดขวางได้โดยแยก

ออกเป็นฝูงย่อยๆ ก่อนที่
จะกลับมารวมเข้าด้วย
กันใหม่ และสามารถ
กลับมาบินรวมกัน
เป็นฝูงได้อีกเมื่อเกิด
ลมพายุ เป็นต้น

ส่วนการเกิดรถติด
โดยไม่มีสิ่งกีดขวางใน
ถนนนั้น สามารถสังเคราะห์
ได้จากกฎในการขับรถยนต์ ดัง
ต่อไปนี้คือ

- รถแต่ละคันมีความเร็วสูงสุดและ
ต่ำสุดแตกต่างกัน
- รถแต่ละคันจะเร่งความเร็วขึ้นเมื่อห่าง
จากคันที่อยู่ข้างหน้ามาก
- รถแต่ละคันจะชะลอความเร็วลงเมื่อเข้า
ใกล้รถคันหน้า

ในการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ พบว่า ในช่วง
แรก ความเร็วในการไหลเวียนของการจราจร
(throughput) ซึ่งหมายถึงปริมาณรถที่วิ่งผ่าน
จุดๆ หนึ่งในช่วงเวลาหนึ่ง จะแปรโดยตรงกับความ
หนาแน่นของจำนวนรถในถนน อย่างไรก็ตาม
เมื่อความหนาแน่นของรถในถนนเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ
จนถึงค่าหนึ่งซึ่งเป็น “ค่าวิกฤต” (critical value)
การจราจรก็จะเริ่มติดขัด เมื่อการจราจรเริ่มติดขัด
ความเร็วในการไหลเวียนของการจราจรก็จะไม่
แปร โดยตรงกับความหนาแน่นของจำนวนรถใน
ถนนอีกต่อไป นั่นคือ ระบบมีการเปลี่ยนสถานะ

ส่วนในกรณีของเมืองที่มีคนหลายเชื้อชาติ
พบว่า เราสามารถสังเคราะห์การกระจุกตัวในการ
ตั้งถิ่นฐานของคนผิวสีต่างๆ กันได้โดยง่าย
คือ

- ถ้าพบว่า เพื่อนบ้านของคนอย่างน้อยครึ่ง
หนึ่งเป็นคนผิวสีเดียวกันแล้ว ไม่ต้องย้าย
บ้าน

- ถ้าพบว่า เพื่อนบ้านของคนเกิน
กว่าครึ่งหนึ่งเป็นคน ต่างสี
ผิวแล้ว ให้ย้ายบ้าน
ไปสู่ที่ว่างที่ใกล้
ที่สุด ที่มี
เพื่อนบ้าน
อย่างน้อย
ครึ่งหนึ่ง
เป็นคนผิว
สีเดียวกัน

จากกฎ
ข้างต้นจะเห็น
ว่า ชาวเมืองนี้ไม่
ใช้คนที่เหยียดผิวมากนัก

กล่าวคือ คนแต่ละสีผิวมีความอดทนในการอยู่
ร่วมกับเพื่อนบ้านต่างสีผิวถึงเกือบครึ่งหนึ่ง
อย่างไรก็ตาม จากการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์
การกระจุกตัวในการตั้งถิ่นฐานตามสีผิว ก็สามารถ
เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว จนในที่สุด คนที่สี
ผิวต่างกันแทบจะอยู่แยกจากกันโดยสิ้นเชิง

ส่วนการสังเคราะห์สมอง หรือระบบเศรษฐกิจ
ด้วยวิธีการในลักษณะเดียวกันนั้น ยังเป็นสิ่งที่
ยากเกินไปในปัจจุบัน อย่างไรก็ตาม นักวิทยา-
ศาสตร์ก็สามารถสังเคราะห์ลักษณะที่เกิดขึ้น
บางประการของระบบดังกล่าวได้บ้างแล้ว ดังที่
จะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป



แนวความคิดเรื่องระบบซับซ้อน กับศาสตร์สาขาต่างๆ

แนวความคิดเรื่องระบบซับซ้อนเกี่ยวข้องกับ
กับศาสตร์ต่างๆ มากมายหลายสาขาในลักษณะ
ของสหวิทยาการ (interdisciplinary study) ใน
ด้านหนึ่ง การวิจัยในสาขาต่างๆ ในอดีต ทำให้
เกิดแนวความคิดพื้นฐานเกี่ยวกับระบบซับซ้อน
เช่น การผุดบังเกิด หรือการป้อนกลับแบบบวก
และแบบลบ ในทางกลับกัน การวิจัยเรื่องระบบ
ซับซ้อนได้เริ่มให้แนวความคิดใหม่ๆ ในการศึกษา
ศาสตร์สาขาต่างๆ ในปัจจุบัน อย่างไรก็ตาม
เนื่องจากแนวความคิดเรื่องระบบซับซ้อนคาบ
เกี่ยวกับศาสตร์ต่างๆ มากมายหลายสาขา จึงเป็น
ไปไม่ได้ที่จะกล่าวถึงความเกี่ยวข้องของมันกับ
ศาสตร์สาขาต่างๆ ทั้งหมด ในหัวข้อนี้ผู้เขียนจะ
ขอยกตัวอย่างของแนวความคิดเรื่องระบบซับซ้อน
กับศาสตร์บางสาขาเท่านั้น

การก่อตัวของแบบแผนในวัสดุ

ในวิชาฟิสิกส์ว่าด้วยสมบัติของสารการก่อตัว
ของแบบแผน (pattern formation) ในวัสดุ เช่น
การที่เหล็กหรือโลหะอื่นในกลุ่มทรานสิชัน
(transition group) ในสภาวะที่อุณหภูมิไม่
สูงเกินไปสามารถแสดงความเป็นแม่เหล็กออก
มาตัวเอง (spontaneous magnetization) โดย
ไม่จำเป็นต้องได้รับการเหนี่ยวนำจากภายนอก
เป็นปรากฏการณ์ที่ได้รับความสนใจจากนัก
ฟิสิกส์เป็นอย่างมาก

ความเป็นแม่เหล็กของก้อนโลหะเหล่านี้เกิด
จากความเป็นแม่เหล็กของส่วนประกอบย่อยๆ
ของมันที่เรียกว่า “ไดโพล” (dipole) หรือ “สปิน”
(spin) โดยปรกติ ไดโพลหนึ่งๆ สามารถมี

สถานะทางแม่เหล็กได้ต่างๆ กัน เช่นอาจมี
สถานะเป็นแม่เหล็กที่ชี้ขึ้น หรือชี้ลง หากความ
เป็นแม่เหล็กของไดโพลเหล่านี้หักล้างกันเองไป
จนหมด ก้อนโลหะนั้นก็จะไม่แสดงความเป็นแม่
เหล็กออกมา นอกจากจะได้รับการเหนี่ยวนำจาก
สนามแม่เหล็กภายนอกซึ่งจะทำให้ไดโพลในทั้ง
หลายจัดเรียงตัวกันตามสนามแม่เหล็กภายนอก
อย่างไรก็ตาม ในบางกรณี แม้ว่าจะไม่มีการ
เหนี่ยวนำจากภายนอก นักฟิสิกส์ก็พบว่าก้อน
โลหะนั้นอาจแสดงความเป็นแม่เหล็กออกมาได้
จากการก่อตัวขึ้นของกลุ่มไดโพลในตำแหน่งใกล้เคียง
กันขึ้นเป็น “โดเมนแม่เหล็ก” (ferromagnetic domain) ซึ่งหมายถึง บริเวณในสารที่
ไดโพลทั้งหลายต่างเรียงตัวในทิศทางเดียวกัน
นั่นเอง

แบบจำลองไอซิง (Ising model) เป็นแบบ
จำลองพื้นฐานที่พยายามอธิบายปรากฏการณ์
ดังกล่าวในรูปแบบที่ง่ายที่สุด แบบจำลองดังกล่าว
สมมติว่า ทิศทางแม่เหล็กของไดโพลมีสอง
ทิศ โดยไดโพลที่อยู่ใกล้กันสามารถมีอันตรกิริยา
ระหว่างกัน เหนี่ยวนำกันให้ชี้ไปในทิศทางเดียวกัน
ได้ เนื่องจากการชี้ไปในทิศทางเดียวกันจะลด
พลังงานภายในระบบให้ต่ำลง (energy minimization) การเกิดขึ้นของโดเมนแม่เหล็กใน
ลักษณะดังกล่าวทำให้ผลรวมของสนามแม่เหล็ก
ในก้อนโลหะนั้นไม่เป็นศูนย์ หรือทำให้ก้อนสาร
นั้นกลายเป็นแท่งแม่เหล็กอ่อนๆ นั่นเอง⁸

⁸ Giorgio Careri, “Order and Disorder in Matter”, Benjamin Cummings, 1984.

รูปที่ 4 : กฎในการจำลองการสร้างตัวเองของเซลล์สิ่งมีชีวิต

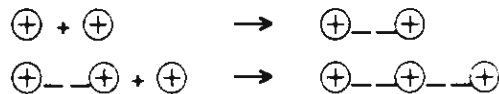
การเกิดปฏิกิริยาเคมีสามารถแทนได้ด้วยกฎ 3 ข้อต่อไปนี้

1. การเกิดโมเลกุลชนิดที่สอง :



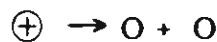
(สารชนิดแรกสองโมเลกุลสามารถจับตัวกันเป็นสารชนิดที่สองได้ หากมีแคตะลิสต์ช่วยกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยา)

2. การจับตัวกันเป็นสาย:



(สารชนิดที่สองสามารถเชื่อมต่อกันเป็นสาย ซึ่งมีความยาวไม่จำกัดได้)

3. การแยกสลาย:



(โมเลกุลของสารชนิดที่สองสามารถย่อยสลายกลับมาเป็นโมเลกุลของสารชนิดแรกได้)

นอกจากนี้ โมเลกุลทั้งหลายยังสามารถเคลื่อนที่ไปมาได้ตามกฎดังต่อไปนี้

4. $\bigcirc$ สามารถเคลื่อนที่ไปยังที่ว่างได้ แต่จะไม่สามารถเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่มีโมเลกุลอื่นอยู่ได้
5. $\bullet$ และ $\oplus$ สามารถเคลื่อนที่ไปแทนที่ $\bigcirc$ ได้ โดยดันให้ $\bigcirc$ ไปอยู่ที่ว่างที่ติดจากตำแหน่งเดิม นอกจากนี้ $\bullet$ ยังสามารถแทนที่ $\oplus$ ได้ในลักษณะเดียวกัน
6. $\bullet$ และ $\oplus$ สามารถสลับที่กับ $\bigcirc$ ได้ กล่าวอีกนัยหนึ่ง $\bullet$ และ $\oplus$ สามารถเคลื่อนที่ผ่าน $\bigcirc$ ได้
7. เฉพาะ $\bigcirc$ เท่านั้น ที่สามารถผ่านสายของ $\oplus$ ไปยังตำแหน่งที่ว่างทางด้านหลังได้ กฎข้อนี้เป็นการจำลองการที่ผนังเซลล์ (cell membrane) อนุญาตให้สารบางประเภทเท่านั้น ผ่านไปได้ (semi-permiable)
8. $\oplus$ ที่ต่อกันเป็นสายไม่สามารถเคลื่อนที่ได้

กำเนิดของเซลล์ชีวิต

ในช่วงต้นของทศวรรษ 1970 ซึ่งเป็นช่วงเวลา ที่ทฤษฎีระบบซับซ้อนเพิ่งก่อตัวขึ้น ฟรานซิสโก วาเรลา (Francisco Varela) และคณะ ประสบความสำเร็จในการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เรียก

ว่า “เซลล์อูตาร์ ออโตเมคอน” (cellular automaton) จำลองการเกิดขึ้นของการสร้างตัวเอง (autopoiesis) ของเซลล์สิ่งมีชีวิตจากโมเลกุลที่มีอยู่ตามธรรมชาติ ซึ่งถือว่าเป็นสิ่งที่ไม่มีชีวิต นั่นคือเขาสามารถแสดงให้เห็นว่าชีวิตสามารถผุดบังเกิดขึ้นจากสิ่ง

ไม่มีชีวิต ได้อย่างไร

องค์ประกอบในเซลล์อาร์ออโตเมตตอนที่วาเรลา และคณะใช้ประกอบไปด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) ซึ่งเป็นสารที่ช่วยกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาเคมี และโมเลกุลของสารเคมีอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งเคลื่อนไหวไปมาอย่างสุ่ม โมเลกุลชนิดนี้สามารถจับตัวกันเกิดเป็นโมเลกุลอีกชนิดหนึ่งขึ้นมาได้ นอกจากนี้โมเลกุลที่เกิดขึ้นมาใหม่นี้ยังสามารถต่อเข้าด้วยกันเป็นสายยาว (chain) ได้

รูปที่ 4 แสดงกฎที่วาเรลาและคณะใช้ในการจำลองการเกิดขึ้นของการสร้างตัวเอง ในภาพ ตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี ถูกแสดงด้วยเครื่องหมาย $\ominus$ ส่วนโมเลกุลของสารชนิดแรกซึ่งมีอยู่มากมายถูกแสดงด้วย $\bigcirc$ ส่วนโมเลกุลชนิดที่สอง ซึ่งเกิดจากโมเลกุลชนิดแรก ถูกแสดงด้วย $\oplus$ ในระบบนี้

ในการทดลองของวาเรลา โมเลกุลหนึ่งๆ จะสามารถเคลื่อนที่ไปมา หรือมีปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นได้ตามกฎดังกล่าวข้างต้น ในกรณีที่โมเลกุลสามารถเคลื่อนที่หรือทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นตามกฎหลายข้อได้ในเวลาเดียวกัน กฎในการเคลื่อนที่หรือทำปฏิกิริยานั้น จะถูกคัดเลือกแบบสุ่มตามความน่าจะเป็น (probability) ของกฎแต่ละข้อที่กำหนดไว้ใน การทดลอง

รูปที่ 5 แสดงผลการทดลองครั้งหนึ่ง จากการทดลองซ้ำหลายๆ ครั้ง ซึ่งในครั้งนี้ เซลล์ของสิ่งมีชีวิตสามารถผุดบังเกิดขึ้นมาจากโมเลกุลของสิ่งไม่มีชีวิตได้ การเกิดเซลล์ของสิ่งมีชีวิตในการทดลองดังกล่าว มีขั้นตอนดังนี้

1. ในขั้นตอนที่ 1 ซึ่งเป็นสภาวะดั้งเดิม สิ่งแวดล้อมในบริเวณนั้นเต็มไปด้วย $\bigcirc$ ในทุกตำแหน่ง ยกเว้นตำแหน่งเดียวที่มี $\ominus$ อยู่
2. ในขั้นตอนที่ 2 โมเลกุล $\oplus$ จำนวนมากถูกสร้างขึ้นจาก $\bigcirc$ โดยการกระตุ้นของ $\ominus$ ตามกฎข้อที่ 1 ผู้อ่านควรสังเกตว่า ในขั้นตอนนี้ได้เกิดที่ว่างขึ้นมากมาย จากการที่จำนวน

โมเลกุลของ $\bigcirc$ ลดลง

3. ในขั้นตอนที่ 3 โมเลกุล $\oplus$ ถูกสร้างขึ้นเพิ่มเติมและเริ่มต่อกันเป็นสาย ตามกฎข้อที่ 2
4. ในขั้นตอนที่ 4-5 โมเลกุล $\oplus$ และ สายของมันเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามเวลาในการเกิดปฏิกิริยา
5. ในขั้นตอนสุดท้ายสายของ $\oplus$ เริ่มต่อกันเป็นวงคล้ายผนังเซลล์ ผนังเหล่านี้มีคุณสมบัติที่โมเลกุล $\bigcirc$ สามารถผ่านเข้าออกได้ แต่ $\ominus$ ไม่สามารถผ่านเข้าออกได้ ตามกฎข้อที่ 7 นอกจากนี้ จะเห็นว่าในผนังดังกล่าวมี $\ominus$ จำนวน 1 โมเลกุล และ $\bigcirc$ จำนวน 3 โมเลกุลอยู่ภายใน

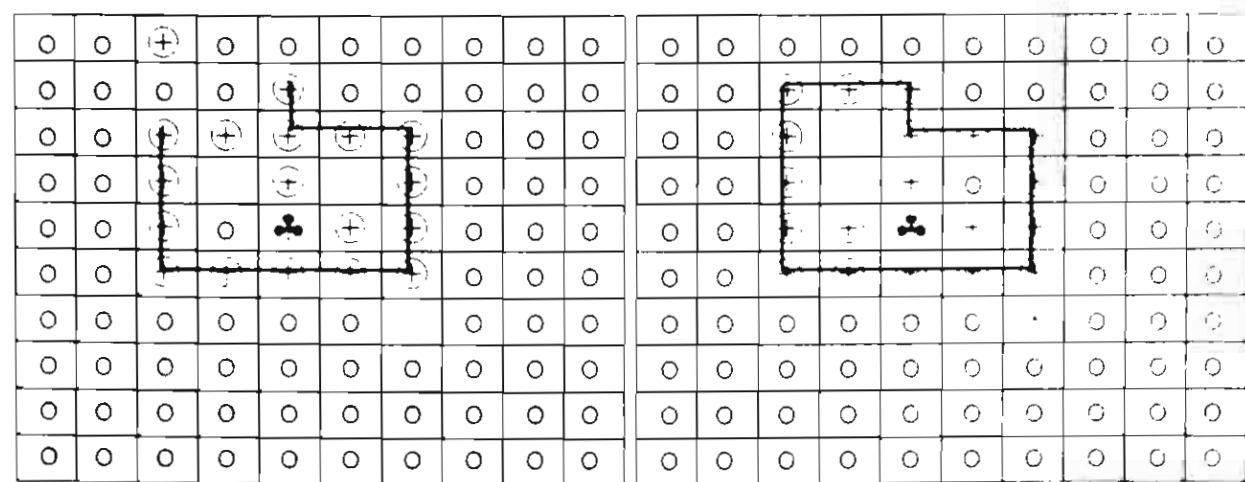
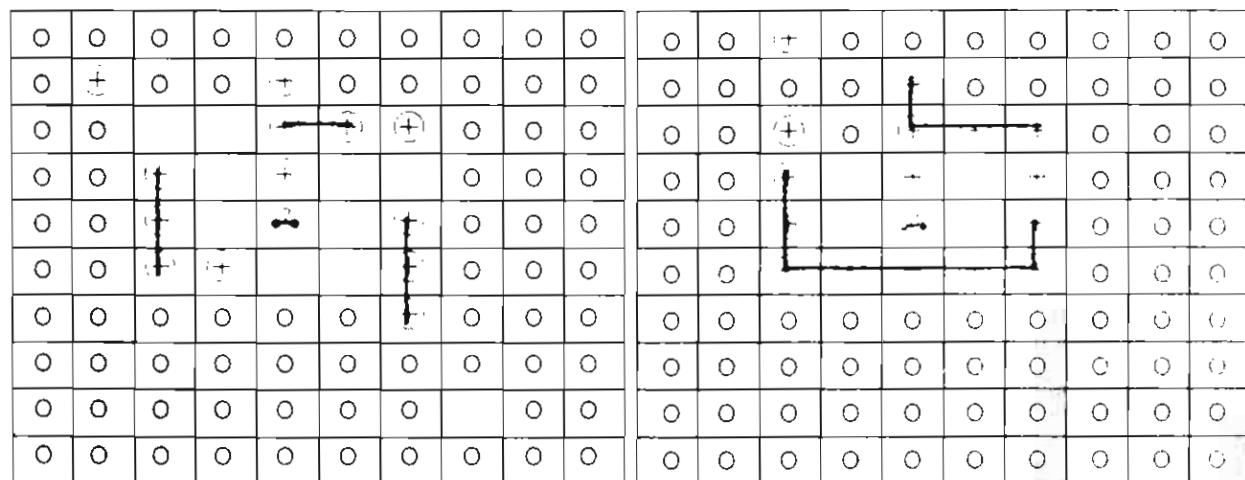
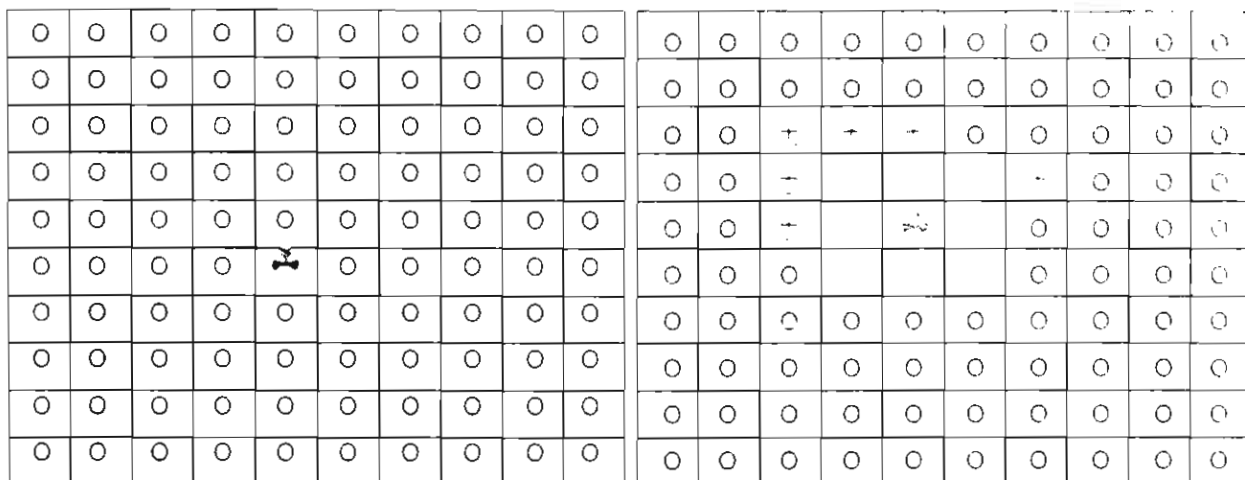
สิ่งที่น่าสนใจก็คือ ในหลายครั้งของการทดลอง ผนังที่เกิดขึ้นเป็นวงดังกล่าวสามารถคงตัวอยู่ได้อย่างมีเสถียรภาพ โดยผนังบางส่วนอาจถูกย่อยสลายไป ตามกฎข้อที่ 3 พร้อมกับการเกิดผนังใหม่ขึ้นมาทดแทน เสถียรภาพของผนังเซลล์จำลองนี้จึงเป็นเสถียรภาพที่ไม่หยุดนิ่ง แต่มีการ “ตาย” และ “เกิด” ทดแทนกันตลอดเวลา ครบเท่าที่อัตราการย่อยสลายยังไม่เร็วไปกว่าการเกิดขึ้นทดแทน การทดลองของวาเรลาจึงแสดงให้เห็นว่า ส่วนประกอบของสิ่งมีชีวิต เช่น ผนังเซลล์สามารถ “ผุดบังเกิด” ขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างโมเลกุลที่เป็นสิ่งไม่มีชีวิตและสามารถคงตัวอยู่ได้อย่างมีเสถียรภาพ

สังคมศาสตร์เชิงสังเคราะห์

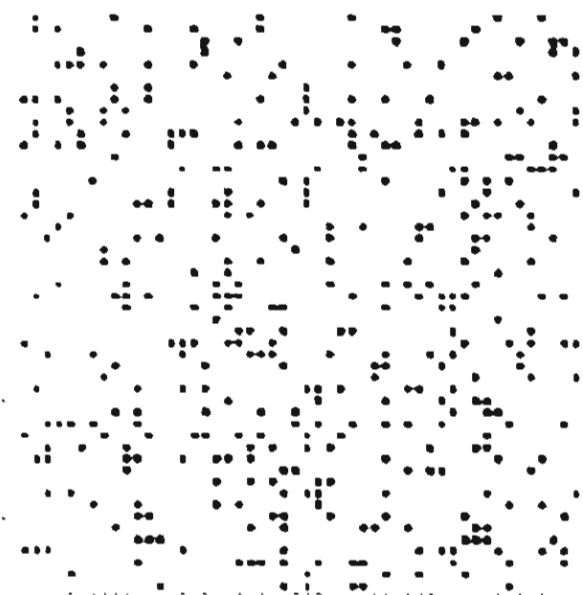
ในหนังสือ “Growing Artificial Societies”⁹ โจชัว เอ็ปสไตน์ (Joshua Epstein) และโรเบิร์ต

⁹Joshua Epstein and Robert Axtell, “Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom up”. The Brookings Institution Press and the MIT Press, 1996

รูปที่ 5 : แบบจำลองการสร้างตัวเองของเซลล์สิ่งมีชีวิต (autopoiesis)



ภาพที่ 4 : แบบจำลองการสร้างตัวเองของเซลล์สิ่งมีชีวิต (autopoiesis) แสดงการเปลี่ยนแปลงของเซลล์สิ่งมีชีวิตจากโมเลกุลของสิ่งมีชีวิต โดยเน้นย้ำถึงการเกิดและการดำรงอยู่จากภายใน จากภาพแรกที่มีเฉพาะสารตั้งต้นและตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี ไปจนถึงภาพสุดท้ายที่โมเลกุลสามารถก่อตัวขึ้นเป็นวง และคงอยู่อย่างเสถียรภาพได้



รูปที่ 6 : ดินแดนน้ำตาล จากภาพพื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 50 หน่วย x 50 หน่วย คือ “ดินแดนน้ำตาล” จุดสีแดงคือสิ่งมีชีวิตซึ่งกระจายอยู่ทั่วไปในพื้นที่ดังกล่าว พื้นที่สีเหลือง คือบริเวณที่มีน้ำตาล โดยส่วนที่เป็นสีเหลืองเข้มหมายถึงบริเวณที่มีน้ำตาลหนาแน่นมาก

เอกซ์เทล (Robert Axtell) ได้ทดลองสร้างระบบสังคมจำลอง (artificial society) ที่เขาเรียกว่า “ดินแดนน้ำตาล” (Sugarscape) ดังรูปที่ 6

ใน “ดินแดนน้ำตาล” น้ำตาลได้กระจายตัวอย่างไม่สม่ำเสมอในพื้นที่รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 50 x 50 ช่อง ความอุดมสมบูรณ์ของพื้นที่น้ำตาลเหล่านี้เป็นอาหารของสิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่งที่อาศัยอยู่ในดินแดนดังกล่าว สิ่งมีชีวิตนี้แต่ละตัวมีความแตกต่างกันเช่นมีสายตาสั้นหรือยาวไม่เท่ากัน และมีอัตราการเผาผลาญน้ำตาล (metabolism rate) แตกต่างกันเป็นต้น สิ่งมีชีวิตเหล่านี้สามารถเคลื่อนที่ไปมาในช่องต่างๆ ได้ ตามกฎการเคลื่อนที่ง่ายๆ เช่น

- มองไปรอบๆ ตำแหน่งที่อยู่ปัจจุบัน ไปทั้งสี่ทิศให้สุทธะระทางที่มองเห็นได้ ตามขีดจำกัดของสายตา หากตำแหน่งที่ไม่มีสิ่งมีชีวิตตัวอื่นอาศัยอยู่ซึ่งมีน้ำตาลอยู่มากที่สุด ไปที่นั่นแล้วกินหรือเก็บน้ำตาลเสียให้หมด

ในทำนองเดียวกัน พื้นที่ในแดนน้ำตาลแต่ละช่องก็มีกฎในการเปลี่ยนแปลงไปตามกฎง่ายๆ เช่น

- ภายหลังถูกสิ่งมีชีวิตเก็บไป ให้น้ำตาลงอกกลับมาใหม่ ด้วยอัตราเร็วคงที่ค่าหนึ่ง ซึ่งขึ้นกับสภาพอากาศในจุดนั้น จนมากเต็มที่ตามระดับความอุดมสมบูรณ์ของพื้นที่ที่ตำแหน่งนั้น

หรือ กฎการเปลี่ยนฤดูกาล

- ฤดูหนาวและฤดูร้อนในแต่ละพื้นที่ที่จะเกิดขึ้นสลับกันไปมา โดยแต่ละฤดูจะมีระยะเวลาานค่าหนึ่ง ในฤดูร้อน การงอกกลับมาของน้ำตาลจะสูงกว่าในฤดูหนาวด้วยค่าค่าหนึ่ง

เมื่อนักวิจัยทั้งสองคนทดลองจำลองการเกิดฤดูกาลในแดนน้ำตาลตามกฎดังกล่าวข้างต้น เขาพบว่าปรากฏการณ์ที่น่าสนใจหลายอย่างได้ผุดบังเกิดขึ้น เช่น เมื่อมีการเปลี่ยนฤดู สิ่งมีชีวิตจะพากันอพยพจากพื้นที่เขตหนาวไปยังพื้นที่เขตร้อนซึ่งอุดมสมบูรณ์กว่า และจะอพยพกลับมาที่เดิมอีกครั้งเมื่อพื้นที่นั้นกลายเป็นฤดูร้อน คล้ายกับการอพยพของฝูงนก ที่กล่าวว่า การอพยพของฝูงสิ่งมีชีวิตดังกล่าวเป็นการ “หลุดบังเกิด” ของระบบก็เนื่องจากมันเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นโดยอัตโนมัติจากการอพยพของสิ่งมีชีวิตแต่ละตัว โดยไม่มีการนัดหมายกัน หรือไม่มีการออกคำสั่งจากสิ่งมีชีวิตตัวใดตัวหนึ่ง ที่น่าสนใจอีกประการหนึ่งก็คือ สิ่งมีชีวิตบางตัวที่มีสายตาสั้นและมีอัตราการเผาผลาญน้ำตาลต่ำ สามารถอยู่ในเขตหนาวได้ โดยไม่จำเป็นต้องอพยพไปไหน แต่ใช้วิธี “จำศีล” (hibernate) อยู่เฉยๆ เพื่อรอการกลับมาของฤดูร้อน

ในการทดลองอีกครั้งหนึ่ง เอิปสไคน์และเอกซ์เทลได้ทดลองเพิ่ม “เครื่องเทศ” ซึ่งเป็นอาหารอีกอย่างหนึ่งเข้าไปในระบบ โดยกำหนดให้สิ่งมีชีวิตมีความจำเป็นที่จะต้องบริโภคทั้งน้ำตาลและเครื่องเทศ และอนุญาตให้สิ่งมีชีวิตสามารถเหล่านี้แลกเปลี่ยนอาหารทั้งสองชนิดระหว่างกันได้ หากมีอาหารชนิดใดชนิดหนึ่งมากเกินไป และอีกชนิด

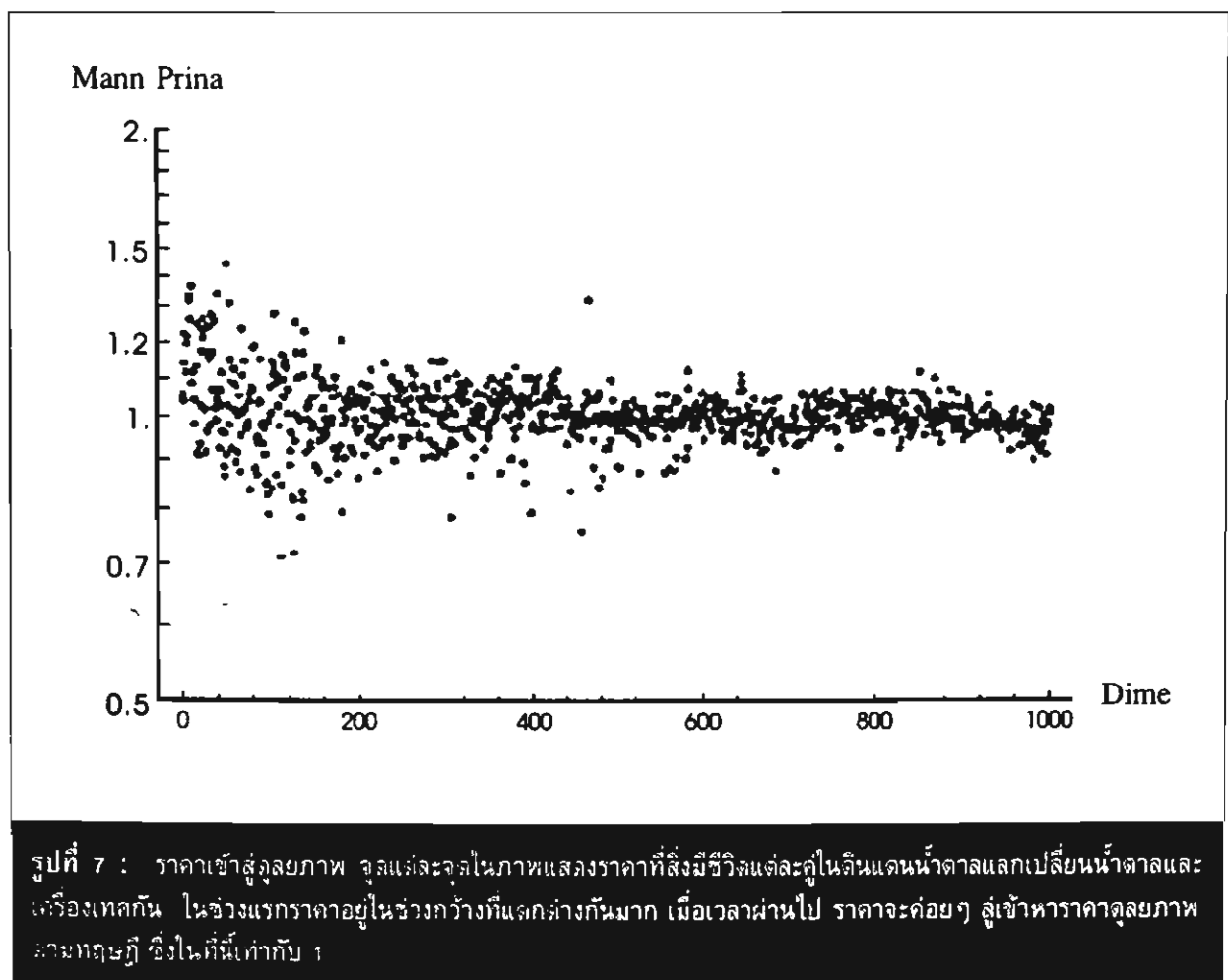
หนึ่งน้อยเกินไป ตามกฎง่าย ๆ ดังต่อไปนี้

- จมมองไปรอบๆ ช่องที่อยู่ปัจจุบัน หากพบสิ่งมีชีวิตตัวอื่นที่อยู่ข้างๆ ที่มีความต้องการน้ำตาลหรือเครื่องเทศแตกต่างจากตน จงแลกเปลี่ยนน้ำตาลหรือเครื่องเทศส่วนเกินของตนเอง เพื่อให้ได้น้ำตาลหรือเครื่องเทศที่ตนกำลังขาดแคลน

สิ่งที่เราพบก็คือ “ตลาด” (market) ของสังคมบุรพกาล (primitive society) ได้ผุดบังเกิดขึ้น ในดินแดนแห่งน้ำตาลและเครื่องเทศดังกล่าว โดยการแลกเปลี่ยนอาหารทั้งสอง ได้ทำให้เกิดอัตราแลกเปลี่ยน (exchange rate) ระหว่างสินค้าทั้งสองชนิด ซึ่งเราอาจเรียกได้ว่าเป็น “ราคา” (price) ของอาหารชนิดหนึ่ง เมื่อใช้สินค้าอีกชนิดหนึ่งเป็นเงิน โดยราคาที่เกิดขึ้นนี้จะค่อยๆ ลู่เข้าหา (converge) ราคาตามทฤษฎีเศรษฐศาสตร์ ดังรูปที่ 7 ซึ่งนับว่าเป็นการค้นพบที่น่าสนใจมาก

การประยุกต์ใช้ในทางเศรษฐศาสตร์

อันที่จริงแล้ว ในวิชาเศรษฐศาสตร์มีแนวความคิดที่สอดคล้องกับเรื่อง “การผุดบังเกิด” อยู่ไม่น้อย ผู้ที่เคยศึกษาเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นคงจะคุ้นเคยกับแนวความคิดเรื่อง “มือที่มองไม่เห็น” (the invisible hand) ของ อัดัม สมิธ (Adam Smith) สาละสำคัญของแนวความคิดนี้ก็คือ ในระบบตลาดที่แข่งขันเสรี ซึ่งผู้ที่เข้าร่วมในการซื้อหรือขายสินค้าแต่ละคน พยายามทำกำไรของตนจากการซื้อขายให้มากที่สุด (profit maximization) นั้น จะมีผลให้เกิดระบบตลาดที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งหมายความว่า ตลาดจะจัดสรรทรัพยากรให้เกิดประโยชน์รวมสูงสุดแก่ผู้ซื้อและผู้ขายในตลาดนั้น ทั้งที่ไม่ได้มีใครคอยวางแผนว่าให้ใครซื้อหรือขายสินค้าชนิดไหนในปริมาณหรือราคาเท่าไรเลย นั่นคือระบบตลาดที่มีประสิทธิภาพ (efficient market)



ผู้คิดบังเกิดขึ้นจากพฤติกรรมแบบเห็นแก่ตัวของผู้ซื้อและผู้ขายแต่ละคนนั่นเอง

ในวิชาทฤษฎีเกมส์ (game theory) ปัญหา “ความหนักใจของนักโทษ” (prisoners' dilemma) เป็นปัญหาที่เป็นที่รู้จักกันดีปัญหาหนึ่ง ในปัญหานี้ นักโทษสองคน ซึ่งสมรู้ร่วมคิดกันในการก่ออาชญากรรมถูกจับได้ โดยถูกขังในห้องขังคนละห้องและถูกตำรวจสอบปากคำแยกจากกัน ความหนักใจของนักโทษแต่ละคนเกิดขึ้นจากทางเลือกที่มีอยู่สองทางคือ จะยอมให้การตามจริงหรือจะปากแข็งปฏิเสธ คำกล่าวหา ในกรณีที่ทั้งคู่ปากแข็งปฏิเสธข้อกล่าวหา ตำรวจจะไม่สามารถเอาผิดกับทั้งคู่ได้ เนื่องจากไม่มีหลักฐานอื่น อย่างไรก็ตาม ตำรวจได้เสนอเงื่อนไขว่า หากมีนักโทษให้การสารภาพหนึ่งคน นักโทษคนนั้นจะได้รับการปล่อยตัวเป็นอิสระ ส่วนคนที่ปากแข็งจะถูกลงโทษหนักขึ้น ปัญหาก็คือ หากนักโทษทั้งสองคนตัดสินใจหักหลังเพื่อนโดยให้การสารภาพทั้งคู่ เขาทั้งสองก็จะถูกลงโทษ ในสถานการณ์ดังกล่าว มีแนวโน้มว่านักโทษทั้งสองจะต่างให้การสารภาพ เพราะการเสี่ยงปากแข็งอยู่คนเดียว โดยไม่ทราบว่าเป็นเพื่อนจะหักหลังหรือไม่นั้น ย่อมทำให้เสี่ยงต่อการได้รับโทษหนักอยู่คนเดียว ในขณะที่เพื่อนลอยนวลเป็นอิสระ ในโลกแห่งความเป็นจริงมีหลายสถานการณ์ที่มีลักษณะคล้ายกับปัญหา “ความหนักใจของนักโทษ” ซึ่งทำให้เกิดคำถามว่า ภายใต้สถานการณ์เหล่านั้น ฝ่ายต่างๆ สามารถร่วมมือกันได้อย่างไร

โรเบิร์ต แอกเซลรอด (Robert Axelrod) แห่งมหาวิทยาลัยมิชิแกน (Michigan University) ได้พยายามตอบปัญหาดังกล่าว เขาพบว่าหากสถานการณ์ “ความหนักใจของนักโทษ” เกิดขึ้นซ้ำหลายครั้ง และเล่นกับคนหลายคนทีละคู่ ผู้เล่นแต่ละคนจะเกิดความจำเป็นที่จะต้องรักษาชื่อเสียงระยะยาว และทำให้กลยุทธ์ที่เหมาะสมที่สุดคือกลยุทธ์ “ตาต่อตา ฟันต่อฟัน” (TIT FOR TAT) ซึ่งเป็นกลยุทธ์ที่ให้ร่วมมือก่อนในครั้งแรก และจะ

ร่วมมือต่อไป หากอีกฝ่ายหนึ่งให้ความร่วมมือด้วยเช่นกัน แต่หากพบว่าอีกฝ่ายหนึ่งหักหลังก็ให้หักหลังตอบในครั้งถัดไป การที่ความร่วมมือในระยะยาวสามารถเกิดขึ้นได้จากการหักหลังกันในระยะสั้นนี้ ชี้ให้เราเห็นว่า ในโลกแห่งความเป็นจริงความร่วมมืออาจเป็นสิ่งที่ “ผู้คิดบังเกิด” ขึ้นจากการหักหลังกัน

อย่างไรก็ตาม เศรษฐศาสตร์กระแสหลักในปัจจุบัน ให้ความสนใจต่อการผู้คิดบังเกิดในลักษณะดังกล่าวค่อนข้างน้อย เช่น ในวิชาเศรษฐศาสตร์มหภาคมักสมมติให้มี “บุคคลตัวแทน” (representative agent) คนเดียว แทนคนในระบบเศรษฐกิจที่แตกต่างกันจำนวนมาก ทำให้การศึกษาแบบ “ล่างขึ้นบน” (bottom up) เป็นสิ่งที่ไม่พบบ่อยนัก อย่างไรก็ตาม ในช่วงหลังนี้ แนวความคิดบางเรื่องเกี่ยวกับทฤษฎีระบบซับซ้อนได้ช่วยให้นักเศรษฐศาสตร์ศึกษาปรากฏการณ์หลายอย่างที่ไม่สามารถอธิบายด้วยแนวความคิดเศรษฐศาสตร์กระแสหลัก เช่น การกระจุกตัวเกิดขึ้นเป็นมหานครอันประกอบด้วยเมืองบริวาร (edge city) มากมาย การเกิดขึ้นของการกระจุกตัวของอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น การเกิดอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับคอมพิวเตอร์ ในย่านเมืองซาน โฮเซ (San Jose) จนเกิดขึ้นเป็นซิลิคอน วัลเลย์ (Silicon Valley) หรือการที่เทคโนโลยีชนิดหนึ่งกลายเป็นมาตรฐานหลักทั้งที่เทคโนโลยีนั้นอาจด้อยกว่าในเชิงเทคนิค เช่น เทคโนโลยีวีดีโอแบบบีเอชเอส (VHS) สามารถเอาชนะเทคโนโลยีแบบเบต้าแมกซ์ (beta max) ได้¹⁰

¹⁰ Brian Arthur, Steven Durlauf and David Lane, “The Economy as an Evolving Complex System II”, Proceedings Volume in the Santa Fe Institute Studies in the Science of Complexity, Addison Wesley, 1997

การประยุกต์ใช้แบบจำลองกองทราย

นับตั้งแต่โมเดลกองทรายได้รับการเสนอขึ้น โดย เพอร์ บัก (Per Bak) เมื่อปี 1987 โมเดลดังกล่าวได้ทำให้เกิดผลงานวิจัยในด้านต่างๆ ทั้งการวิจัยด้านทฤษฎี และการประยุกต์ใช้มากมาย ประมาณการกันว่า ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโมเดลกองทรายในรอบทศวรรษที่ผ่านมา มีมากกว่า 2 พันฉบับ หนังสือ "How Nature Works" ของบัก รวบรวมตัวอย่างในการประยุกต์ใช้โมเดลดังกล่าวไว้ส่วนหนึ่ง¹¹

ตัวอย่างในด้านการประยุกต์ใช้โมเดลกองทราย ที่ตรงไปตรงมาที่สุดก็คือการนำเอาโมเดลดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในการอธิบายการเกิดแผ่นดินไหว ซึ่งเป็นสาขาที่เป็นที่เกิดของโมเดลดังกล่าวนั่นเอง ในอดีตการเกิดแผ่นดินไวมักถูกอธิบายว่ามีสาเหตุมาจากการแตกออกของเปลือกโลกในบริเวณที่มีรอยแยก (fault) อยู่แล้ว ปัญหาก็คือ ทฤษฎีดังกล่าวไม่สามารถอธิบายการปรากฏการณ์ตามกฎของกูเตนเบิร์ก-ริกเตอร์ (Gutenberg-Richter law) ซึ่งมีลักษณะที่เป็นไปตาม "กฎยกกำลัง" ที่กล่าวถึงในหัวข้อที่ 3 ได้

การอธิบายการเกิดแผ่นดินไหวตามที่สอดคล้องกับกฎยกกำลังดังกล่าวสามารถทำได้โดยโมเดลก้อนอิฐเชื่อมต่อกันด้วยสปริง (block-spring model) ซึ่งเป็นดัดแปลงมาจากโมเดลกองทราย ตามโมเดลนี้ รอยแยกถูกจำลองด้วยก้อนอิฐต่อเชื่อมกันด้วยสปริงขด (coil spring) ในระนาบสองมิติ ซึ่งอยู่กับที่ (fixed plate) เหนือก้อนอิฐเหล่านั้นคือ แผ่นเพลทซึ่งสามารถเคลื่อนที่ไปมาได้ (moving plate) เนื่องจากไม่ได้ยึดกับก้อนอิฐอย่างเหนียวแน่น แต่ยึดกันด้วยสปริงอ่อน (leaf spring) ในแนวดิ่ง การใช้สปริงอ่อนนี้เป็นการจำลองแรงดันที่เกิดขึ้นใกล้กับรอยแยก

เนื่องจากการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก (tectonic plate) หากแรงดันดังกล่าวสูงเกินค่าที่มันสามารถทนรับได้ (threshold value) ก้อนอิฐจะเลื่อนออกจากตำแหน่งที่มันเคยอยู่ และจะส่งผ่านแรงดันให้แก่ก้อนอิฐอีก 4 ก้อนที่เชื่อมอยู่กับมันด้วยสปริงขด คล้ายกับกองทรายพังทลายลงมาเมื่อมีความสูงมากเกินไป และถ่วงเทเม็ดทรายไปข้างๆ หากก้อนอิฐเหล่านั้นได้รับแรงดันเกินกว่าค่าที่มันทนรับได้เช่นเดียวกัน การถ่ายเทแรงดันอย่างเป็นทอดๆ ก็อาจจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งหมายถึงการเกิดแผ่นดินไหวครั้งใหญ่ เช่นเดียวกับการเกิดการพังทลายครั้งใหญ่ของกองทราย

โมเดลกองทรายยังถูกนำไปใช้อธิบายปรากฏการณ์อื่นๆ ที่แสดง "กฎยกกำลัง" เช่น การเกิดเปลี่ยนแปลงความเร็วในการเคลื่อนที่ของพัลซาร์ (Pulsar glitches) พัลซาร์คือ ดาวฤกษ์ที่ประกอบด้วยนิวตรอน ที่เคลื่อนที่แบบหมุนรอบตัวเอง บ่อยครั้งที่เราจะสามารถสังเกตเห็นการพัลซาร์เปลี่ยนแปลงความเร็วในการหมุนเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม



รูปที่ 8 : ภาพจำลองการเคลื่อนที่ของพัลซาร์โดยใช้กฎยกกำลัง นักดาราศาสตร์สันนิษฐานว่าการเปลี่ยนแปลงความเร็วการหมุนพัลซาร์เกิดจากการยุบตัวของเปลือกโลก ทำให้ดาวฤกษ์หมุนรอบตัวเองเร็วขึ้น

¹¹ Per Bak, "How Nature Works: The Science of Self-Organized Criticality", Copernicus, 1996.

ในบางครั้งเราจะพบว่าพัลซาร์เปลี่ยนแปลงความเร็วในการหมุนมาก และเมื่อนักดาราศาสตร์นำเอาข้อมูลขนาดของการเปลี่ยนแปลงความเร็วในการหมุนของพัลซาร์ มาพลอตดูความถี่ในการเปลี่ยนแปลงความเร็วที่เกิดขึ้น ในสเกลของลอการิทึม (logarithmic scale) เราก็จะพบความสัมพันธ์ในรูปของกฎยกกำลัง นักดาราศาสตร์สันนิษฐานว่าการเปลี่ยนแปลงความเร็วของพัลซาร์เกิดจากการยุบตัวของเปลือกดาวฤกษ์ที่อาจเรียกกันว่า “ดาวไหว” (starquake) ในลักษณะที่คล้ายคลึงกับการเกิดแผ่นดินไหว (earthquake) การยุบตัวของเปลือกดาวฤกษ์นี้มีผลทำให้ดาวฤกษ์หมุนรอบตัวเองเร็วขึ้นเช่นเดียวกับที่น้ำแข็งจะหมุนเร็วขึ้นเมื่อเขาหุบมือเข้ามา เป็นไปได้ว่า ความถี่และขนาดในการยุบตัวดังกล่าวเกิดขึ้นด้วยกฎยกกำลังเช่นเดียวกับการเกิดแผ่นดินไหวบนโลก จึงทำให้การเปลี่ยนแปลงความเร็วในการหมุนของดาวฤกษ์เปลี่ยนแปลงด้วยความถี่ตามกฎยกกำลังเช่นเดียวกัน

โมเดลกองทรายยังถูกนำไปประยุกต์ในสาขาอื่นๆ เช่น ในสาขาชีววิทยา มันถูกนำไปอธิบายการเกิดการสูญพันธุ์ครั้งใหญ่ (mass extinction) ที่ไม่เกิดขึ้นบ่อยครั้งนัก ในขณะที่การสูญพันธุ์ครั้งเล็กกว่าเกิดขึ้นบ่อยครั้งกว่าตามกฎยกกำลังเช่นเดียวกัน ในสาขาเศรษฐศาสตร์ กฎยกกำลังเป็นที่รู้จักกันดีในชื่อของ “กฎของพาเรโต” (Pareto Law) ซึ่งถูกนำไปอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ มากมาย เช่น การกระจายรายได้ของประชากร การเปลี่ยนแปลงของราคาหลักทรัพย์ หรือสินค้าทั่วไป (commodity) เป็นต้น

ชีวิตเทียม

ชีวิตเทียม (artificial life) เป็นศาสตร์ใหม่ซึ่งเกิดขึ้นมาในช่วงประมาณปี 1986 โดยคริสแลงตัน (Chris Langton) แห่งสถาบันวิจัย ซานตาเฟ (Santa Fe Institute) ในสหรัฐอเมริกา ซึ่ง

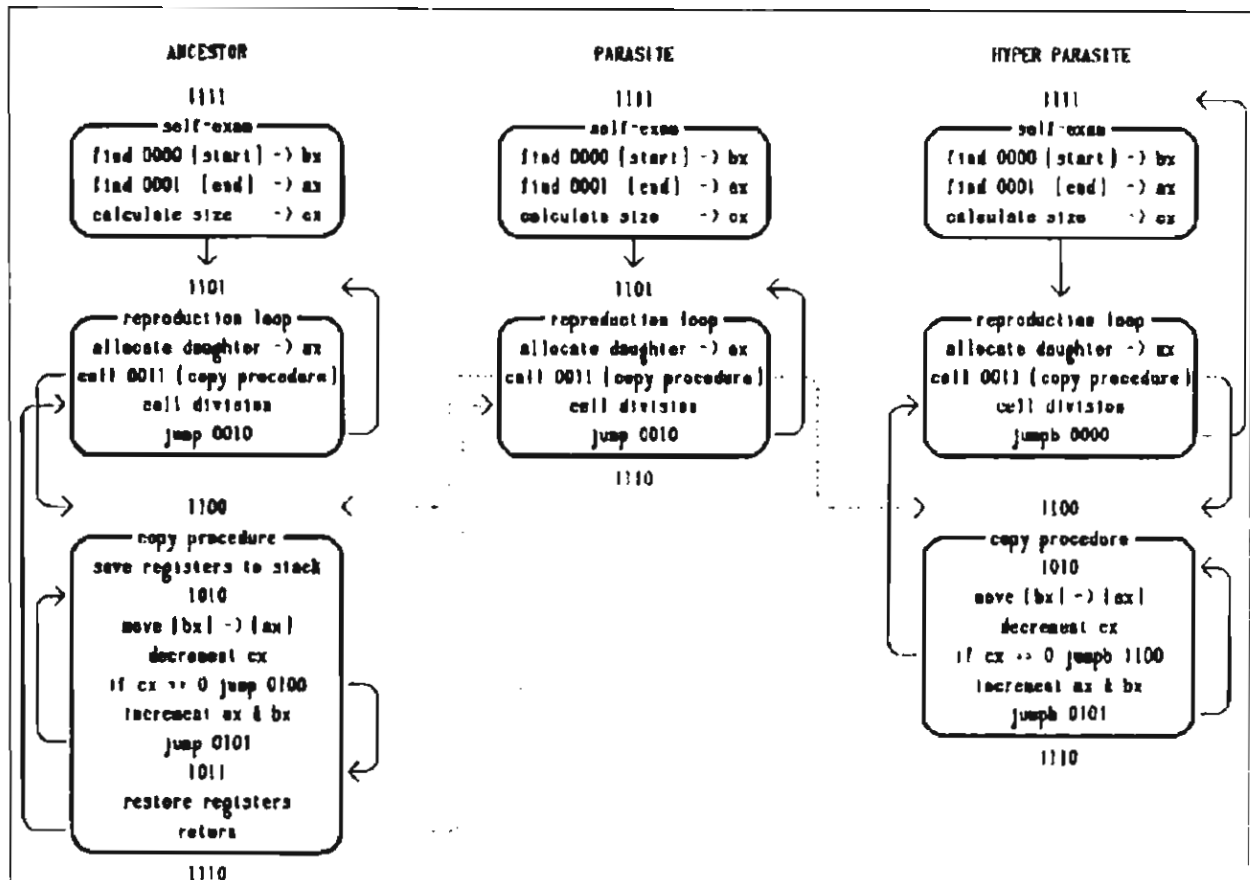
ถือว่าเป็นศูนย์กลางของการวิจัยด้านระบบซับซ้อน

เป้าหมายในการศึกษาของชีวิตเทียม คล้ายคลึงกับเป้าหมายของวิชาชีววิทยา คือครอบคลุมตั้งแต่การเกิดขึ้นของชีวิต ไปจนถึงการศึกษาระบบนิเวศน์ ที่ประกอบด้วยสิ่งมีชีวิตมากมายหลายชนิดอยู่อาศัยร่วมกัน และการวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต ข้อแตกต่างระหว่างศาสตร์ทั้งสองคือ ชีวิตเทียมจะใช้คอมพิวเตอร์ในการศึกษาปรากฏการณ์ของชีวิตโดยทั่วไปที่อาจเกิดขึ้นได้ในจักรวาล โดยถือว่าชีวิตที่เกิดจากสารไฮโดรคาร์บอนในโลกมนุษย์ ซึ่งเป็นเป้าหมายในการศึกษาของชีววิทยานั้น เป็นเพียงรูปแบบเดียวของชีวิตที่อาจเป็นไปได้เท่านั้น¹² นอกจากนี้การศึกษาปรากฏการณ์เกี่ยวกับชีวิตในชีวิตเทียมยังเน้นการ “สังเคราะห์” ชีวิตแทนการ “วิเคราะห์” สิ่งมีชีวิตอีกด้วย ในแง่นี้ ชีวิตเทียมจึงเป็น “ศาสตร์แห่งการสังเคราะห์”

ตัวอย่างที่น่าสนใจตัวอย่างหนึ่งของการวิจัยเรื่องชีวิตเทียมที่ผ่านมาคือ “เทียร์รา” (Tierra) ซึ่งเป็นระบบนิเวศน์จำลอง ซึ่งโทมัส เรย์ (Thomas Ray) นักชีววิทยาจากเดลาแวร์ (University of Delaware) เป็นผู้สร้างขึ้นในเครื่องคอมพิวเตอร์ของเขา¹³ ในโลกจำลองของเขา เรย์ ได้สร้างชีวิตเทียมขึ้น โดยประกอบขึ้นจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ความยาวต่างๆ กัน โปรแกรมเหล่านี้ถูกเขียนขึ้นในภาษาแอสเซมบลี (Assembly language) ที่

¹² สิ่งมีชีวิตที่เกิดจากไฮโดรคาร์บอนเป็นเพียงรูปแบบเดียวของชีวิตที่มนุษย์เรารู้จัก ใครจะทราบได้ว่า สิ่งมีชีวิตอื่นในจักรวาลอันกว้างใหญ่ของเรา ไม่ได้เกิดจากซิลิคอน เหล็ก หรือธาตุอื่นๆ ด้วยเหตุนี้ นักวิจัยด้านชีวิตเทียมหลายคนเชื่อว่า เราควรศึกษาชีวิตได้จากแบบแผน หรืออันตรกิริยาระหว่างของส่วนประกอบต่างๆ ของมันเท่านั้น โดยไม่ต้องสนใจว่าส่วนประกอบนั้นมีลักษณะทางกายภาพ หรือทางเคมีอย่างไร

¹³ ในภาษาสเปน คำว่า tierra มีความหมายเหมือนคำว่า โลก (earth) ในภาษาอังกฤษ



รูปที่ 9 : ภาพโปรแกรมคอมพิวเตอร์ “ชีวิตเทียม” ที่โทมัส เวย์ สร้างขึ้นที่มีทั้งเจ้าบ้าน ปรสิต อาศัยอยู่ร่วมกัน บ้างมีการเกื้อกูลกัน บ้างเบียดเบียนกัน

เขาออกแบบขึ้นมาเป็นพิเศษ ชีวิตเทียมเหล่านี้ อาศัยเครื่องประมวลผลกลาง (CPU) ของคอมพิวเตอร์เป็น “แหล่งพลังงาน” และใช้หน่วยความจำเป็น “แหล่งสสาร” มันสามารถ “สืบพันธุ์” ได้โดยการคัดลอก (copy) โปรแกรมที่แทนตัวมันไปสู่หน่วยความจำที่ตำแหน่งอื่น ในระหว่างการสืบพันธุ์ อาจเกิดกระบวนการมิวเทชัน (mutation) ซึ่งหมายถึงการที่ชีวิตเทียมตัวลูกมีส่วนแตกต่างจากตัวแม่เล็กน้อย เช่น เป็นโปรแกรมที่เหมือนกันหมดแต่ต่างกันบรรทัดเดียว เป็นต้น เมื่อจำนวนของชีวิตเทียมขยายมากขึ้น จนไม่มีพื้นที่ในหน่วยความจำเหลืออยู่ ชีวิตเทียมบางตัวจะตายไปเพื่อเปิดทางให้ชีวิตอื่นเกิดขึ้นได้ (รูปที่ 9)

เมื่อเวย์เริ่มให้ชีวิตเทียมตัวแรกของเขา ซึ่งเป็นโปรแกรมที่มีความยาว 80 บรรทัดขยายพันธุ์ไป

เรื่อยๆ เขาได้พบปรากฏการณ์ที่คล้ายกับปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นกับสิ่งมีชีวิตในธรรมชาติหลายประการ เช่น ชีวิตเทียมบางตัวสามารถอยู่ร่วมกับชีวิตเทียมตัวอื่นในลักษณะเกื้อกูลกัน (symbiosis) ในขณะที่บางตัวเป็นเพียงปรสิต (parasite) คอยเบียดเบียนเจ้าบ้าน (host) โดยการแอบใช้ส่วนของโปรแกรมจากเจ้าบ้าน นอกจากนี้ เขายังพบการที่ชีวิตเทียมเซลล์เดียววิวัฒนาการเป็นชีวิตเทียมหลายเซลล์ และกลายเป็นชีวิตเทียมแบบมีเพศในที่สุด ในบางช่วง เขายังพบการเกิดขึ้นของชีวิตเทียมชนิดต่างๆ ขึ้นมากมาย จนเกิดความหลากหลายทางชีวภาพเสมือนยุคแคมเบรียน (Cambrian) ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อประมาณ 600 ล้านปีที่แล้ว

แนวคิดเรื่องระบบซับซ้อนได้ชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการมองระบบในเชิงองค์รวม (holistic) และเข้าใจถึงความสำคัญของ “เหตุ” และ “ปัจจัย” ในการกำหนดความเป็นไปของระบบว่า ระบบย่อมผุดบังเกิดขึ้นจากองค์ประกอบและอันตรกิริยาระหว่างองค์ประกอบเหล่านั้น ในแง่มุมนี้ แนวคิดเรื่องระบบซับซ้อนจึงสอดคล้องกับหลักโลกทัศน์พื้นฐานในพุทธศาสนา ดังผู้เขียนจะขอยกข้อความจากย่อหน้าแรกสุดของบทที่ 1 ในหนังสือ พุทธธรรม¹⁴

“พุทธศาสนามองเห็นสิ่งทั้งหลายในรูปของส่วนประกอบต่างๆ ที่มาประชุมกันเข้า ตัวตนของสิ่งทั้งหลายนั้นไม่มี เมื่อแยกส่วนที่ประกอบกันเข้าออกไปให้หมด ก็จะไม่พบตัวตนของสิ่งนั้นเหลืออยู่ ตัวอย่างง่ายๆ ที่ยกขึ้นมาอ้างกันบ่อยๆ คือ ‘รถ’ เมื่อนำส่วนประกอบต่างๆ มาประกอบเข้าด้วยกันตามแบบที่กำหนด ก็บัญญัติเรียกกันว่า ‘รถ’ แต่ถ้าแยกส่วนประกอบทั้งหมดออกจากกัน ก็จะหาตัวตนของรถไม่ได้ มีเฉพาะส่วนประกอบทั้งหลาย ซึ่งมีชื่อเรียกต่างๆ กันจำเพาะแต่ละอย่างอยู่แล้ว คือตัวตนของรถมิได้มีอยู่ต่างหากจากส่วนประกอบเหล่านั้น มีแต่เพียงคำบัญญัติว่า ‘รถ’ สำหรับสภาพที่มารวมตัวกันเข้าของส่วนประกอบเหล่านั้น แม้ส่วนประกอบแต่ละอย่างๆ นั้นเอง ก็ปรากฏขึ้นโดยการรวมกันเข้าของส่วนประกอบย่อยๆ ต่อๆ ไปอีก และหาตัวตนที่แท้ไม่พบเช่น

เดียวกัน เมื่อจะพูดว่าสิ่งทั้งหลายมีอยู่ก็ต้องเข้าใจในความหมายว่า มีอยู่ในฐานะมีส่วนประกอบต่างๆ มาประชุมเข้าด้วยกัน”

กล่าวอีกอย่างหนึ่ง พุทธศาสนาปฏิเสธทั้งลัทธิที่ถือว่าสิ่งทั้งหลายมีอยู่จริง (Extreme Realism) และลัทธิที่ถือว่าสิ่งทั้งหลายไม่มีจริง (Nihilism) ดังที่พระพุทธเจ้าตรัสตอบพราหมณ์ผู้หนึ่งที่ทูลถามปัญหาว่า “สิ่งทั้งปวงมีอยู่หรือ?” และ “สิ่งทั้งปวงไม่มีหรือ?” ว่าพระองค์ไม่เข้าไปติดที่ สุดทั้งสองข้างนี้ และทรงแสดงธรรมเป็นกลางๆ ว่า เพราะสิ่งนี้เป็นเหตุปัจจัย สิ่งนี้จึงมี เพราะเหตุปัจจัยนี้ดับไป สิ่งนี้จึงดับไป

เมื่อเทียบเคียงกับแนวคิดในระบบซับซ้อน เราอาจกล่าวได้ว่าผุ่คนไม่ได้เป็นสิ่งที่มียุ่จริงโดยตัวมันเอง และไม่ได้เป็นสิ่งที่ไม่มีอยู่เลย ทั้งนี้เนื่องจากผุ่คนเป็นเพียงสิ่งที่ผุดบังเกิดขึ้นมาจากอันตรกิริยาระหว่างนกแต่ละตัว หรือมีอยู่ตาม “เหตุ” และ “ปัจจัย” ที่เหมาะสมเท่านั้น ในทำนองเดียวกัน การเกิดโรคคิด ระบบสมอง เมือง หรือระบบเศรษฐกิจ ก็เป็นสิ่งที่เกิดขึ้น ดำรงอยู่ และเปลี่ยนแปลงไปตามเหตุปัจจัยของมันเช่นเดียวกัน

พุทธศาสนาเรียกปรากฏการณ์ที่สิ่งทั้งหลายเกิดขึ้นและดับไปโดยเหตุปัจจัยสืบเนื่องกันนี้ว่า “ไตรลักษณ์”¹⁵ อันเป็นลักษณะธรรมชาติ 3 ประการของสรรพสิ่ง คือ

1. ความเป็นอนิจจัง หรือความไม่เที่ยง ไม่คงตัว เกิดขึ้นแล้วเสื่อมสลายไป

¹⁴ พระราชวรมุนี (ประยูร ปยุตโต), พุทธธรรม (ฉบับปรับปรุงและขยายความ พิมพ์ครั้งที่ 3), มหาวชิราลงกรณ์ราชวิทยาลัย, 2529, หน้า 15.

¹⁵ หรือปฏิจสนูปบาท แล้วแต่มุมมอง โดยที่ไตรลักษณ์และปฏิจสนูปบาท เป็นเรื่องเดียวกัน

2. ความเป็นทุกข์ หรือความถูกบีบคั้นด้วยการเกิดและการสลายตัวของเหตุปัจจัย ทำให้ไม่สามารถดำรงอยู่ในสภาวะเดิมได้และก่อให้เกิดทุกข์แก่ผู้ที่เข้าไปยึดถือ อยากให้สิ่งนั้นอยู่ในสภาวะที่ต้องการ

3. ความเป็นอนัตตา หรือความไม่มีตัวตนที่แท้จริง แต่เกิดขึ้นและดับไปตามกระแสสืบเนื่องแห่งเหตุและปัจจัย

อย่างไรก็ตาม ความเป็นไตรลักษณ์ของสรรพสิ่งเป็นสิ่งที่เห็นได้ยาก เนื่องจากถูกปิดบังอยู่ตลอดเวลา กล่าวคือ ความเป็นไปอย่างต่อเนื่องปิดบังความเป็นอนิจจัง เพราะความต่อเนื่องของสิ่งหนึ่งนั้น ทำให้เราหลงเข้าใจว่าสิ่งนั้นคงทนถาวร ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ส่วนความเคลื่อนไหวตลอดเวลา

ก็ปิดบังความเป็นทุกข์ เพราะทำให้เราไม่สามารถสังเกตเห็นว่า ภาวะที่ถูกบีบคั้นนั้นไม่สามารถดำรงได้ เนื่องจากเกิดการเคลื่อนไหวไปสู่สภาวะอื่นเสียก่อน ในขณะที่ความเป็นก่อนเป็นแห่งของวัตถุก็ปิดบังความไม่มีตัวตนที่แท้จริงของมัน

สำหรับผู้ที่มีพื้นฐานการศึกษาทางวิทยาศาสตร์ แนวความคิดเรื่องการผูกมัดบังเกิดของระบบซับซ้อน จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยให้เรามองเห็นความเป็นไตรลักษณ์ของสรรพสิ่งโดยไม่ถูกปิดบังจากการสังเกตอย่างผิวเผิน ความเข้าใจที่ถูกต้องดังกล่าว น่าจะช่วยลดความยึดติดในตัวตนของเรา ดังที่ท่านพุทธทาสเรียกว่า “ตัวกู” และ “ของกู” ได้ •



ตอนที่ 4

โลกทางชีวภาพและสังคม นำเรื่อง

สรรพชีวิตเป็นส่วนหนึ่งของธรรมชาติของสรรพสิ่ง โลกมีอายุประมาณ 4,600 ล้านปี เมื่อเริ่มแรกไม่มีสิ่งมีชีวิต ด้วยการเปลี่ยนแปลงหรือวิวัฒนาการของสสารต่างๆ กินเวลาประมาณ 1,000 ล้านปี ชีวิตเริ่มแรกเป็นเซลล์เดียว และเป็นชีวิตเซลล์เดียวอยู่เป็นเวลาประมาณ 3,000 ล้านปี ในมหายุคพรีแคมเบรียนแล้วจึงเกิดพหุเซลล์ เกิดสรรพชีวิตนานาชนิดที่มีขนาดใหญ่ขึ้นในยุคแคมเบรียน เมื่อ 600 ล้านปีนี่เอง เพราะความถึงพร้อมของเหตุปัจจัย ทั้งทางพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อม สรรพชีวิตประกอบด้วยกลุ่มที่แตกต่างกันถึงประมาณ 15 ล้านสปีชีส์ในขณะนั้นยังมีอีกประมาณ 10-30 ล้านสปีชีส์มีชีวิตอยู่ต่อมาอีก 1,000 ล้านปี ในช่วงเวลาประมาณ 3,600 ล้านปี โลกมีประวัติศาสตร์ของสิ่งมีชีวิต สิ่งแวดล้อมบนโลกเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ย่างครั้งก็รุนแรง เช่น แผ่นดินถล่ม ภูเขาไฟระเบิด ถูกอุกกาบาตขนาดใหญ่ชน ทำให้เกิดการสูญพันธุ์ครั้งใหญ่หลายครั้ง แต่แต่ละครั้งก็เปิดทางให้ชีวิตชนิดใหม่ๆ เกิดขึ้นและเพิ่มพูน ไดโนเสาร์เกิดในช่วงปลายยุคไทรแอสซิก เมื่อประมาณ 200 ล้านปีก่อน แต่ก็สูญพันธุ์ไปเมื่อ 65 ล้านปีที่แล้ว มนุษย์อย่างที่เป็น *Homo sapiens* ก็เพิ่งจะมีอายุประมาณ 200,000 ปีนี้เอง แม้จะมีมนุษย์โบราณในชื่อต่างๆ ก็ย้อนไปไม่นาน เมื่อเทียบกับช่วงเวลาของสรรพชีวิต มนุษย์ได้เป็นสาเหตุการทำลายล้างพันธุ์พืชพันธุ์สัตว์ด้วยอัตราสูงกว่าภัยพิบัติธรรมชาติใดๆ ทั้งสิ้น กล่าวคือ ขณะนี้อัตราการสูญพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตสูงถึงชั่วโมงละ 3 สปีชีส์ เมื่อ 30 ปีมาแล้ววันละ 1 สปีชีส์ และยุคก่อนหน้านั้น อัตราการสูญพันธุ์ตามธรรมชาติมีเพียงประมาณปีละ 1 สปีชีส์เท่านั้น

ในบทนี้ที่ว่าด้วยโลกทางชีวภาพ นอกจากจะทำให้ผู้ศึกษาเข้าใจความ
เป็นทั้งหมดของสรรพสิ่ง ทั้งสิ่งมีชีวิต และไม่มีชีวิตอันสัมพันธ์กันทางเหตุ
ปัจจัย ควรจะทำให้มนุษย์เกิดปัญญาและจิตสำนึกใหม่ เข้าใจความเป็นหนึ่ง
เดียวของธรรมชาติกับทั้งหมด ซึ่งรวมถึงตัวเราเองอยู่ในนั้นด้วย และหา
ทางออก ไปจากวิถีชีวิตที่ทำลายล้างธรรมชาติอย่างรุนแรง ซึ่งก็คือทำลาย
ตนเอง อันจะทำให้การดำรงคงอยู่ของมนุษย์บนโลกนี้สั้นกว่าไดโนเสาร์
เป็นอันมาก

บทที่ 12

โลกทางชีวภาพ

วิสุทธิ ไชยไม้



มีข่าวทางวิทยาการอยู่เนืองๆ เกี่ยวกับการขุดค้นพบซากดึกดำบรรพ์ของไดโนเสาร์ในบ้านเรา ทางบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซากดึกดำบรรพ์ของไดโนเสาร์ที่ขุดพบนั้นล้วนแต่เป็นชนิดใหม่ๆ สำหรับวงการด้านชีววิทยาของสัตว์ดึกดำบรรพ์ และที่รู้จักกันดีก็คือ ชนิดกุเวียงโกซอรัส สิรินธรเน่ และสยามโมไทรันนัส อีสานเอนซิส ทั้ง 2 ชนิดนี้ ขุดพบที่อำเภอกุเวียง จังหวัดขอนแก่น และมีอายุประมาณ 130 ล้านปีมาแล้ว มีคำถามมากมายเกี่ยวกับไดโนเสาร์ เช่น ไดโนเสาร์เป็นสัตว์ที่เคยมีชีวิตอยู่จริงหรือเป็นเพียงชื่อสัตว์ในนวนิยายอิงวิทยาศาสตร์เท่านั้น? ถ้าเคยมีอยู่จริงมันเป็นสัตว์ประเภทใด ผู้คนทั่วไปจึงให้ความสนใจอย่างมากมาย? ไดโนเสาร์เกิดขึ้นมาได้อย่างไร? เหตุใดสัตว์พวกนี้จึงสูญหายไปอย่างถาวรจากโลกนี้?

คงไม่มีใครปฏิเสธว่าไดโนเสาร์เป็นสัตว์กลุ่มเลื้อยคลานและตามสายวิวัฒนาการแล้วมันมีบรรพบุรุษเป็นพวกสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก และไดโนเสาร์ยังเป็นกลุ่มสัตว์ที่เป็นบรรพบุรุษของพวกนก

และสัตว์มีกระดูกสันหลัง ซึ่งวิวัฒนาการต่อมาเป็นสัตว์เลื้อยคลานด้วยนมรวมทั้งมนุษย์ที่เห็นอยู่ในปัจจุบันด้วย มนุษย์เป็นญาติกับไดโนเสาร์จริงหรือไม่? คำตอบคือ ไม่ใช่ญาติโดยตรง ถ้าเช่นนั้นทำไมชื่อไดโนเสาร์จึงถูกนำมาใช้เรียกขานคนบางคนหรือบางกลุ่มที่มีแนวคิดหรือแนวปฏิบัติที่ไม่ทันสมัย? เรื่องนี้คงเป็นคำพูดเปรียบเปรยและเสียดสีกันเท่านั้น

เรื่องราวของไดโนเสาร์ได้ถูกเล่าขานเป็นตำนานนวนิยายทางวิทยาศาสตร์หลายครั้งหลายหน เมื่อไม่นานมานี้ก็มีภาพยนตร์เรื่อง จูแรสซิกพาร์ค (Jurassic Park) ที่สร้างความตื่นเต้นและหวาดเสียวให้กับผู้ชมทั่วโลก และเป็นเท็กซ่าวขวัญกันอย่างกว้างขวางในทศวรรษ 1990 หลายท่านคงเคยได้ชมภาพยนตร์นวนิยายทางวิทยาศาสตร์ที่โด่งดังเรื่องนี้มาแล้ว จูแรสซิกพาร์คเป็นเรื่องราวเกี่ยวกับการกลับคืนชีพมาใหม่ของไดโนเสาร์ สัตว์โลกที่เคยยิ่งใหญ่ในยุคจูแรสซิก เมื่อประมาณ 200 ล้านปีก่อน แต่ได้สูญพันธุ์ไปจากโลกนี้ประมาณ 65

ล้านปีที่แล้ว ภาพยนตร์เรื่องนี้ดำเนินเรื่องที่สะท้อนให้เห็นถึงความก้าวหน้าทางวิชาการด้านวิทยาศาสตร์ชีวภาพยุคใหม่ โดยใช้เทคนิคดีเอ็นเอ ทำให้นักวิทยาศาสตร์สามารถลอกเลียนแบบดีเอ็นเอหรือการโคลนดีเอ็นเอ (Cloning DNA) ที่สกัดได้จากเลือดของไดโนเสาร์ที่ตกค้างอยู่ที่ลำไส้ของแมลงชนิดหนึ่งที่กินเลือดไดโนเสาร์เป็นอาหาร และแมลงชนิดนี้พลัดตกลงไปติดฝังร่างอยู่ในอำพันในสภาพที่สมบูรณ์เช่นนั้นเป็นเวลายาวนาน นักวิทยาศาสตร์ประสบความสำเร็จในการลอกเลียนแบบดีเอ็นเอจากเลือดไดโนเสาร์ และสามารถเพาะเลี้ยงเซลล์จนได้เป็นตัวไดโนเสาร์กลับคืนชีพขึ้นมาใหม่จำนวนหลายชนิด โดยเฉพาะตัวเอกของเรื่องคือ Tyrannosaurus rex ไดโนเสาร์เหล่านี้ถูกเลี้ยงไว้ในสวนสัตว์ไดโนเสาร์บนเกาะแห่งหนึ่งแถบอเมริกากลาง

ภาพยนตร์เรื่องนี้ได้สร้างจินตนาการย้อนยุคกลับไปสู่ความยิ่งใหญ่ของไดโนเสาร์ ในอดีตที่เคยครองโลกอย่างอหังการเป็นเวลายาวนานกว่า 150 ล้านปี แต่ไดโนเสาร์ก็ต้องสูญพันธุ์ไปในที่สุดคำถามที่ยังค้างคาใจของนักวิทยาศาสตร์และคนทั่วไปว่า ไดโนเสาร์สูญพันธุ์ไปจากโลกนี้ได้อย่างไร ในเมื่อเป็นสัตว์โลกที่ยิ่งใหญ่ที่สุดและแพร่กระจายไปทั่วพิภพในยุคนั้น ไม่ว่าคำตอบเกี่ยวกับสาเหตุของการสูญพันธุ์ของไดโนเสาร์จะเป็นเช่นไร แต่สิ่งที่สะท้อนให้เราคิดกันอย่างมากในขณะนี้ คือเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นกับไดโนเสาร์ในครั้งกระนั้นจะเกิดขึ้นกับมนุษย์ซึ่งถือว่าเป็นสัตว์โลกผู้ประเสริฐและยิ่งใหญ่ที่สุดในโลกยุคปัจจุบันเช่นเดียวกันได้หรือไม่ ?

มนุษย์อย่างเราๆ นี่เป็นอะไร? มนุษย์มาจากไหนและอย่างไร? มนุษย์กำลังดำเนินชีวิตอยู่อย่างไรในโลกปัจจุบัน? มนุษย์จะเป็นอย่างไรต่อไปในอนาคต? หรือมนุษย์จะต้องพบชะตากรรมเดียวกับไดโนเสาร์หรือไม่? คำถามเหล่านี้เป็นเพียงบางส่วนของปัญหาที่ค้างคาใจนักวิชาการและชาว

บ้านทั่วไปที่สนใจความเป็นมาเป็นไปของมนุษยชาติ และปรารถนาจะค้นคว้าหาคำตอบเสมอมาไม่ว่าจะเป็นยุคใดสมัยใด

มีคนจำนวนไม่น้อยที่เชื่อว่ามนุษย์มาจากบรรพบุรุษที่เป็นมนุษย์ต่างดาว ดังสังเกตได้จากข่าวทางสื่อมวลชนว่ามีมนุษย์ต่างดาวเดินทางมากับจานบินลึกลับ หรือ ยูเอฟโอ (UFO) ที่หลบๆ โผล่ๆ มาให้คนเห็นระยะๆ ในสถานที่ต่างๆ ของโลก รวมทั้งในประเทศไทยเราด้วย มีคนบางคนถึงกับบอกที่สามารถติดต่อสื่อสารกับมนุษย์ต่างดาวที่มากับจานบินลึกลับได้ อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีหลักฐานยืนยันได้อย่างชัดเจนว่ามีมนุษย์ต่างดาวจริง แต่สิ่งที่นักวิทยาศาสตร์และประชาชนทั่วไปมีความรู้และความเข้าใจอย่างแท้จริงในปัจจุบันคือ มนุษย์เป็นผลพวงจากกระบวนการเปลี่ยนแปลงวิวัฒนาการมาจากบรรพบุรุษพวกเอปและไพรเมต จึงถือได้ว่ามนุษย์เป็นสัตว์โลกชนิดหนึ่งในบรรดาสรรพชีวิตจำนวนเป็นล้านๆ ชนิดที่อยู่ร่วมโลกกับเรา ซึ่งมีทั้งชนิดที่เกิดมาก่อนเราและบางชนิดที่เกิดมาพร้อมๆ กับเราและมนุษย์ได้รับการตั้งชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Homo sapiens*

สิ่งมีชีวิตจำนวนมากมายและหลากหลายชนิดที่ปรากฏอยู่ในโลกปัจจุบัน ทำให้โลกเรานั้นเป็นดาวเคราะห์ดวงเดียวในระบบสุริยะที่มีลักษณะสีดินและมีชีวิตชีวจนได้ชื่อว่า เป็นโลกสิ่งมีชีวิตหรือชีวมณฑล (Biosphere) สิ่งมีชีวิตนานาชนิด ทั้งที่เคยมีในอดีตและที่ยังคงมีชีวิตอยู่ในปัจจุบันมีความเป็นมาอย่างไร? ข้อมูลการศึกษาค้นคว้าทางด้านวิทยาศาสตร์ชีวภาพที่น่าเสนอในบทนี้พอจะมีคำตอบที่น่าสนใจและน่าเชื่อถือได้

วิทยาศาสตร์คือการศึกษาหาความรู้เกี่ยวกับปรากฏการณ์ธรรมชาติ ในขณะเดียวกันความรู้ก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์เตือนใจให้เราทราบเกี่ยวกับข้อจำกัดของเราที่จะทำความเข้าใจในสรรพสิ่งอย่างแท้จริงในปัจจุบัน โดยความเป็นจริงแล้ว มนุษย์ยังมีความรู้ความเข้าใจในปรากฏการณ์ธรรมชาติ

อยู่น้อย เราไม่ทราบอะไรมากนักเกี่ยวกับจุดเริ่มต้นของสรรพสิ่งที่มีอยู่ในพิภพ ในกาแล็กซี และในจักรวาล ถ้าหากมีการเริ่มต้นของสรรพสิ่งเหล่านั้นจริง สิ่งที่เราสามารถจะทำได้ในขณะนี้เท่าที่มีความรู้ความเข้าใจอยู่ก็คือ มองย้อนหลังกลับไปในอดีตให้ไกลที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อทำความเข้าใจว่ามีอะไรเกิดขึ้นบ้างในอดีตเพื่อจะได้เป็นบทเรียน และช่วยเป็นแสงสว่างส่องทางให้เราได้มองเห็นอนาคตได้ยาวไกล ดังคำพูดของ Sir Winston Churchill ที่กล่าวไว้อย่างกินใจว่า “The farther backward you can look, the farther forward you are likely to see” แต่กระนั้นก็ตาม เรามิอาจคาดหวังว่าจะได้คำตอบในทุกๆ เรื่องที่เราสงสัยและข้องใจเกี่ยวกับกำเนิดของสรรพสิ่งในจักรวาล รวมทั้งทางช้างเผือกและระบบสุริยะที่มีโลกเราอยู่ด้วย ตลอดจนกำเนิดของสิ่งมีชีวิตบนโลกนี้ที่มีประวัติอันยาวนานประมาณ 3,600 ล้านปี

ในบทก่อนๆ เราจะพอทราบคำตอบหรือคำอธิบายที่พอเชื่อถือได้ระดับหนึ่งว่า กาแล็กซีต่างๆ จำนวนมากมายในจักรวาลเกิดขึ้นมาได้อย่างไร และมีการขยายขอบเขตเสมอไปหรือไม่ และเราก็พอจะมีความรู้และมีคำอธิบายเกี่ยวกับกำเนิดของโลกว่า เริ่มต้นจากกลุ่มก๊าซไฮโดรเจนที่ค่อยพัฒนาการ

เปลี่ยนแปลงด้วยการรวมตัวของกลุ่มก๊าซนี้ภายใต้อิทธิพลของแรงโน้มถ่วงตลอดเวลายาวนาน จนเกิดการดึงดูดระหว่างอะตอมกับอะตอม และเพิ่มลำดับขั้นขึ้นเป็นกลุ่มอะตอมที่มีความหนาแน่นมากยิ่งขึ้น จนเกิดการกระทบกระทั่งระหว่างอะตอมและปล่อยพลังงานออกมา ยังผลให้อะตอมเคลื่อนที่เร็วมากยิ่งขึ้นและกระทบกระทั่งระหว่างกันมากขึ้นตามไปด้วย พลังงานที่เกิดขึ้นจากแรงดึงดูดและแรงโน้มถ่วงเช่นนั้นถูกแปรสภาพไปเป็นความร้อน ทำให้กลุ่มอะตอมมีความหนาแน่นขึ้นและร้อนมากขึ้นตามลำดับ จนกลายเป็นกลุ่มดาวเคราะห์ เช่น ระบบสุริยะที่มีดวงอาทิตย์เป็นศูนย์กลางของการเปลี่ยนแปลงพลังงานและสสารและดาวเคราะห์โคจรโดยรอบอีก 9 ดวง

อาจมีคำถามว่า การเปลี่ยนแปลงพลังงานและสสารทั้งหมดที่เกิดขึ้นจนเป็นระบบสุริยะที่สมบูรณ์นี้ใช้เวลายาวนานเท่าใด ปัญหานี้คงไม่มีคำตอบที่ชัดเจนมากนัก แต่จากบทต้นๆ เราพอจะมีข้อมูลประกอบการพิจารณาว่า ระบบสุริยะที่สมบูรณ์นั้นเริ่มต้นเมื่อประมาณ 4,600 ล้านปีที่แล้ว แต่ก่อนที่จะกลายมาเป็นระบบสุริยะที่สมบูรณ์ได้นั้น คงจะมีการเปลี่ยนแปลงวิวัฒนาการทางกายภาพ (cosmic evolution) มาช้านานหลังจากเกิดบิกแบง (big bang) เมื่อประมาณ 15,000 ล้านปีมาแล้ว

วิวัฒนาการทางเคมี

การเปลี่ยนแปลงวิวัฒนาการทางกายภาพจากกลุ่มก๊าซไฮโดรเจนจนกลายมาเป็นดาวเคราะห์อย่างโลกเรานี้ ก่อให้เกิดธาตุและสารประกอบรูปแบบที่ซับซ้อนมากขึ้นอย่างที่เราเห็นอยู่ในปัจจุบัน เช่น พวกธาตุหนักชนิดต่างๆ แร่ธาตุ และไฮโดรเจน ตลอดจนน้ำจำนวนมากมายที่เป็นองค์ประกอบของเปลือกโลก รวมทั้งชั้น

บรรยากาศที่ปกคลุมผิวโลกอยู่ในขณะนี้

ในอดีตกาลที่ผ่านมา พื้นผิวเปลือกโลกมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรุนแรงต่อเนื่องกันมาโดยตลอด ตั้งแต่เริ่มเป็นโลกขึ้นมาจนกลายเป็นส่วนผสมผสานของสสารและพลังงานที่มีคุณสมบัติพิเศษที่เรียกว่า “สิ่งมีชีวิต” (life) ที่ทำให้โลกใบนี้กลายเป็นโลกสีฟ้า (blue planet) ที่มีชีวิตชีวา

และมีคุณค่าต่อระบบสุริยะ
และมีความสำคัญต่อกา-
แล็กซีทางช้างเผือกอย่าง
หาที่เปรียบมิได้

เรายังมีความรู้ความเข้าใจไม่มากนักเกี่ยวกับความ
อัศจรรย์ของสรรพสิ่งอย่างแท้จริง
เพราะจากข้อมูลและข่าวสารผลงาน

วิจัยที่กระจุกกระจายอยู่ในสายงานวิทยาศาสตร์
แขนงต่างๆ ที่ยังไม่เป็นองค์ความรู้รวมในเรื่องที่
เกี่ยวกับการพัฒนาการเปลี่ยนแปลงของโลกในอดีต

อย่างไรก็ตาม ณ วันนี้ เราพอประเมินข้อ
เท็จจริงและความรู้เบื้องต้นได้ว่า โลกเราทุกวันนี้
ยังคงหมุนรอบตัวเองและโคจรรอบดวงอาทิตย์
เหมือนอย่างที่เคยเป็นมาในอดีต และจะยังคงเป็น
เช่นนี้ต่อไปอีกนานไกล แต่ส่วนที่เปลี่ยนแปลงไป
ค่อนข้างมากก็คือ ในอดีตบนพื้นผิวเปลือกโลกมี
การเปลี่ยนแปลงวิวัฒนาการทางเคมี (chemical
evolution) อย่างเป็นขั้นเป็นตอนและอย่างต่อเนื่อง
จนเกิดอะตอมและสารประกอบอย่างง่ายๆ และ
สะสมจนกลายเป็นสารประกอบที่ซับซ้อนมากยิ่งขึ้น

ตอนแรกเริ่มเดิมทีนั้น พื้นผิวเปลือกโลกคง
มีเฉพาะน้ำและพื้นดินที่เป็นโคลนดินและแร่ธาตุต่างๆ
บรรยากาศรอบโลกคงมีสารประกอบง่ายๆ เช่น
ไนโตรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน แอมโมเนีย
แต่ไม่มีก๊าซออกซิเจน หรือถ้าจะมีอยู่บ้างก็น้อย
มาก อาจเป็นเพราะว่าออกซิเจนทำปฏิกิริยาได้ดี
กับธาตุอื่นๆ จนเกิดเป็นสารประกอบที่มั่นคงกว่า
สภาพพื้นผิวเปลือกโลกในยุคแรกเริ่มได้รับพลังงาน
ความร้อนจากแสงอาทิตย์อย่างต่อเนื่อง ซึ่งยังผล
ให้พื้นผิวเปลือกโลกมีความอบอุ่นที่อุณหภูมิระหว่าง
0-100°C และมีน้ำที่อยู่ในสถานะเป็นของเหลว

บรรยากาศที่เหมาะสมของพื้นผิวเปลือกโลก
เช่นนั้น มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อประวัติศาสตร์การ
เปลี่ยนแปลงบนพื้นผิวเปลือกโลก เพราะว่ามันน้ำที่
อยู่ในสถานะเป็นของเหลวเป็นตัวกลางที่เอื้อ



อำนวยให้เกิดปฏิกิริยา
เคมีระหว่างสารต่างๆ ได้
ดีมาก อย่างไรก็ตาม การ
ขาดแคลนก๊าซออกซิเจน
และโอโซนในยุคแรกเริ่มนั้น
มีผลกระทบที่สำคัญหลาย
ประการ เช่น รังสีอัลตราไวโอเลต

จากดวงอาทิตย์สามารถผ่านชั้นบรรยากาศ

เข้าสู่เปลือกโลกได้ในปริมาณมากเมื่อเทียบกับ
พื้นผิวเปลือกโลกในปัจจุบันที่มีก๊าซออกซิเจน
และโอโซนคอยดูดซับเอารังสีอัลตราไวโอเลตไว้ไม่
ให้ผ่านชั้นบรรยากาศลงถึงพื้นผิวเปลือกโลกได้
มากนัก รังสีอัลตราไวโอเลตมีคุณสมบัติที่เอื้อต่อ
วิวัฒนาการ สามารถทำให้พันธะเคมีระหว่าง
อะตอมแตกสลายหรือรวมตัวกันได้ง่าย ซึ่งยังผล
ให้มีสารเคมีใหม่ๆ เกิดขึ้นเสมอๆ

นั่นคือยุคเริ่มต้นของการเปลี่ยนแปลง
วิวัฒนาการทางกายภาพที่นำไปสู่การก่อตัวของสาร
ประกอบที่มีความสลับซับซ้อนมากขึ้นตามลำดับ
อย่างที่ไม่เคยมีมาก่อนบนโลก เช่น น้ำตาล นิวคลี-
โอไทด์ และกรดอะมิโน เป็นต้น การสังเคราะห์
สร้างสรรค์และสะสมสารประกอบแปลกใหม่เหล่านั้น
ในช่วงระยะเวลาที่ยาวนานเป็นร้อยๆ ล้านปีจน
ได้ที่ สุกงอม และมีความพร้อมทางด้านกายภาพ
อาจทำให้นิวคลีโอไทด์ทำปฏิกิริยารวมตัวกันเป็น
นิวคลีโอไทด์สายยาวมากขึ้น จนกลายเป็นโมเลกุล
กรดนิวคลีอิก (nucleic acid) และในขณะเดียวกัน
กรดอะมิโนรวมตัวกันเป็นสายยาวมากขึ้นจนเป็น
โมเลกุลโปรตีน (protein) สารประกอบที่สำคัญ
เหล่านี้คงสะสมและรวมตัวกันอยู่ในแอ่งน้ำที่มีความ
เข้มข้นของสารเคมีชนิดอื่นๆ ปะปนอยู่ด้วย จน
อาจเรียกได้ว่า เป็น “น้ำซุ๊ปแห่งชีวิต” (primordial
soup) และก็คงเป็นความบังเอิญอย่างที่สุดที่สรรพ
สิ่งเหล่านั้นรวมตัวกันในกาลเทศะที่เหมาะสมที่สุด
ที่ถือว่าเป็นจุดกำเนิดสิ่งมีชีวิตบนโลกนี้เป็นอย่างที่อาจ
จะไม่มีที่ใดเสมอเหมือนในระบบสุริยะ

กำเนิดสิ่งมีชีวิต

เมื่อเราจะพิจารณากำเนิดของสิ่งมีชีวิต (origin of life) บนโลกนี้ เราคงจะต้องตั้งโจทย์ในสองประเด็นหลักที่สำคัญควบคู่กันไป นั่นคือ ในประเด็นทางชีววิทยา และในประเด็นทางปรัชญา ต่อคำถามที่ว่า “สิ่งมีชีวิตคืออะไร” คงไม่ใช่เรื่องง่ายที่จะให้คำจำกัดความสิ่งมีชีวิตด้วยประโยคสั้นๆ แต่หัวใจสำคัญของสิ่งมีชีวิตก็คือการที่มีคุณสมบัติสามารถจำลองแบบตัวเองได้เพื่อให้เกิดการถ่ายทอดเผ่าพันธุ์สู่รุ่นถัดไปได้อย่างต่อเนื่องและสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ด้วยกลไกการทำงานทางเคมีภายในโครงสร้างต่างๆ ของสิ่งมีชีวิตนั้น

จากองค์ความรู้ระดับโมเลกุลในปัจจุบัน เราทราบว่า การสืบพันธุ์หมายถึง การสร้างจำลองแบบตัวเองของโมเลกุลที่เป็นข้อมูลพันธุกรรม (genetic information) ทั้งนี้ เพื่อให้เกิดความแน่นอนว่าสิ่งมีชีวิตที่เกิดขึ้นมาใหม่หรือสิ่งมีชีวิตในรุ่นใหม่ถัดไปนั้นจะมีทุกสิ่งทุกอย่างเหมือนกับของสิ่งมีชีวิตรุ่นพ่อแม่ ดังนั้น เมื่อเราจะพิจารณาถึงกำเนิดของสิ่งมีชีวิต เราก็คงจะหลีกเลี่ยงไม่พ้นที่จะต้องค้นหาคำตอบให้ได้ว่า สารประกอบชนิดใดที่มีคุณสมบัติเป็นข้อมูลพันธุกรรมและสามารถจำลองแบบตัวเองได้

จากความจริงที่เกี่ยวกับสิ่งมีชีวิตที่พบเห็นอยู่ในปัจจุบัน เราทราบว่ากรดนิวคลีอิกมีอยู่ 2 ชนิด คือ กรดดีออกซีไรโบนิวคลีอิก (Deoxyribo Nucleic acid หรือ DNA) และกรดไรโบนิวคลีอิก (Ribo Nucleic Acid หรือ RNA) และสิ่งมีชีวิตเกือบทุกชนิดมี DNA เป็นสารพันธุกรรม โดยยกเว้นไวรัสบางชนิดเท่านั้นที่มี RNA เป็นสารพันธุกรรม อย่างไรก็ตาม โมเลกุล DNA ไม่สามารถจะจำลองแบบด้วยตัวมันเองได้โดยลำพัง แต่จำเป็นต้องอาศัยเอนไซม์จำเพาะบางชนิดช่วยเป็นตัวเร่ง

ปฏิกิริยาหรือเป็นตัวคะตาลีสต์ (catalyst) เพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีในกระบวนการการจำลองแบบของ DNA ดังนั้น เราอาจนึกย้อนหลังกลับไปในอดีตกาลอันยาวนานตอนเริ่มต้นว่าสิ่งมีชีวิตที่อุบัติขึ้นมาได้เป็นครั้งแรกนั้น ต้องอาศัยโมเลกุลของสารอินทรีย์ชนิดใดที่มีคุณสมบัติเป็นข้อมูลพันธุกรรมและสารเคมีชนิดใดที่เป็นตัวทำงานช่วยเร่งปฏิกิริยาหรือตัวคะตาลีสต์

แต่ประเด็นโจทย์ที่สำคัญอยู่ที่ว่าสารอะไรเกิดก่อนและสารอะไรเกิดหลัง ระหว่างสารที่เป็นข้อมูลพันธุกรรม (กรดนิวคลีอิก) กับสารที่เป็นตัวคะตาลีสต์ (โปรตีน) ปัญหานี้สอดคล้องกับคำพังเพยที่ว่า “ไก่เกิดก่อนไข่ หรือไข่เกิดก่อนไก่” กันแน่

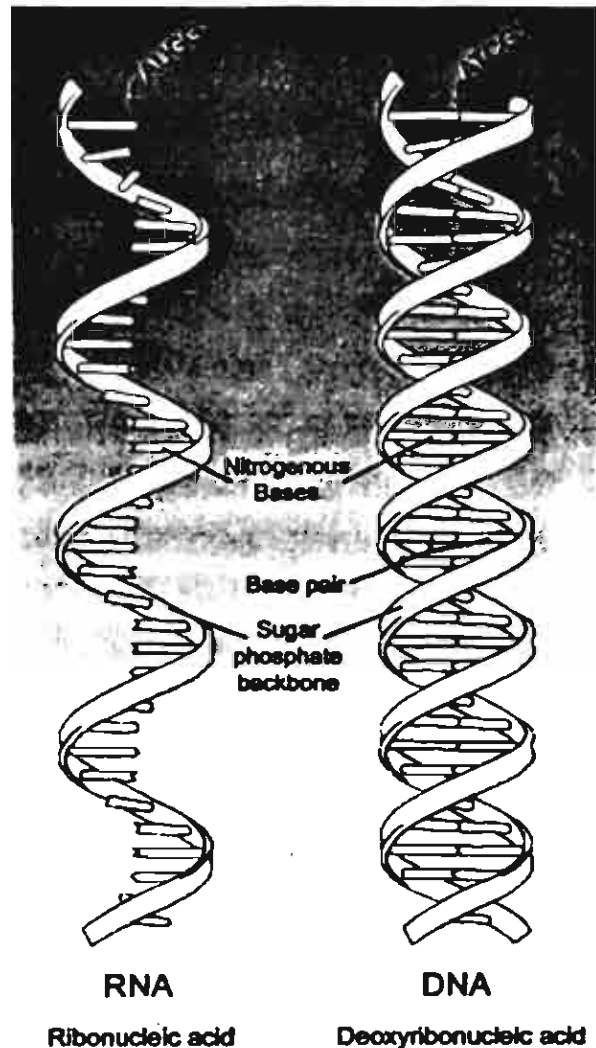
ถ้าเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในอดีตเป็นไปอย่างที่นักวิทยาศาสตร์คาดการณ์ไว้ สารอินทรีย์ที่จำเป็นที่นำไปสู่กำเนิดของสิ่งมีชีวิตจะต้องเกิดในช่วงเวลาและในสภาวะการณ์ที่เหมาะสมทุกประการ ซึ่งอาจจะเป็นความบังเอิญอย่างที่สุดและเป็นจุดจำเพาะที่ทำให้เกิดความผกผันบนพื้นผิวเปลือกโลกในขณะนั้น และผันแปรเรื่อยมาจนเป็นบรรยากาศของโลกสิ่งมีชีวิต นั่นคือ จะต้องมียังโมเลกุลกรดนิวคลีอิกและโมเลกุลโปรตีนอยู่ในที่เดียวกัน และในช่วงเวลาพร้อมๆ กันเพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาการสังเคราะห์ทางเคมีที่นำไปสู่การจำลองแบบตัวเองของสารพันธุกรรม

แนวความคิดในทางปรัชญาดังกล่าวถูกลบล้างไปเมื่อมีการค้นพบใหม่ว่า โมเลกุลกรดนิวคลีอิกชนิด RNA มีคุณสมบัติทางเคมีทั้ง 2 อย่างอยู่ในตัวเอง กล่าวคือเป็นได้ทั้งข้อมูลพันธุกรรมและเป็นได้ทั้งตัวคะตาลีสต์ด้วย ปัญหา ก็คือว่า จะเป็นไปได้หรือไม่ที่บรรยากาศของโลกในยุคเริ่มต้นนั้นเป็น “โลกของกรดนิวคลีอิก” โดยแท้

โลกของกรดนิวคลีอิก

ถ้าสิ่งมีชีวิตอุบัติขึ้นบนโลกนี้โดยความบังเอิญจริงตามแนวคิดบางกระแสในปัจจุบัน โดยมีปัจจัยสำคัญเริ่มแรกคือ สารประกอบพวกกรดนิวคลีอิก ซึ่งมีความจำเป็นต่อสิ่งมีชีวิต เพราะว่ามันมีคุณสมบัติทางเคมีที่สามารถจำลองแบบตัวเองได้ ปัญหาสำคัญก็คือ กรดนิวคลีอิกเริ่มต้นบนโลกนี้เป็นประเภทใดในจำนวน 2 ประเภทที่เรารู้จักกันดี กล่าวคือ จะเป็นพวก RNA ซึ่งเป็นโมเลกุลสายเดี่ยวที่ไม่ยาวและไม่สลับซับซ้อนมากมายนัก หรือว่าจะเป็นพวก DNA ซึ่งเป็นโมเลกุลสายเกลียวคู่ที่มีความสลับซับซ้อนและมีความยาวมากกว่าพวก RNA

ในปัจจุบัน เราคิดว่า DNA เป็นสารพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตทั่วไปที่อาศัยอยู่บนโลกนี้ ไม่ว่าจะเป็นไวรัส (ยกเว้นไวรัสบางชนิดเท่านั้นที่มีสารพันธุกรรมเป็น RNA) แบคทีเรีย พืช และสัตว์ แต่ DNA ก็มีบทบาทที่สำคัญเพียง 2 ประการคือ เป็นแหล่งรวมของข้อมูลพันธุกรรมเพื่อการถ่ายทอดสู่รุ่นถัดไป และเป็นแหล่งเก็บข้อมูลเพื่อการปรับควบคุมกระบวนการสังเคราะห์โปรตีนภายในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตทุกรูปแบบ แต่ DNA ไม่มีคุณสมบัติที่จะทำหน้าที่เป็นตัวคะตาลีสต์หรือตัวเร่งปฏิกิริยาที่ช่วยกระตุ้นหรือช่วยส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาเคมี สำหรับโปรตีนนั้น ส่วนใหญ่จะมีคุณสมบัติเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีที่ดีในปฏิกิริยาต่างๆ ของเซลล์สิ่งมีชีวิต และโปรตีนบางชนิดก็มีคุณสมบัติเป็นโครงสร้างของร่างกายสิ่งมีชีวิตด้วยเช่นกัน ไม่พบว่ามีโปรตีนชนิดใดเลยที่มีคุณสมบัติเป็นสารพันธุกรรมได้ จึงเกิดปัญหาว่า กรดนิวคลีอิกชนิดแรกสุดที่อุบัติขึ้นมาก่อนที่จะพัฒนาไปเป็นสารพันธุกรรมในหน่วยสิ่งมีชีวิตเริ่มแรกนั้นเป็นสารประเภทใดกันแน่ มีนักวิทยาศาสตร์บางกลุ่มได้มุ่งประเด็นไปที่ RNA ซึ่งมีโครงสร้างค่อนข้างเรียบง่าย ไม่ซับซ้อนเหมือนอย่าง DNA ยิ่งไปกว่านั้น RNA ยังมีคุณสมบัติในการปรับ



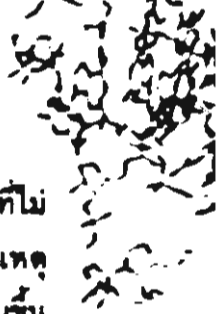
รูปที่ 1 : โครงสร้างของกรดไรโบนิวคลีอิก (Ribonucleic Acid หรือ RNA) ซึ่งเป็นโมเลกุลสายเดี่ยวที่ไม่ยาวและไม่สลับซับซ้อนมากมายนัก (ซ้าย) กับกรดดีออกซีไรโบนิวคลีอิก (Deoxyribonucleic acid หรือ DNA) ซึ่งเป็นโมเลกุลสายเกลียวคู่ที่มีความสลับซับซ้อนและมีความยาวมากกว่าพวก RNA (ขวา)

ตัวได้ดี เพราะ RNA มีส่วนร่วมในกระบวนการทางเคมีที่เกี่ยวกับการสื่อสารข้อมูลระหว่าง DNA กับโปรตีนได้อย่างเหมาะสมอย่างยิ่ง นั่นคือ DNA → RNA → โปรตีน ซึ่งเป็นกิจกรรมที่สำคัญในการทำงานของเซลล์สิ่งมีชีวิต แต่ที่นักวิทยาศาสตร์ยังไม่แน่ใจว่า RNA จะเป็นสารเริ่มต้นในกระบวนการทางเคมีที่นำไปสู่กำเนิดของสิ่งมีชีวิตเพราะว่ายังไม่มียังข้อมูลใดบ่งชี้ว่า RNA มีคุณสมบัติเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีหรือเป็นตัวคะตาลีสต์ได้คล้ายกับเอนไซม์ นักวิทยาศาสตร์ส่วนใหญ่จึงมีความเชื่อ

ตลอดมาในทฤษฎีที่ว่า DNA เป็นสารพันธุกรรม เริ่มต้นของสิ่งมีชีวิตที่อุบัติขึ้นมาครั้งแรกสุด แต่มีนักวิทยาศาสตร์บางคนเริ่มลังเลใจเกี่ยวกับความเป็นไปได้ที่ว่า RNA น่าจะเป็นสารพันธุกรรมเริ่มต้นที่แท้จริง เพราะว่าในปี ค.ศ. 1970 เมื่อนักวิทยาศาสตร์ชาวอเมริกัน 2 ท่าน คือ H. Temin และ D. Baltimore ได้ค้นพบเอนไซม์ที่มีชื่อว่า reverse transcriptase ซึ่งมีคุณสมบัติช่วยเร่งปฏิกิริยาเคมีในการสังเคราะห์ DNA สายเกลียวคู่จากต้นแบบของ RNA สายเดี่ยว ในขณะเดียวกันนักวิทยาศาสตร์ชาวอเมริกันอีก 2 ท่าน คือ S. Altman และ T. Cech ได้ค้นพบโดยบังเอิญว่า RNA มีคุณสมบัติเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรือเป็นเอนไซม์ที่ได้ชื่อว่า ไรโบไซม์ (ribozyme) ที่สามารถตัดโมเลกุล RNA ของตัวเองได้ และตัดโมเลกุลของ RNA ตัวอื่นได้ด้วย การค้นพบดังกล่าวนี้นำไปสู่ทฤษฎีที่น่าเชื่อถือได้ว่า RNA โมเลกุลที่อุบัติขึ้นมาในยุคแรก น่าจะเป็นสารประกอบที่มีคุณสมบัติพิเศษทั้ง 2 อย่างภายในตัวเอง คือ สามารถจำลองแบบตัวเองได้และสามารถเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ด้วย ถ้าทฤษฎีนี้เป็นจริง โลกในยุคแรกเริ่มก่อนที่จะมีสิ่งมีชีวิตอุบัติขึ้น คงจะมีสารประกอบพวก RNA อยู่ในธรรมชาติมากมายพอสมควร ดังนั้น ในปี ค.ศ. 1986 W. Gilbert จึงได้ตั้งชื่อโลกในยุคนั้นได้อย่างเหมาะสมว่า “โลกของ RNA” แต่ก็คงไม่มีทางเป็นไปได้ที่นักวิทยาศาสตร์จะทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อพิสูจน์ว่า ทฤษฎี “โลกของ RNA” ในอดีตกลั่นเป็นจริงหรือไม่ อย่างไรก็ตาม ถ้าเรามีความเชื่อในทฤษฎีนี้ เราก็คงจะคาดเดาได้ว่าในช่วงที่โลกสงบลงพอสมควรและพร้อมที่จะงัดเปิดประตูต้อนรับโลกใหม่ในบรรยากาศของ RNA นั้น คงใช้เวลายาวนานประมาณ 200-300 ล้านปีหลังจากที่โลกได้ผ่านวิกฤตการณ์ความหมกหมุ่นบนเปลือกโลก อันเนื่องมาจากแผ่นดินไหวและภูเขาไฟระเบิด รวมทั้งการถูกรบกวนโดยอุกกาบาตน้อยใหญ่มาเป็นเวลานานกว่า 500 ล้านปี

โลกของ RNA

แนวทางหนึ่งที่นักวิทยาศาสตร์พอจะคาดเดาเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในยุคแรกเริ่มได้ คือ เกิดปฏิกิริยาเคมีอย่างต่อเนื่องในสภาวะแวดล้อมที่เป็นน้ำ จนเกิดเป็น “น้ำซุ๊ปแห่งชีวิต” ที่ประกอบด้วยสารต่างๆ เช่น นิวคลีโอไทด์ กรดอะมิโน มีเทน แอมโมเนีย เป็นต้น และหน่วยย่อยนิวคลีโอไทด์คงทำปฏิกิริยาเคมีกันจนเกิดเป็น RNA สายสั้นๆ เสมือนเป็น “อิฐ” ก้อนแรกๆ ของกระบวนการสร้างสิ่งมีชีวิตบนโลกนี้ และพัฒนามาเป็น RNA สายยาวมากขึ้นตามลำดับ โดยการเพิ่มหน่วยย่อยนิวคลีโอไทด์เข้าไปที่สายเดิม จนถึงจุดหนึ่งที่ RNA พัฒนาทางด้านโครงสร้างจนมีคุณสมบัติที่สามารถจำลองแบบตัวเองได้โดยอาศัยการช่วยตัวเองจากคุณสมบัติที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาภายในตัวเองด้วย ซึ่งถือว่าเป็นจุดหมกหมุ่นที่สำคัญยิ่งที่นำไปสู่การสร้างโมเลกุล RNA ขึ้นมามากมาย โดยที่สาย RNA ส่วนใหญ่จะมีลำดับเบสเหมือนสายต้นแบบ แต่อาจมี RNA บางสายที่ผิดแผกแตกต่างกันออกไปกลายเป็นสาย RNA รูปแบบใหม่ๆ ทำให้เกิดความหลากหลายในโครงสร้างและการทำงานของ RNA ตามกาลเวลาที่ผ่านไป โมเลกุล RNA บางสายอาจจำลองแบบตนเองได้เร็วกว่าบางสาย และโมเลกุล RNA บางรูปแบบมีความคงทนต่อสภาวะการณ์ในคอนั้นได้ดีกว่ารูปแบบอื่นจนก่อให้เกิดความเหลื่อมล้ำและการได้เปรียบเสียเปรียบในคุณสมบัติทางเคมี อาจเรียกได้ว่าเป็นยุคของการคัดเลือกทางโมเลกุล (molecular selection) ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีวิวัฒนาการสิ่งมีชีวิตโดยการคัดเลือกโดยธรรมชาติ (natural selection) ของชาร์ลส์ ดาร์วิน (Charles Darwin) ที่บ่งชี้ถึงความสำคัญของความผันแปรทางพันธุกรรม การแข่งขัน การคัดเลือก และการสืบทอดสายพันธุ์ของพวกที่มีคุณสมบัติเหมาะสมที่สุด (survival of the fittest)



ตามทฤษฎี “โลกของ RNA” นักวิทยาศาสตร์คาดการณ์ว่า ในยุคเริ่มต้นคงมีโมเลกุล RNA อยู่มากมายหลายรูปแบบดังที่กล่าวมาข้างบน เมื่อมีการพัฒนาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีจนทำให้เกิดโมเลกุลขนาดใหญ่ขึ้นหลายรูปแบบ โดยเฉพาะโมเลกุลสายยาวของกรดนิวคลีอิกและของกรดอะมิโน และโมเลกุลขนาดใหญ่เหล่านี้มีคุณสมบัติทางเคมีทำให้มันสามารถจำลองแบบตัวเองขึ้นมาได้ด้วยกลไกทางเคมีที่เหมาะสมเมื่อมีวัตถุดิบที่เป็นโมเลกุลขนาดเล็กๆ อยู่พร้อมรอบๆ บริเวณนั้น โดยโมเลกุลที่ถูกจำลองแบบขึ้นมาใหม่ ต้องมีองค์ประกอบโครงสร้างและสมบัติทางเคมีเหมือนกับโมเลกุลต้นแบบทุกประการ กล่าวคือ สามารถควบคุมและกำหนดโครงสร้างของโปรตีนได้ เมื่อมีวิวัฒนาการเชิงโมเลกุล (molecular evolution) มาถึงจุดที่กรดนิวคลีอิกและโปรตีนมีการประสานประโยชน์ซึ่งกันและกันได้ โดยกรดนิวคลีอิกเป็นตัวกำหนดโครงสร้างและคุณสมบัติของโปรตีน ในขณะที่โปรตีนก็มีส่วนช่วยเร่งปฏิกิริยาเคมีในการจำลองแบบตัวเองของกรดนิวคลีอิก จึงทำให้มีการเพิ่มจำนวนโมเลกุลของกรดนิวคลีอิกและของโปรตีนที่ทำงานรวมกันได้ภายใต้กฎเกณฑ์ธรรมชาติ เมื่อมีสารประกอบที่สำคัญ 2 ประเภทนี้มากมาย รวมทั้งสารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดเล็กอื่นๆ ที่เป็นวัตถุดิบอย่างพร้อมมูล จึงมีการพัฒนาขั้นต่อไปได้อย่างราบรื่นและรวดเร็ว โดยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักสำคัญ 2 ประการ คือ

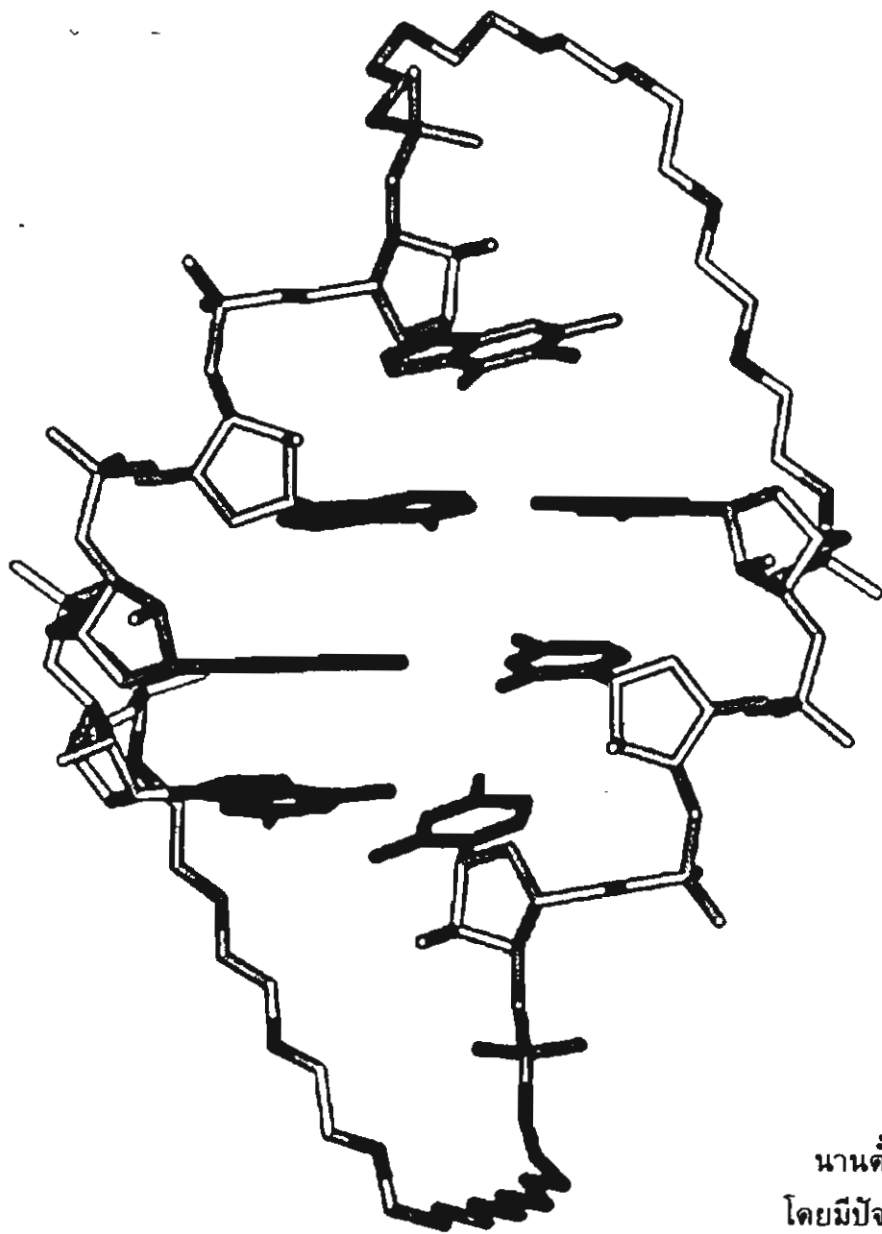
(1) หน่วยโครงสร้างที่สามารถจำลองแบบหรือสืบทอดสายพันธุ์ตัวเอง (self-reproduction) กล่าวคือ สามารถสร้างจำนวนหน่วยเพิ่มขึ้นได้จาก $1 \rightarrow 2$ จาก $2 \rightarrow 4$ จาก $4 \rightarrow 8$ ฯลฯ ไปได้ตลอด ซึ่งจะทำให้มีจำนวนหน่วยโครงสร้างที่เหมือนๆ กันเพิ่มมากขึ้นเป็นทวีคูณ

(2) มีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบโครงสร้างของหน่วยพันธุกรรมหรือมิวเทชัน (mutation) ซึ่งหมายความว่า กระบวนการสร้างจำลองแบบของ

สายกรดนิวคลีอิกนั้น อาจมีเหตุการณ์ทางเคมีที่ไม่ปกติเกิดขึ้นได้ในบางจุดของโมเลกุลและเป็นเหตุให้โมเลกุลของกรดนิวคลีอิกที่สร้างจำลองแบบขึ้นมาใหม่นั้นผิดแผกแตกต่างไปจากโมเลกุลต้นแบบบ้างเล็กน้อย เหตุการณ์เปลี่ยนแปลงทางเคมีเช่นนี้มีโอกาสเกิดขึ้นได้เสมอตามกาลเทศะที่แตกต่างกันธรรมชาติของการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุลกรดนิวคลีอิกในยุคแรกเริ่มคาดว่าจะมี 2 รูปแบบคือ

รูปแบบที่ 1 ข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นในกระบวนการจำลองแบบตัวเองของกรดนิวคลีอิกนั้น ทำให้ผลลัพธ์ที่เป็นโครงสร้างของกรดนิวคลีอิกใหม่ไม่เหมือนกัน และถ้าโครงสร้างของกรดนิวคลีอิกรูปแบบใหม่ไม่สามารถทำงานควบคุมการสร้างโปรตีนได้อย่างปกติ หน่วยโครงสร้างที่มีโมเลกุลที่ผิดปกตินี้ก็จะไม่สมบูรณ์และไม่สามารถดำเนินการพัฒนาต่อไปได้ และหน่วยโครงสร้างใหม่นั้นก็จะยุติลงเพียงแค่นั้น แต่ถ้าโครงสร้างโมเลกุลกรดนิวคลีอิกรูปแบบใหม่ยังคงสามารถควบคุมการสร้างโปรตีนได้เหมือนเดิมเสมือนว่าไม่มีอะไรเกิดขึ้น หน่วยโครงสร้างใหม่นั้นก็จะสามารถจำลองแบบตัวเองสืบเนื่องต่อไปได้ทำให้มีจำนวนหน่วยที่มีโครงสร้างเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมเพิ่มมากขึ้นจนกลายเป็นส่วนหนึ่งของกลุ่มนั้น

รูปแบบที่ 2 กรดนิวคลีอิกอาจเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมโดยการมีจำนวนหน่วยย่อยนิวคลีโอไทด์เพิ่มมามากกว่าเดิมในกระบวนการจำลองแบบกรดนิวคลีอิก ซึ่งยังผลให้กรดนิวคลีอิกที่เกิดขึ้นมาใหม่มีสายยาวมากขึ้นกว่าเดิม ทำให้สามารถควบคุมการสร้างโปรตีนสายยาวกว่าเดิมเป็นเงาตามตัวไปด้วย เหตุการณ์เช่นนี้เกิดขึ้นเสมอๆ และเป็นปัจจัยสำคัญช่วยทำให้การทำงานของหน่วยสิ่งมีชีวิตมีความซับซ้อนมากขึ้นและสามารถสืบทอดสายพันธุ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นด้วย เมื่อมีหน่วยสิ่งมีชีวิตใหม่ๆ ที่หลากหลายในทางโครงสร้างและในทางเคมีที่สลับซับซ้อนมากขึ้น หน่วยสิ่งมีชีวิตรูปแบบใหม่ๆ เหล่านั้นก็อาจทดแทนหน่วยสิ่งมีชีวิตรูปแบบเก่า ๆ หรือในบางกรณี อาจมีสิ่งมีชีวิตรูปแบบ



ในขณะที่หน่วยสิ่งมีชีวิตที่มีรูปแบบใหม่สามารถขยายพันธุ์ เพิ่มปริมาณหน่วยได้ดีในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า เป็นต้น ในกรณีเช่นนี้ จะไม่มีการแทนที่กัน จากหน่วยสิ่งมีชีวิตที่มีรูปแบบเดิมไปเป็นหน่วยสิ่งมีชีวิตที่มีรูปแบบใหม่ แต่จะเป็นการแยกถิ่นอาศัย (habitat) ที่แตกต่างกัน และแต่ละกลุ่มก็เพิ่มปริมาณในถิ่นอาศัยที่ตัวเองเหมาะสมกว่า โดยมีการแบ่งสันปันส่วนกันอย่างลงตัว ไม่มีหน่วยสิ่งมีชีวิตใดได้เปรียบหรือเสียเปรียบมากกว่ากัน แต่เป็นการเลือกสรรหรือการคัดเลือก โดยธรรมชาติอย่างแท้จริง ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่มีมานานตั้งแต่เริ่มมีปรากฏการณ์ของสิ่งมีชีวิต

โดยมีปัจจัยหลักที่สำคัญ 2 ประการคือ การสร้างจำลองแบบตัวเอง และการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมหรือมิวเทชันดังที่ได้กล่าวมาแล้วปรากฏการณ์ธรรมชาติเช่นนี้มีมานาน และคงเกิดขึ้นตลอดกาล แต่คาร์วินเพ็งจะมาค้นพบความจริงเมื่อประมาณ 150 ปีที่ผ่านมา

จะเห็นได้ว่าแนวโน้มของหน่วยสิ่งมีชีวิตจะเป็นไปในทิศทางที่มีการพัฒนาจากสภาพที่เรียบง่ายไปสู่สภาพที่สลับซับซ้อนมากยิ่งขึ้น เปรียบเทียบได้กับการพัฒนาเทคโนโลยีด้านคอมพิวเตอร์ที่เริ่มต้นจากโครงสร้างง่ายๆ ที่มีหน่วยความจำในโปรแกรมไม่มากนัก แล้วจึงค่อยๆ พัฒนาหน่วยความจำให้มีขนาดเล็กลงจนสามารถบรรจุหน่วยความจำได้จำนวนมากขึ้นจนกลายเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงอย่างที่เราเห็นอยู่ในทุกวันนี้

ใหม่อยู่ปะปนกับพวกหน่วยสิ่งมีชีวิตรูปแบบเก่าๆ ซึ่งเป็นสภาวะการณ์ที่เปิดโอกาสให้มีการแข่งขันกันระหว่างแบบใหม่กับแบบเก่า อาจกล่าวได้ว่า มีการคัดเลือกโดยธรรมชาติตั้งแต่เริ่มมีสิ่งมีชีวิตอุบัติขึ้นมาบนโลกนี้แล้ว

เมื่อมีการคัดเลือกและโปรตีนรูปแบบต่างๆ อยู่ร่วมกัน อาจเป็นไปได้ที่หน่วยสิ่งมีชีวิตที่มีรูปแบบสารประกอบที่แตกต่างกันนั้น จะตอบสนองต่อสภาวะแวดล้อมได้แตกต่างกันด้วย เช่น หน่วยสิ่งมีชีวิตที่มีรูปแบบดั้งเดิมอาจจำลองแบบและเพิ่มปริมาณหน่วยได้ดีในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูง

วิวัฒนาการเชิงโมเลกุลคงจะเกิดขึ้นในลักษณะการคล้ายกับวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตตามทฤษฎีของคาร์วิน และวิวัฒนาการของโมเลกุล RNA ในลำดับต่อมา คงไม่ใช่เพียงแค่โครงสร้างของ RNA ที่พัฒนาไปมีรูปแบบต่างๆ กัน อันได้แก่ tRNA, rRNA, mRNA เท่านั้น แต่คงจะเป็นเรื่องที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติการทำงานของ RNA แต่ละชนิดในกระบวนการควบคุมการสังเคราะห์โปรตีนด้วย ยิ่งไปกว่านั้น RNA ที่มีโครงสร้างและคุณสมบัติการทำงานที่ก่อให้เกิดการสังเคราะห์โปรตีนได้ดีในยุคนั้น คงจะมีข้อได้เปรียบในเชิงการคัดเลือกโดยธรรมชาติ เมื่อการวิวัฒนาการเปลี่ยนแปลงในระดับโมเลกุลมาถึงขั้นนี้แล้วและบรรยากาศของโลกมีความพร้อมทางเคมีในทุกๆ ด้าน “น้ำซุปแห่งชีวิต” ก็คงก่อตัวขึ้นมาเป็น “เซลล์เริ่มต้น” (proto cell) หรือ “เซลล์ดึกดำบรรพ์” (primitive cell) ที่สามารถเจริญเติบโตได้และสามารถสร้างเซลล์ขึ้นมาใหม่ได้โดยการแบ่งแยกออกจากเซลล์เดิม จากหนึ่งเซลล์เป็นสองเซลล์ นั่นคือจุดกำเนิดของเซลล์สิ่งมีชีวิตที่คาดว่าอุบัติขึ้นมาเป็นครั้งแรกเมื่อประมาณ 3,800-3,600 ล้านปีที่แล้ว จากนั้นเซลล์ดึกดำบรรพ์ก็วิวัฒนาการเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะแวดล้อมโดยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก คือการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมหรือมิวเทชันควบคู่กับการคัดเลือกโดยธรรมชาติทำให้เกิดความผันแปรทางพันธุกรรม และผลผลิตที่เป็นโปรตีนที่มีคุณสมบัติผิดแผกแตกต่างกันตามไปด้วย

นักวิทยาศาสตร์ไม่สามารถคาดการณ์ได้ว่า สิ่งมีชีวิตที่มีสารพันธุกรรมเป็น DNA เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่เป็น “โลกของ RNA” หรืออุบัติขึ้นมาหลังจากนั้น แต่เป็นที่เข้าใจกันว่า พันธุกรรมในรูปแบบของ RNA คงมีการพัฒนาการเปลี่ยนแปลงไปโดยกลไกการเกิดมิวเทชันจนทำให้สามารถสร้างโปรตีนหรือเอนไซม์ที่เอื้ออำนวยให้มีการสังเคราะห์

นิวคลีโอไทด์สายเกลียวคู่หรือ DNA จากโมเลกุลต้นแบบของนิวคลีโอไทด์สายเดี่ยวหรือ RNA แต่แน่นอนที่สุดที่ข้อมูลพันธุกรรมที่อยู่ในรูปแบบของสาย DNA มีข้อได้เปรียบมากกว่าในรูปแบบของ RNA ในสภาวะการณ์ทั่วไป จึงไม่ใช่เรื่องที่น่าแปลกใจว่า เซลล์ดึกดำบรรพ์ยุคต่อๆ มาได้พัฒนามาเป็นเซลล์ที่มี DNA เป็นสารพันธุกรรมอย่างสมบูรณ์แบบจนกระทั่งทุกวันนี้

จะเห็นได้ว่า ข้อสันนิษฐานต่างๆ ดังที่กล่าวมานี้ มีโอกาสเป็นไปได้สูงมาก แต่ก็คงเป็นเรื่องยากที่จะหาทางพิสูจน์ได้ในห้องปฏิบัติการ อย่างไรก็ตาม นักวิทยาศาสตร์ก็คงไม่ยอมแพ้อย่างง่ายดาย โดยเฉพาะความรู้ทางวิชาการยุคใหม่ที่นักวิทยาศาสตร์ใช้ในการแสวงหาข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับสิ่งมีชีวิตได้กว้างขวางมากยิ่งขึ้น ทั้งบนบกและในทะเลลึก ตลอดจนสิ่งมีชีวิตที่อาจมีอยู่นอกพื้นพิภพนี้

อย่างไรก็ตาม มีนักวิทยาศาสตร์อีกหลายท่านที่มีความเชื่อว่า สิ่งมีชีวิตที่ปรากฏบนโลกนี้มีต้นกำเนิดมาจากนอกพิภพ โดยเฉพาะนักฟิสิกส์ชาวอังกฤษชื่อ Fred Hoyle และผู้ร่วมงานมีความเชื่อในทฤษฎีแพนสเปิร์เมีย (panspermia theory) ที่เสนอแนวความคิดว่า สารอินทรีย์ที่จำเป็นสำหรับสิ่งมีชีวิตมีอยู่ทั่วไปนอกโลก และแพร่กระจายไปในห้วงอวกาศและอาจล่องลอยมาพร้อมกับสะเก็ดของดาวเคราะห์น้อยหรือสะเก็ดอวกาศที่ตกลงสู่โลกเราเมื่อหลายพันล้านปีที่ผ่านมา ทฤษฎีนี้มีความเป็นไปได้มากขึ้น เมื่อมีการค้นพบเมื่อกลางปี 2539 ว่า มีร่องรอยของสิ่งมีชีวิตคล้ายพวกจุลินทรีย์ที่ติดมากับลูกอวกาศที่เชื่อว่ากระเด็นหลุดออกมาจากดาวอังคารเมื่อประมาณ 16 ล้านปีที่แล้ว และตกลงสู่โลกบริเวณทวีปแอนตาร์กติกาในชั่วโลกได้เมื่อประมาณ 13,000 ปีที่แล้ว ถ้าการค้นพบนี้เป็นจริงอย่างที่นักวิทยาศาสตร์คาดคิดกันไว้ ก็มีความเป็นไปได้ที่สิ่งมีชีวิตอุบัติขึ้นมาบนดาวอังคารเมื่อ

ประมาณ 3,500 ล้านปี พร้อมๆ กับสิ่งมีชีวิตที่อุบัติขึ้นมาบนโลกนี้ สิ่งที่คุณพบใหม่นี้ไม่ได้ให้คำตอบชัดเจนนัก แต่กลับเป็นประเด็นคำถามขึ้นมาใหม่ว่าถ้าสิ่งมีชีวิตเกิดขึ้นบนดาวอังคารจริง สรรพชีวิตเหล่านั้นเกิดขึ้นมาได้อย่างไร มีวิวัฒนาการเป็นแบบใด จะเหมือนปรากฏการณ์ธรรมชาติบน

โลกเราหรือไม่

คำถามเหล่านี้คงต้องรอการค้นคว้าหาคำตอบจากการสำรวจดาวอังคารโดยโครงการ NASA ที่กำลังปฏิบัติการอยู่ในขณะนี้ ความรู้พื้นฐานเบื้องต้นเช่นนี้ คงจะให้คำตอบเกี่ยวกับกำเนิดของสิ่งมีชีวิตบนโลกเราได้บ้างไม่มากนัก

วิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตยุคดึกดำบรรพ์

การศึกษาหาความรู้เกี่ยวกับประวัติศาสตร์และเหตุการณ์ต่างๆ ของสิ่งมีชีวิตและสิ่งไม่มีชีวิตที่เกิดขึ้นในอดีต ต้องอาศัยการศึกษาหาข้อมูลจากซากดึกดำบรรพ์ (fossil จากภาษาละติน fossilis = ขุดมาจากดินหรือหิน) โดยเฉพาะที่เกิดจากสิ่งมีชีวิต ไม่ว่าจะเป็นพวกจุลินทรีย์ สาหร่าย พืชและสัตว์ที่ตายในสภาวะการที่ขาดแคลนอากาศ ในช่องเหลวหรือในทราย และโคลนตมที่ไหลทับถมตกตะกอนลงสู่พื้นล่างของแม่น้ำ ลำคลอง หนอง บึง ทะเลสาบ ตลอดจนพื้นล่างของทะเลและมหาสมุทร ตะกอนที่ทับถมสะสมมานานจะถูกอัดแน่นจนกลายเป็นชั้นหิน หรือลาวาจากการระเบิดของภูเขาไฟและกลายเป็นหินในกาลต่อมา ทำให้ร่างกายของสิ่งมีชีวิตเหล่านั้นไม่เน่าเปื่อยและมีรูปร่างอยู่เช่นนั้นเป็นเวลายาวนาน เช่น ซากกระดูกและซากฟันของสัตว์ ซากเปลือกหอยที่ฝังอยู่ในชั้นหินเป็นเวลานับร้อยนับพันล้านปี ซากดึกดำบรรพ์ที่ฝังลงในอำพันซึ่งเกิดจากยางสนหรือยางเรซินของพืชกอนิเฟอร์ในยุคเพอร์เมียน เป็นต้น ซากดึกดำบรรพ์ช่วยให้ข้อมูลเกี่ยวกับสิ่งมีชีวิตในอดีต (fossil record) เพราะชั้นหินที่มีอายุต่างๆ กันนั้น เปรียบเสมือนเป็นปฏิทินที่บ่งบอกเวลาตามมาตรารังสี (geological time scale) ซึ่งจะสะท้อนให้ทราบถึงประวัติศาสตร์ของสิ่งมีชีวิตในอดีต การศึกษาด้าน

ชีววิทยาของซากดึกดำบรรพ์เป็นวิทยาศาสตร์ที่สำคัญแขนงหนึ่งที่เรียกว่า บรรพ์ชีว (paleobiology)

ก้าวแรกอันยาวนานของวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต

ดังที่กล่าวไว้ในตอนต้นว่า นักวิทยาศาสตร์สันนิษฐานว่า สิ่งมีชีวิตอุบัติขึ้นมาบนโลกนี้เมื่อประมาณ 3,800-3,600 ล้านปีมาแล้ว และมีวิวัฒนาการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องในช่วงมหายุคพรีแคมเบรียน (Precambrian era) นี้ ซึ่งกินเวลายาวนานประมาณ 3,000 ล้านปี แต่สิ่งมีชีวิตที่อยู่ในช่วงเวลายาวนานนี้ มีเพียงพวกจุลินทรีย์ที่มีโครงสร้างไม่ต่างไปจากพวกแบคทีเรียที่เรารู้จักกันในยุคปัจจุบัน ทั้งๆ ที่บรรยากาศของโลกในมหายุคพรีแคมเบรียนนั้นแตกต่างจากยุคปัจจุบันโดยสิ้นเชิง อย่างไรก็ตาม กระบวนการเปลี่ยนแปลงวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตยังคงเหมือนกันไม่ว่าจะเป็นยุคใดสมัยใดก็ตาม ดังจะเห็นได้ว่า ความแตกต่างผันแปรทางพันธุกรรม (genetic variation) ของสิ่งมีชีวิตแต่ละหน่วยสะท้อนให้เห็นว่า สิ่งมีชีวิตบางหน่วยมีพันธุกรรมที่เหมาะสมกับสภาวะแวดล้อมมากกว่าบางหน่วย ทำให้หน่วยสิ่งมีชีวิตที่เหมาะสมสามารถอยู่รอดและ

ถ่ายทอดพันธุกรรมสู่รุ่นต่อไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ การคัดเลือกโดยธรรมชาติเช่นนี้ ทำให้เกิดสิ่งมีชีวิตรูปแบบใหม่ๆ ซึ่งส่งผลให้สิ่งแวดล้อมทั้งทางชีวภาพและทางกายภาพเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ยังผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงวิวัฒนาการสิ่งมีชีวิตอย่างต่อเนื่องตามกาลเทศะที่ผ่านไป จะเห็นได้ว่า เหตุการณ์สำคัญๆ ในวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตที่เกิดขึ้นในมหายุคพรีแคมเบรียนเป็นเรื่องที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนากลไกทางด้านชีวเคมีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (photosynthesis) โดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ ให้ผลผลิตเป็นคาร์โบไฮเดรตกับก๊าซออกซิเจนซึ่งถูกปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศนอกเซลล์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงบรรยากาศของโลกอย่างมาก รวมทั้งมีผลกระทบต่อการปรับตัวทางด้านชีววิทยาเพื่อการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิตในช่วงเวลานั้นด้วย โดยสิ่งมีชีวิตในเวลานั้นจะต้องมีคุณสมบัติที่ทนทานต่อสภาวะการที่มีความหนาแน่นของก๊าซออกซิเจนได้ดี จนทำให้สิ่งมีชีวิตรุ่นต่อไป มีการพัฒนากลไกการดำรงชีวิตที่เรียกว่า เมตาโบลิซึม (metabolism) ที่สามารถนำเอาก๊าซออกซิเจนจากบรรยากาศโดยรอบมาใช้ในกระบวนการย่อยสลายอาหารเพื่อให้เกิดพลังงานทางเคมีที่เรียกว่า ATP ที่เหมาะกับการดำรงชีวิต รวมทั้งผลผลิตที่ปล่อยออกมาคือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ นั่นคือ ต้นกำเนิดของกลไกการหายใจระดับเซลล์ (cellular respiration) การเปลี่ยนแปลงวิวัฒนาการทางชีวเคมีเช่นนี้ นำไปสู่สภาวะสมดุลระหว่างก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในเวลาต่อมา

เหตุการณ์สำคัญอีกประการหนึ่งที่คาดว่าจะเกิดขึ้นกับสิ่งมีชีวิตในมหายุคพรีแคมเบรียน คือ การเกิดเซลล์รูปแบบใหม่ที่มีหน่วยพันธุกรรมหรือยีน (gene) รวมตัวกันเป็นรูปร่างโครงสร้างชัดเจนอยู่ภายในบริเวณจำกัดที่ห่อหุ้มโดยเยื่อหุ้ม

(membrane) เรียกโครงสร้างที่อยู่ภายในเซลล์นี้ว่า นิวเคลียส (nucleus) และเรียกสิ่งมีชีวิตชนิดที่มีนิวเคลียสนี้ว่า ยูคาริโอต (eukaryote จากภาษากรีก eu = แท้จริง, karyon = เมล็ดหรือเปลือกหุ้ม) ส่วนพวกบรรพบุรุษที่ไม่มีนิวเคลียสเรียกว่า โปรคาริโอต (prokaryote จากภาษากรีก pro = ก่อน, karyon = เมล็ดหรือเปลือกหุ้ม)

เซลล์สิ่งมีชีวิตที่มีการแบ่งขอบเขตทางโครงสร้างและบทบาทหน้าที่การทำงานของนิวเคลียสอย่างชัดเจนดังกล่าว ทำให้มีประสิทธิภาพในการทำงานดีกว่าเซลล์ที่ไม่มีนิวเคลียส แต่ปรากฏการณ์ที่สำคัญที่สุดที่เกิดขึ้นกับเซลล์ที่มีนิวเคลียส คือ มีวิวัฒนาการกลไกการสืบพันธุ์ที่ก้าวหน้าไปเป็นแบบอาศัยเพศ โดยมีหน่วยสิ่งมีชีวิต 2 หน่วยที่มีคุณสมบัติทาง “เพศ” แตกต่างกันเข้ามามีส่วนร่วมในกระบวนการถ่ายทอดพันธุกรรมไปสู่รุ่นถัดไป ปรากฏการณ์สำคัญเช่นนี้มีผลอย่างยิ่งในทางสร้างสรรค์และสะสมองค์ประกอบทางพันธุกรรมรูปแบบใหม่ๆ ภายในเซลล์ที่เกิดมาใหม่ภายในกลุ่มหรือภายในประชากร ซึ่งส่งผลให้เกิดการปรับตัวของสิ่งมีชีวิตและการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้น การเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่เหมาะสมกับสภาวะการดำรงชีพของสิ่งมีชีวิตจากเซลล์ที่ไม่มีนิวเคลียสไปเป็นเซลล์ที่มีนิวเคลียส เป็นเหตุการณ์สำคัญที่เกิดขึ้นในมหายุคพรีแคมเบรียน และเป็นรากเหง้าที่สำคัญที่สิ่งมีชีวิตเซลล์เดียววิวัฒนาการเปลี่ยนแปลงต่อไปเป็นหน่วยสิ่งมีชีวิตหลายเซลล์ (multicellular organism) แบบก้าวหน้าที่เริ่มแพร่กระจายขยายเผ่าพันธุ์มากขึ้นในยุคต่อๆ มา

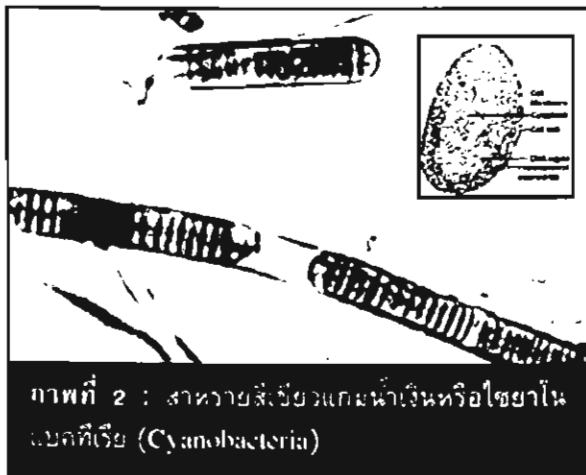
การศึกษาประวัติศาสตร์ความเป็นมาของสิ่งมีชีวิตในมหายุคพรีแคมเบรียน ส่วนมากจะได้ข้อมูลจากซากดึกดำบรรพ์ของพวกจุลินทรีย์ที่มีร่องรอยหลงเหลืออยู่บ้างในชั้นหินที่เก่าแก่ โดยเฉพาะข้อมูลเกี่ยวกับขนาด รูปร่าง และโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของเซลล์และสิ่งที่อยู่ภายในเซลล์

ว่าเรียบง่ายหรือสลับซับซ้อนมากนักน้อยเพียงใด อย่างไรก็ตาม การศึกษาหาข้อมูลด้านความสามารถและคุณสมบัติทางชีวเคมีที่แตกต่างกันมากมายในสิ่งมีชีวิตในยุคปัจจุบันก็เป็นประโยชน์ในทางช่วยชี้แนะว่า สิ่งมีชีวิตในอดีตน่าจะมีกิจกรรมและมีความสามารถทางชีวเคมีเป็นอย่างไรบ้างเมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งมีชีวิตยุคใหม่ นอกจากนั้น แล้วข้อมูลทางด้านสารอินทรีย์พวกแร่ธาตุต่างๆ ที่มีอยู่ในชั้นหินเก่าแก่เหล่านั้น จะช่วยสะท้อนให้เราทราบถึงสภาพแวดล้อมที่ได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงใหม่ๆ ในทางชีววิทยาของยุคนั้นๆ ได้บ้างพอสมควร ข้อมูลทางด้านกายภาพและด้านชีวภาพดังกล่าว ช่วยทำให้นักวิทยาศาสตร์เข้าใจในบริบทของกระบวนการเปลี่ยนแปลงวิวัฒนาการดีขึ้น

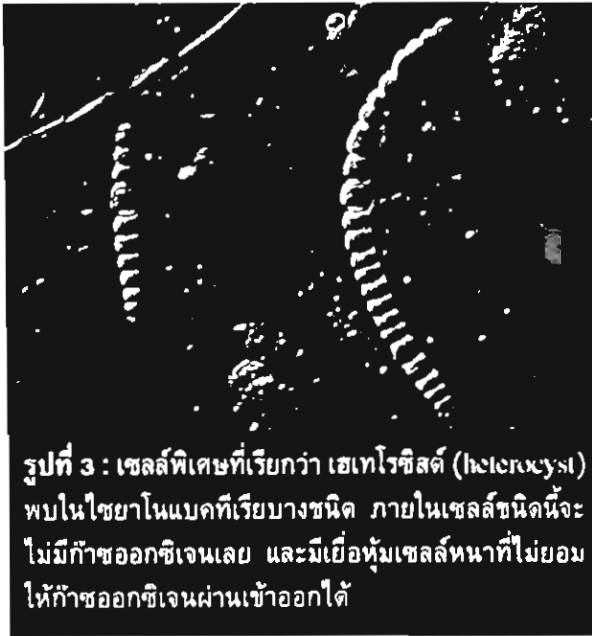
สิ่งมีชีวิตพวกโพรคาริโอตที่อุบัติขึ้นมาในมหายุคพรีแคมเบรียนคงจะมีรูปแบบโครงสร้างของเซลล์ที่ไม่หลากหลายมากมายเท่าใดนัก แต่น่าจะมีคุณสมบัติทางชีวเคมีที่เกี่ยวกับกระบวนการเมทาโบลิซึมที่ค่อนข้างหลากหลายพอสมควร เมื่อเปรียบเทียบกับพวกยูคาริโอตร่วมสมัย ซึ่งถือว่าเป็นพวกสืบทอดสายพันธุ์มาจากพวกโพรคาริโอต เช่น พวกโพรคาริโอตยุคแรกคงจะมีคุณสมบัติทางชีวเคมีที่มีความทนทานต่อปริมาณความเข้มข้นของออกซิเจนในระดับต่างๆ อย่างกว้างขวางมาก นับตั้งแต่พวกที่ไม่สามารถทนต่อออกซิเจนได้เลยไปจนถึงพวกที่จะมีชีวิตอยู่ไม่ได้ถ้าหากขาด

ออกซิเจน ดังกรณีตัวอย่างของพวกโพรคาริโอตในยุคปัจจุบัน คือ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินหรือไซยาโนแบคทีเรีย (Cyanobacteria) ซึ่งเป็นชนิดที่สำคัญที่ช่วยสร้างสสารบรรยากาศของโลกให้มีก๊าซออกซิเจนมากอย่างที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน เพราะไซยาโนแบคทีเรียมีคุณสมบัติคล้ายกับพวกพืชสีเขียว คือสามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้โดยใช้พลังงานจากแสงและวัตถุดิบจากคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ นอกจากนั้น ยังพบว่ามีไซยาโนแบคทีเรียบางชนิดสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้โดยกลไกการสังเคราะห์ด้วยแสงโดยไม่ใช้น้ำเป็นวัตถุดิบ แต่ใช้ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) แทน ซึ่งยังผลให้มีการปลดปล่อยก๊าซซัลเฟอร์แทนที่จะเป็นก๊าซออกซิเจน ปรากฏการณ์เช่นนี้สะท้อนให้เห็นเป็นอย่างดีว่า การดำรงชีวิตของพวกโพรคาริโอตประเภทนี้มีอยู่ในอดีตกาล ยิ่งไปกว่านั้น ยังมีการค้นพบว่าไซยาโนแบคทีเรียบางชนิดสามารถตรึงไนโตรเจน (nitrogen fixation) ได้ในสภาวะแวดล้อมที่ปราศจากก๊าซออกซิเจน โดยปกติแล้วไนโตรเจนมีความจำเป็นมากสำหรับสิ่งมีชีวิต แต่จะต้องเป็นไนโตรเจนที่อยู่ในรูปแบบของสารประกอบเท่านั้น เช่น แอมโมเนีย (NH_3) สารประกอบนี้จะเกิดขึ้นได้ ก็ต้องอาศัยเอนไซม์ไนโตรจีเนส (nitrogenase) ซึ่งมีความไวมากต่อก๊าซออกซิเจน กล่าวคือ เอนไซม์ชนิดนี้จะทำงานได้ดีในสภาวะการณ์ที่ไม่มีออกซิเจนอยู่ด้วย

สิ่งมีชีวิตพวกโพรคาริโอตบางชนิดในยุคแรกเริ่มคงจะมีคุณสมบัติเหมือนกับพวกไซยาโนแบคทีเรียประเภทนี้ เพราะในยุคนั้นพบว่ามีแบคทีเรียบางชนิดที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้และมีชีวิตอยู่ได้โดยการปรับตัวให้อยู่ในดินอาทิตย์ที่ปราศจากก๊าซออกซิเจน แต่ก็ยังมีพวกไซยาโนแบคทีเรียบางชนิดที่พัฒนาตัวเองโดยทำให้เอนไซม์ไนโตรจีเนสได้รับการปกป้องคุ้มครองไม่ให้สัมผัสกับก๊าซออกซิเจนได้ โดยทำให้เกิดเป็นเซลล์พิเศษที่เรียกว่า เฮเทโรซิสต์ (heterocyst) ซึ่งภายในเซลล์



ภาพที่ 2 : สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินหรือไซยาโนแบคทีเรีย (Cyanobacteria)



รูปที่ 3 : เซลล์พิเศษที่เรียกว่า เฮเทโรซิสต์ (heterocyst) พบในไซยาโนแบคทีเรียบางชนิด ภายในเซลล์ชนิดนี้จะไม่มีก๊าซออกซิเจนเลย และมีเยื่อหุ้มเซลล์หนาที่ไม่ยอมให้ก๊าซออกซิเจนผ่านเข้าออกได้

ชนิดนี้จะไม่มีการคายออกซิเจนเลย เพราะว่าไม่มีรงควัตถุที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และมีเยื่อหุ้มเซลล์หนาที่ไม่ยอมให้ก๊าซออกซิเจนผ่านเข้าออกได้เลย พร้อมทั้งมีความสามารถสร้างเอนไซม์ที่คอยทำลายก๊าซออกซิเจนที่อาจเล็ดลอดเข้าไปในเซลล์ได้บ้างในบางโอกาส ได้มีการค้นพบซากดึกดำบรรพ์ของเซลล์สิ่งมีชีวิตที่คล้ายกับเซลล์เฮเทโรซิสต์และพวกเซลล์ที่มีนิวเคลียสในชั้นหินมหายุคพรีแคมเบรียนที่มีอายุประมาณ 2,200 ล้านปีมาแล้ว ถ้าสิ่งนี้เป็นจริงก็สะท้อนให้เห็นว่า ในช่วงเวลาดังกล่าว น่าจะมีก๊าซออกซิเจนอยู่บ้างแล้ว ในบรรยากาศของโลกขณะนั้น เราอาจคาดเดาว่า สิ่งมีชีวิตในยุคปัจจุบันที่มีความเรียบง่ายทั้งในด้านโครงสร้างและในด้านคุณสมบัติทางชีวเคมี อย่างเช่น แบคทีเรียพวก clostridial และพวก methanogenic คงจะเป็นพวกที่มีสายพันธุ์ทางวิวัฒนาการใกล้ชิดกับสิ่งมีชีวิตพวกโพรคาริโอตรูปแบบต่างๆ ในมหายุคแรกเริ่มที่กล่าวมาข้างต้น

ต่อจากนั้นมาก็คงจะมีวิวัฒนาการเปลี่ยนแปลงจากพวกโพรคาริโอตบางชนิดไปเป็นพวกยูคาริโอตแรกเริ่มที่สามารถปรับตัวอยู่ได้ดีในบรรยากาศที่มีก๊าซออกซิเจน โดยเฉพาะพวกสาหร่ายที่มีหลายเซลล์ (multicellular algae) ที่มีอายุ

ประมาณ 1,800 ล้านปีมาแล้ว นักวิชาการเข้าใจว่า เมื่อประมาณ 1,500-1,400 ล้านปีที่แล้ว น่าจะมียูคาริโอตพวกแรกเริ่มที่คล้ายกับพวกไซยาโนแบคทีเรียของยุคปัจจุบัน ซึ่งในช่วงเวลาดังกล่าวนั้น เป็นช่วงกลางของมหายุคพรีแคมเบรียน จากนั้นพวกยูคาริโอตก็วิวัฒนาการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่มีบรรยากาศของการเปลี่ยนแปลงแปรผันของปริมาณก๊าซออกซิเจนจนเกิดความหลากหลายในรูปแบบของยูคาริโอตในช่วงประมาณ 1,000 ล้านปีที่แล้ว ข้อมูลเหล่านี้สะท้อนให้เห็นว่า น่าจะมีวิวัฒนาการทางด้านการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศในช่วงระยะเวลาประมาณ 1,000 ล้านปีที่แล้วมาด้วย วิวัฒนาการทางด้านการขยายพันธุ์และการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศที่มีประสิทธิภาพคงจะขยายวงออกไปอย่างกว้างขวางในช่วงนั้นจนถึงประมาณ 600 ล้านปีที่แล้ว ยังผลให้มีการแตกแขนงของพวกยูคาริโอตอย่างมากมายและหลากหลายรูปแบบ และบางรายก็กลายเป็นสิ่งมีชีวิตหลายเซลล์ที่มีหลากหลายรูปแบบและบางชนิดก็เป็นต้นตระกูลของพวกพืชและพวกสัตว์ที่พบเห็นกันอยู่ในปัจจุบัน

จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตในมหายุคพรีแคมเบรียนจะแตกต่างอย่างสิ้นเชิงจากยุคต่อมาคือยุคแคมเบรียน เพราะว่ามหายุคพรีแคมเบรียนมีสิ่งมีชีวิตที่โดดเด่นโดดเด่นอยู่ในช่วงระยะเวลาเกือบ 3,000 ล้านปีนี้เป็นพวกจุลินทรีย์และสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กทั้งหมดโดยเฉพาะพวกโพรคาริโอตที่ยังไม่มีพัฒนาการด้านสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศในตอนต้นๆ จึงนับได้ว่าประวัติศาสตร์การเปลี่ยนแปลงของสิ่งมีชีวิตในมหายุคพรี-+แคมเบรียนเกิดจากการเปลี่ยนแปลงใหม่ๆ ในด้านชีวเคมีและกระบวนการเมทาโบลิซึมมากกว่าที่จะเป็นการเปลี่ยนแปลงวิวัฒนาการทางด้านโครงสร้าง สันฐานวิทยา อย่างไรก็ตาม สิ่งที่ปรากฏให้เห็นเด่นชัดที่สุดก็คือการเปลี่ยนแปลงวิวัฒนาการทางด้านชีววิทยา ซึ่งมีอิทธิพลอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงทางด้านสภาวะแวดล้อม และในทำนองเดียว

กัน สิ่งแวดล้อมที่ค่อยๆ เปลี่ยนแปลงไปก็สะท้อนย้อนกลับไปมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของสิ่งมีชีวิต เหตุการณ์หมุนเวียนแปรเปลี่ยนเป็นวัฏจักรของห่วงโซ่แห่งความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตกับสิ่งแวดล้อมเช่นนี้ เป็นผลดีต่อการสร้างสรรค์และสะสมความหลากหลายทางชีวภาพอย่างต่อเนื่องเรื่อยมาตามลำดับ จะเห็นว่าสิ่งมีชีวิตกับสิ่งแวดล้อมมีความสัมพันธ์โยงใยในระบบนิเวศมาตั้งแต่ต้น และ

เพิ่มความสลับซับซ้อนมากขึ้นตามลำดับ ฤกษ์แจสำคัญของวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตในเวลาต่อมา คือ การพัฒนาการเปลี่ยนแปลงจากพวกไซยาโนแบคทีเรียบรรพบุรุษที่แปรผันไป กลายเป็นพวกที่สามารถมีกิจกรรมการดำรงชีวิตด้วยกลไกการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งเป็นแรงผลักดันสำคัญในกระบวนการเปลี่ยนแปลงวิวัฒนาการมาเป็นพืชและสัตว์ในยุคต่อๆ มา

บิกแบงทางชีววิทยา

สิ่งที่น่าประหลาดใจอย่างยิ่งคือ ในมหายุคพรีแคมเบรียนซึ่งเป็นช่วงระยะเวลาค่อนข้างยาวนาน มีเพียงสิ่งมีชีวิตที่เรียบง่าย ทั้งพวกที่มีนิวเคลียสและพวกที่ไม่มีนิวเคลียสดำรงชีวิตอยู่ได้ท่ามกลางวิกฤตการณ์ผันแปรของสภาวะแวดล้อมตลอดมหายุคนี้ เมื่อเวลาผ่านมาถึงช่วงเริ่มต้นของยุคแคมเบรียน ในช่วงประมาณ 5-10 ล้านปีแรกพบว่า มีซากดึกดำบรรพ์ของสิ่งมีชีวิตเกือบทุกไฟลัมที่เรารู้จักกันในปัจจุบัน และตลอดยุคแคมเบรียนพบซากดึกดำบรรพ์ของพืชและสัตว์ทะเล สหรัยทะเล ฟองน้ำ ใส้เดือนทะเล และหอยขนาดเล็กจำนวนมาก โดยเฉพาะซากดึกดำบรรพ์ของสัตว์ที่มีโครงสร้างเป็นปล้องและเป็นข้อที่เรียกว่าอาร์โธรพอดรุ่นแรกๆ คือ ไทรโลไบต์ (Trilobite) ซึ่งเป็นสัตว์กลุ่มเด่นและเป็นเอกลักษณ์ของยุคแคมเบรียน หลักฐานซากดึกดำบรรพ์ดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่า ไม่มีความต่อเนื่องกันของสิ่งมีชีวิตที่เกิดในมหายุคพรีแคมเบรียนกับสิ่งมีชีวิตชนิดต่างๆ ที่ปรากฏในยุคแคมเบรียน ทำให้เกิดคำถามที่สำคัญว่า มีอะไรเกิดขึ้นในช่วงเชื่อมต่อระหว่างมหายุคพรีแคมเบรียนและยุคแคมเบรียน เพราะเหตุใดจึงมีสิ่งมีชีวิตมากมายหลากหลายชนิดเกิดขึ้นมาฉับพลันในยุคแคมเบรียนโดยไม่พบร่องรอยของบรรพบุรุษของสิ่งมี

ชีวิต เหล่านั้นในมหายุคพรีแคมเบรียนเลย เสมือนว่าช่วงเวลาเริ่มแรกของยุคแคมเบรียนนั้น ได้เกิดบิกแบงทางชีววิทยา (biology's big bang) อย่างหาที่เปรียบมิได้ในประวัติศาสตร์ของสรรพสิ่งมีชีวิตที่อุบัติขึ้นมาบนโลกใบนี้

ความสำคัญของบิกแบงทางชีววิทยาในช่วงต้นยุคแคมเบรียนคือช่วงธรณีกาลที่เรียกว่า ยุคเวนเดียน (Vendian period) ซึ่งเป็นช่วงระยะเวลาค่อนข้างสั้นเพียงประมาณ 20 ล้านปีเท่านั้น ซึ่งเป็นช่วงที่ปราศจากข้อมูลทางด้านซากดึกดำบรรพ์ จึงไม่มีใครทราบว่ามีอะไรเกิดขึ้นกับสิ่งมีชีวิตในยุคเวนเดียน

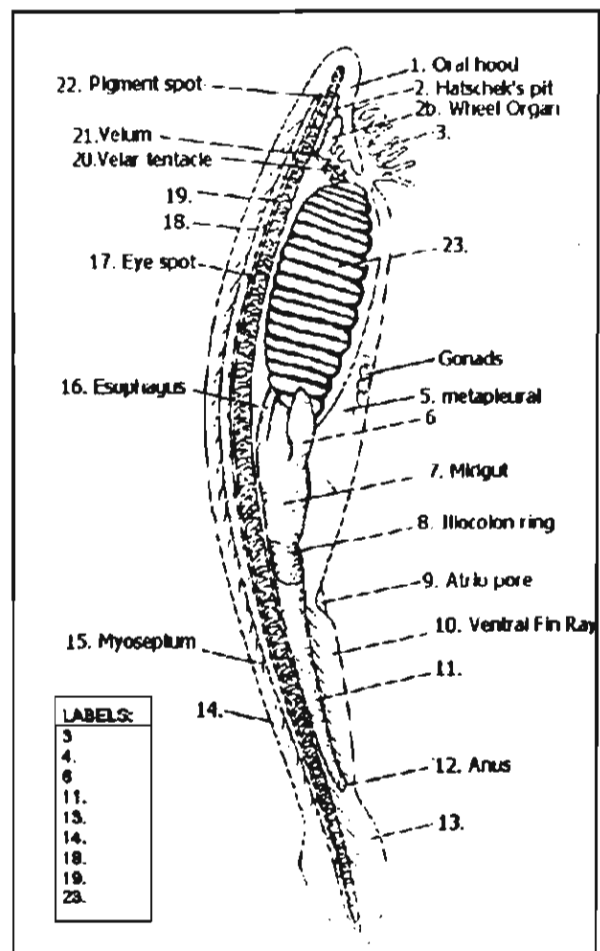
สิ่งมีชีวิตพวกจุลินทรีย์และแบคทีเรียโดยเฉพาะพวกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่ดำรงชีวิตและวิวัฒนาการต่อเนื่องตลอดมาเป็นเวลายาวนานในมหายุคพรีแคมเบรียนได้วิวัฒนาการเปลี่ยนแปลงไปจนสามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ จนได้ก๊าซออกซิเจนและพลังงานเพื่อการดำรงชีวิต ก๊าซออกซิเจนเป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีจนเกิดสารอินทรีย์ที่สะสมอยู่บนพื้นทะเลและมหาสมุทร แบคทีเรียก็ช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์โดยกระบวนการเมทาโบลิซึมที่มีออกซิเจนเป็นตัวช่วยปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศและช่วยดัก

จับความร้อนที่ปล่อยออกมาจากพื้นผิวเปลือกโลก
เสมือนเป็นเรือนกระจกของโลกใบใหญ่ยังผลให้
บรรยากาศของโลกค่อยๆ อบอุ่นขึ้น

นักวิทยาศาสตร์คาดการณ์ว่า สภาพนิเวศ-
วิทยา (ecology) ในยุคนั้นน่าจะเป็นปัจจัยสำคัญ
อย่างหนึ่งที่น่าไปสู่การเปลี่ยนแปลงครั้งใหญ่ของ
สิ่งมีชีวิตในยุคแคมเบรียนคือ วิวัฒนาการของสัตว์
ตัวเล็กที่มีร่างกายคล้ายหนอนตัวแบนหรือไส้เดือน
มีตาในส่วนหัวและมีกล้ามเนื้อในลำตัวเพื่อการ
เคลื่อนไหวและการขยับถ่าย แต่ยังไม่สามารถขอนไซ-
มุดดินได้คืบคืบ เพราะเนื้อตัวยังอ่อนนุ่มอยู่ได้แต่
อาศัยหากินอาหารจากพวกสาหร่ายที่ขึ้นอยู่ตาม
พื้นน้ำ โดยกินอาหารเข้าทางปากและถ่ายของเสีย
ทั้งที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ออกทาง
ทวารหนักลงสู่พื้นทะเล ของเสียที่ถูกถ่ายออกมาก็
ถูกย่อยสลายต่อโดยพวกแบคทีเรีย จะเห็นได้ว่า
ระบบนิเวศบนพื้นทะเลในยุคนั้นเป็นห่วงโซ่อาหาร
ที่สร้างสรรค์และสะสมสารอินทรีย์ที่มีความซับซ้อน
มากขึ้นอย่างต่อเนื่องตามลำดับ

ปัจจัยการเปลี่ยนแปลงทางด้านพันธุกรรม
(genetics) ก็ถือว่า เป็นกุญแจสำคัญไม่ยิ่งหย่อน
ไปกว่าสภาวะทางนิเวศวิทยา นักวิทยาศาสตร์
ได้พยายามค้นหาข้อมูลและคำอธิบายทางด้าน
พันธุศาสตร์ว่า กลไกการกินอาหาร การย่อยอาหาร
การขยับถ่ายของเสียของพวกสัตว์ขนาดเล็กคล้าย
หนอนตัวแบนเหล่านั้นมีวิวัฒนาการมาอย่างไร
ข้อมูลจากการศึกษาพวกแมงกะพรุนซึ่งมีลักษณะ
ใกล้เคียงกับสัตว์ตัวอ่อนในยุคนั้นพบว่า มีกลุ่ม
หน่วยพันธุกรรมหรือกลุ่มยีนที่เรียกว่า homeotic
homeobox หรือเรียกโดยย่อว่า ยีน Hox ซึ่งมี
บทบาทสำคัญในการควบคุมกระบวนการเจริญ
เติบโตของตัวอ่อน และพบว่า หนอนตัวแบนมียีน
Hox 4 หน่วย สัตว์มีข้อและปล้องพวกอาร์โทรพอด
เช่น แมลงต่างๆ มี 8 หน่วย สัตว์มีกระดูกสันหลัง
รุ่นแรกๆ เช่น พวกแอมฟิออกซัส (Amphioxus)
มี 10 หน่วย ข้อมูลเบื้องต้นดังกล่าวนี้ ทำให้นัก

วิทยาศาสตร์คาดเดาเอาว่าสัตว์ดึกดำบรรพ์ที่คล้าย
กับพวกหนอนตัวแบนคงจะมีการเปลี่ยนแปลงทาง
พันธุกรรม โดยการเพิ่มปริมาณของกลุ่มยีน Hox
เป็น 6 หน่วย ซึ่งเป็นสภาวะการณัณท์ที่สำคัญที่สุด
เสมือนเป็นการจุด “ระเบิด” ของสิ่งมีชีวิตในยุค
แคมเบรียน อย่างไรก็ตาม มีนักวิทยาศาสตร์อีก
หลายท่านเชื่อว่า กลุ่มยีน Hox เป็นเพียงส่วนหนึ่ง
ของกระบวนการเปลี่ยนแปลงวิวัฒนาการทางพันธุ-
กรรมที่น่าไปสู่การระเบิดครั้งใหญ่ทางชีววิทยาใน
ยุคแคมเบรียน และน่าจะมีปัจจัยสำคัญอื่นๆ ที่เกี่ยว
ข้องกับการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมด้านต่างๆ
ควบคู่ไปด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเปลี่ยนแปลง
ทางพันธุกรรมหรือยีนที่ทำหน้าที่ปรับควบคุม
(regulatory gene) รวมทั้งการทำงานเชื่อมโยงกัน
ระหว่างยีน Hox แต่ละหน่วยให้ประสานสอดคล้อง



รูปที่ 5 : แอมฟิออกซัส (Amphioxus) สัตว์มีกระดูก
สันหลังรุ่นแรกๆ มียีน Hox 10 หน่วย

ที่มา : www.geology.inpui.edu/project_images/General

กับการทำงานของยีนอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตด้วย อาจเปรียบเทียบกับวิวัฒนาการด้านคอมพิวเตอร์ กล่าวคือ กลุ่มยีน Hox เป็นเสมือน genetic hardware ส่วนยีนที่ทำหน้าที่ปรับควบคุมเป็นเสมือน genetic software ที่สามารถปรับปรุงเปลี่ยนแปลงได้ภายในขอบเขตที่กำหนด

เมื่อสิ่งมีชีวิตนานาชนิดอุบัติขึ้นมาในยุคแคมเบรียนตอนต้น ตัวแปรที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่คาดว่าน่าจะเกิดขึ้นด้วยในช่วงหัวเลี้ยวหัวต่อระหว่างยุคเวเนเดียนกับยุคแคมเบรียน นั่นก็คือ การแข่งขันแย่งชิงอาหารและที่อยู่อาศัยภายในระบบนิเวศเดียวกัน ทำให้เกิดมีเหยื่อและผู้ล่าเหยื่อในชุมชนกลุ่มสิ่งมีชีวิต ซึ่งส่งผลให้เกิดมีการเปลี่ยนแปลงวิวัฒนาการของทั้งพวกที่ตกเป็นเหยื่อและพวกผู้ล่าเหยื่อตามกาลเทศะจนเข้าสู่สภาวะสมดุลของระบบนิเวศนั้นๆ

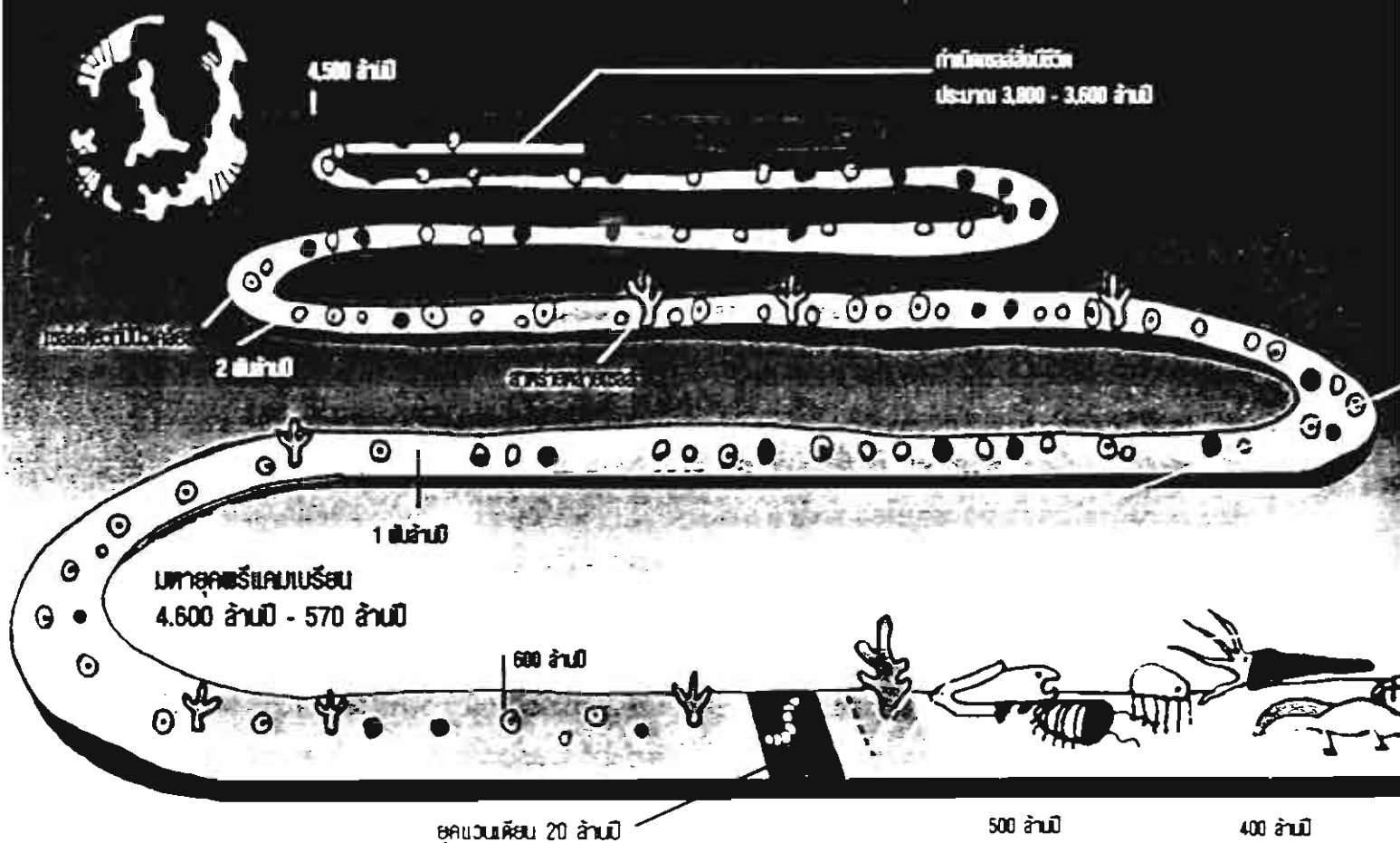
ความเร่งลับอย่างหนึ่งของสิ่งมีชีวิตที่อุบัติขึ้นมาอย่างรวดเร็วและกว้างขวางในยุคแคมเบรียนอย่างที่ไม่มียุคใดสมัยใดเสมอเหมือน ไม่ว่าจะเป็นก่อนหน้านั้นหรือหลังจากนั้น นั่นคือ มีสิ่งมีชีวิตทุกไฟลัม (phylum) อุดบัติขึ้นมาในยุคแคมเบรียนและวิวัฒนาการที่ยืนเรื่อยมาจนถึงทุกวันนี้โดยไม่มีไฟลัมใหม่ๆ เพิ่มเติมขึ้นมาอีก ยกเว้นสัตว์เพียงกลุ่มเดียวเท่านั้นคือ ไฟลัมไบรโอซัว (Bryozoa) ซึ่งมีร่องรอยของซากดึกดำบรรพ์ของสัตว์พวกนี้หลังยุคแคมเบรียนเพียงไม่นานนัก นักวิทยาศาสตร์ยังไม่สามารถค้นหาคำตอบที่ชัดเจนเกี่ยวกับความเร่งลับเรื่องนี้ได้ แต่ก็พอจะมีคำอธิบายง่ายๆ ที่น่าจะเป็นไปได้ เช่น เมื่อเกิดการระเบิดครั้งใหญ่ของสิ่งมีชีวิตในยุคแคมเบรียนจนเกิดสิ่งมีชีวิตนานาชนิดหลากหลายรูปแบบจนเต็มพื้นที่แหล่งอาศัยทางนิเวศวิทยา (ecological niche) นักวิทยาศาสตร์กลุ่มนี้เชื่อว่า องค์ประกอบทางพันธุกรรมที่เกี่ยวกับระบบการเจริญเติบโต ไม่มีความยืดหยุ่นพอที่จะเอื้ออำนวยให้เกิดสิ่งมีชีวิตรูปแบบใหม่ๆ หลังจากมีการสูญพันธุ์ครั้งใหญ่ตอน

ปลายยุคเพอร์เมียนแล้ว ความเชื่อมโยงของยีนผูกพันที่อยู่ติดต่อกันเป็นกลุ่มๆ (linkage) ทำให้การเปลี่ยนแปลงของลักษณะสำคัญต่างๆ เกิดขึ้นได้ยาก เพราะว่าการเปลี่ยนแปลงเช่นนั้นมักจะเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตที่มีรูปแบบผิดปกติ นั่นคือ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของร่างกายของสิ่งมีชีวิตซึ่งมีขีดจำกัดอยู่เสมอ ทำให้แบบแผนแม่บทของโครงสร้างทางร่างกายของสิ่งมีชีวิตยังคงรูปแบบเดิมไว้ตลอดมาเป็นเวลายาวนานกว่า 500 ล้านปีที่ผ่านมา

จะเห็นได้ว่า การเปลี่ยนแปลงวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตเป็นไปตามหลักการ "survival of the fittest" ของชาร์ลส์ ดาร์วิน โดยกลไกทางด้านความผันแปรทางพันธุกรรมและการคัดเลือกโดยธรรมชาติ อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงของสรรพสิ่งทั้งที่มีชีวิตและไม่มีชีวิตย่อมเป็นไปตามกฎธรรมชาติเสมอ กล่าวคือ สิ่งใดก็ตามที่อยู่ในระบบระเบียบ (order) จนเกินไปย่อมไม่เปิดโอกาสให้มีการเปลี่ยนแปลงได้ และในทางตรงกันข้าม สิ่งใดที่มีความไร้ระเบียบยุ่งเหยิง (chaos) โดยสิ้นเชิงนั้น ย่อมไม่มีความจริงยั่งยืน



โลกถือตัวขึ้นเมื่อ 4,600 ล้านปี



ประวัติศาสตร์

การศึกษาค้นหาซากดึกดำบรรพ์ในชั้นหินยุคต่าง ๆ ซึ่งเปรียบเสมือนเป็นปฏิทินและสมุดบันทึกประวัติศาสตร์ของโลก ทำให้นักวิทยาศาสตร์สามารถทำความเข้าใจในระดับหนึ่งว่าสิ่งมีชีวิตชนิดใดเกิดขึ้นบ้างและสิ่งมีชีวิตเหล่านั้นมีประวัติศาสตร์เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงวิวัฒนาการมาอย่างไรบ้าง ถึงแม้ว่าจะไม่สามารถระบุกาลเวลาในอดีตได้อย่างแม่นยำก็ตาม

ประวัติศาสตร์การเปลี่ยนแปลงของสิ่งมีชีวิตที่เกิดขึ้นในอดีตมีความเฟื่องฟูโดยกระบวนการวิวัฒนาการ (evolution) และการเสื่อมสลายจากการสูญพันธุ์ (extinction) โดยทั้งหลักฐานไว้ในซากดึกดำบรรพ์ให้เราได้ศึกษากันในปัจจุบัน ตามหลักธรณีวิทยา นักวิชาการแบ่งประวัติศาสตร์ของโลกออกเป็นมหายุค (era) ยุค (period) สมัย (epoch) นับตั้งแต่โลกได้ก่อตัวขึ้นมาเมื่อประมาณ

4,600 ล้านปีที่แล้ว ก็มีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางชีวภาพในช่วงเวลาอันยาวนานประมาณ 4,000 ล้านปี ช่วงระยะเวลานี้จัดอยู่ในมหายุคพรีแคมเบรียน (Precambrian era) ที่อาจแบ่งเป็น 2 ช่วงย่อยคือ มหายุคอาร์เคียน (Archaean era) เป็นเวลาประมาณ 2,100 ล้านปี และมหายุคโพรโทโซอิก (Protozoic era) เป็นเวลาประมาณ 1,900 ล้านปี (ดูรูปที่ 1) การศึกษาค้นหาซากดึกดำบรรพ์จากชั้นหินที่มีอายุประมาณ 570 ล้านปีที่แล้ว ซึ่งเชื่อว่าเป็นช่วงที่มีคุณค่ามากสำหรับการศึกษาประวัติศาสตร์บทใหม่ของสิ่งมีชีวิตที่ยืดยาวมาจนถึงปัจจุบัน การเปลี่ยนแปลงของโลกในช่วงประมาณ 570 ล้านปีที่ผ่านมาแบ่งออกเป็น 3 มหายุค คือ (1) มหายุคพาเลโอโซอิก (Paleozoic era หมายถึงสิ่งมีชีวิตดึกดำบรรพ์) มีช่วงเวลาประมาณ 325 ล้านปี (2) มหายุคมีโซโซอิก

ในยุคแคมเบรียน สิ่งมีชีวิตชนิดใหม่ๆ เกิดขึ้นมาโดยฉับพลันกับส่วน
อย่างมากมาย หลากหลายรูปแบบ เสมือนเป็นนิมิตทางชีววิทยา
(biology's big bang) โดยไม่ทราบสาเหตุแน่ชัด สิ่งมีชีวิตใน
ครั้งนี้ มีทั้งพวกที่ว่ายน้ำและพวกที่ลอยอยู่ในน้ำได้อย่าง
อิสระ พวกที่จับคลานอยู่บนพื้นทะเลและพวกที่บุค
ยุบในดินของพื้นทะเลลึก เช่น แบคทีเรีย
วงกะเพรา หอนทิวแบบ
สัตว์หลายเซลล์
มากมาย



นิมิตทางชีววิทยา



300 ล้านปี

200 ล้านปี

100 ล้านปี

ยุคปัจจุบัน

บ อ ง ส ี ง มี จี วิ ต

(Mesozoic era หมายถึงสิ่งมีชีวิตช่วงกลาง) มีช่วง
เวลาประมาณ 180 ล้านปี (3) มหายุคซีโนโซอิก
(Cenozoic era หมายถึงสิ่งมีชีวิตช่วงปัจจุบัน) มี
ช่วงเวลาประมาณ 65 ล้านปีจนกระทั่งถึงทุกวันนี้
การศึกษาซากดึกดำบรรพ์โดยใช้การอ้างอิง
จากอายุธรณีกาล (geological time) บ่งชี้ว่าสิ่งมี
ชีวิตในอดีตของยุคหนึ่งมักจะแตกต่างจากสิ่งมีชีวิต
ของอีกยุคหนึ่งเสมอ และจะเห็นความแตกต่างของ
ซากดึกดำบรรพ์อย่างชัดเจนมากยิ่งขึ้นในระหว่าง
มหายุคทั้งหมดดังกล่าว และจากซากดึกดำบรรพ์
ของสิ่งมีชีวิตที่ฝังร่างอยู่ในชั้นหินต่างๆ สะท้อนให้
เห็นว่า สิ่งมีชีวิตเหล่านั้นเกิดจากการสูญพันธุ์ครั้ง
ใหญ่ (mass extinction) หลายครั้งด้วยกันใน
อดีตที่ผ่านมา ซึ่งพอสรุปเหตุการณ์ต่างๆ ที่เกิด
ขึ้นในอดีตพอสังเขปได้ดังนี้ (ดูรูปที่ 1)

มหายุคพรีแคมเบรียน

ในมหายุคพรีแคมเบรียน (Precambrian era) พบ
ซากดึกดำบรรพ์ที่เก่าแก่ที่สุดของพวกแบคทีเรีย
กลุ่มอาร์เคียน (Archaean) ที่มีอายุประมาณ
3,800 ล้านปีที่แล้ว ในตอนต้นของมหายุคพรีแคม-
เบรียนน่าใจว่า แบคทีเรียรุ่นแรกๆ คงมีชีวิตที่เรียบง่าย
โดยอาศัยสารอินทรีย์ที่มีอยู่ไม่มากนัก ในเวลา
นั้นเป็นอาหารและสร้างสรรค์สะสมสารอินทรีย์ที่
ซับซ้อนมากขึ้นตามลำดับ คงมีแบคทีเรียจำนวน
ไม่น้อยที่ต้องตายจากไป และพวกที่อยู่รอดต่อ
มาได้ก็ยังสามารถสร้างอาหารขึ้นมาได้เองโดย
กลไกการสังเคราะห์ด้วยแสง พวกจุลินทรีย์ชนิด
ต่างๆ ในมหายุคพรีแคมเบรียนได้ปรับตัวเพื่อ
การอยู่รอดและเปลี่ยนแปลงวิวัฒนาการมาอย่าง
ช้าๆ แบบค่อยเป็นค่อยไปเป็นเวลายาวนาน

โลกทางชีวภาพ

ประมาณ 1,000 ล้านปี จึงเกิดมีพวกเซลล์ยูคาริโอต และสาหร่าย โดยเฉพาะสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน พวกไซยาโนแบคทีเรีย ช่วงเวลาอันยาวนานของการเปลี่ยนแปลงของโลกทั้งทางกายภาพและทางชีวภาพนั้นจัดอยู่ในมหายุคอาร์เคียน (Archaean era) มีช่วงเวลาประมาณ 4,600-2,500 ล้านปีที่ผ่านมา

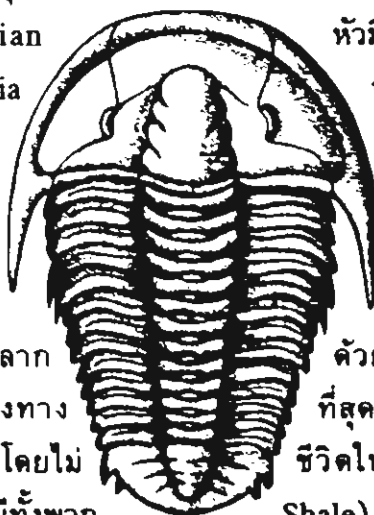
สิ่งมีชีวิตที่เรียบง่ายพวกสาหร่ายและพวกเซลล์เดียวได้แพร่กระจายไปเกือบทั่วพื้นของแม่ น้ำทะเลสาบ ตลอดจนพื้นทะเลและมหาสมุทรก่อนที่จะสิ้นสุดมหายุคพรีแคมเบรียน ในช่วงปลายมหายุค

พรีแคมเบรียนพบว่า มีซากดึกดำบรรพ์ที่บ่งชี้ร่องรอยของพวกสัตว์เซลล์เดียวและสัตว์หลายเซลล์เพียงไม่กี่ชนิด และส่วนใหญ่เป็นซากดึกดำบรรพ์ของพวกอิดิอะคารา (Ediacara) อยู่ในทวีปออสเตรเลีย นักวิทยาศาสตร์เข้าใจว่า พวกอิดิอะคาราเป็นสัตว์ที่มีตัวอ่อนนุ่มและสัตว์พวกนี้ไม่น่าจะเป็นบรรพบุรุษของสัตว์รุ่นต่อๆ มา เพราะว่าไม่มีร่องรอยของความเชื่อมโยงกันเลย ช่วงที่สองของมหายุคพรีแคมเบรียนนี้จัดอยู่ในมหายุคโปรโทโซอิก (Protozoic era) ซึ่งมีช่วงเวลาตั้งแต่ 2,500-570 ล้านปีที่ผ่านมา

มหายุคพาลีโอโซอิก

โลกมีการเปลี่ยนแปลงมากมาย ทั้งทางกายภาพและทางชีวภาพ และเป็นจุดผกผันที่สำคัญที่ทำให้สรรพสิ่งทั้งหลายทั้งปวงบนโลกนี้วิวัฒนาการเปลี่ยนแปลงมาเป็นดังที่เห็นเช่นทุกวันนี้ โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอย่างมากมายในยุคแคมเบรียน ซึ่งเป็นยุคเริ่มต้นมหายุคพาลีโอโซอิก ซึ่งแบ่งออกเป็นยุคต่างๆ 6 ยุคที่พอสรุปได้ดังนี้

ยุคแคมเบรียน (Cambrian period) จากภาษาโรมันคำว่า Cambria หมายถึงแคว้น Wales ของสหราชอาณาจักร) มีช่วงเวลาประมาณ 60 ล้านปี นักวิทยาศาสตร์พบว่า มีสิ่งมีชีวิตชนิดใหม่ๆ เกิดขึ้นมาโดยฉับพลันทันควันอย่างมากมายและหลากหลายรูปแบบ เสมือนเป็นบิกแบงทางชีววิทยา (biology's big bang) โดยไม่ทราบสาเหตุแน่ชัด สิ่งมีชีวิตในยุคนี้มีทั้งพวกที่ว่ายน้ำและพวกที่ลอยอยู่ในน้ำได้อย่างอิสระ พวกที่คืบคลานอยู่บนพื้นทะเลและพวกที่มุดอยู่ในดินของพื้นทะเลลึก เช่น แบคทีเรีย แมงกะพรุน หนอนตัวแบน และสัตว์หลาย เซลล์นานาชนิด แต่ไม่พบว่ามีพืชเกิดขึ้นในยุคนี้ นอกเหนือไปจากพวกสาหร่าย



แต่ที่น่าประหลาดใจที่สุดคือ ยังไม่พบหลักฐานบรรพบุรุษที่แท้จริงของสิ่งมีชีวิตเหล่านั้นเลยนอกเหนือไปจากซากดึกดำบรรพ์ของพวกแบคทีเรียและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเท่านั้น ซากดึกดำบรรพ์ของสัตว์ชนิดที่เด่นชัดที่สุดของยุคแคมเบรียนคือพวกไทรโลไบต์ (Trilobite) ที่มีลำตัวเป็นปล้องและมีขายื่นออกมาจากแต่ละปล้อง ที่ส่วน

หัวมีตา และมีความยาวโดยเฉลี่ยประมาณ 1-3 นิ้ว เข้าใจว่าพวกไทรโลไบต์ คงเป็นบรรพบุรุษของพวกอาร์โทรพอดบางชนิดของยุคปัจจุบัน นอกจากนั้นยังพบซากดึกดำบรรพ์ของพวกหอยมีฝา ฟองน้ำ ปลาฉลามในยุคนี้ด้วย หลักฐานซากดึกดำบรรพ์ที่สำคัญที่สุดของยุคแคมเบรียนได้แก่ ซากสิ่งมีชีวิตในชั้นหินเบอร์เจสเชล (Burgess Shale) ของประเทศแคนาดาที่ถูกค้นพบในต้นคริสต์ศตวรรษที่ 20 โดย Charles Walcott ซึ่งถือว่าเป็นผู้เปิดหน้าต่างให้มองเห็นการเปลี่ยนแปลงของโลกสิ่งมีชีวิตในยุคแคมเบรียน โดยภาพรวมแล้ว สิ่งมีชีวิตที่มีอยู่มากมายหลายสิบไฟลัมในยุคแคมเบรียนนี้สามารถจำแนกออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ



คือ (1) กลุ่มสาหร่าย ที่สามารถสังเคราะห์อาหารได้เองโดยกลไกการสังเคราะห์ด้วยแสง (2) กลุ่มสัตว์ที่ต้องอาศัยหากินอาหารจากสิ่งมีชีวิตชนิดอื่นๆ กลุ่มสัตว์เหล่านี้เป็นพวกไม่มีกระดูกสันหลังทั้งหมดที่เปลี่ยนแปลงวิวัฒนาการต่อมาเป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังยุคใหม่ (3) กลุ่มแบคทีเรียที่มีโครงสร้างและการดำรงชีวิตอย่างเรียบง่ายที่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้อย่างยั่งยืนยาวนานจวบจนทุกวันนี้ที่น่าสังเกตคือ ยังไม่มีพืชชั้นสูงเกิดขึ้นเลยในยุคแคมเบรียน

ยุคออร์โดวิเชียน (Ordovician period มาจากกลุ่มชนที่มีชื่อว่า Ordovices ในแคว้น Wales ของสหราชอาณาจักร) เป็นยุคต่อจากยุคแคมเบรียน และมีช่วงเวลายาวนานประมาณ 71 ล้านปี ยุคนี้มีสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังเกิดขึ้นจำนวนมากมายที่จัดอยู่ในทุกไฟลัมที่เคยพบในยุคแคมเบรียน เช่น พวกปลาหมึก (Cephalopod) ไทรโลไบต์ (Trilobite) และสัตว์ที่คล้ายแมงป่อง ดาวทะเล (Star fish) ดอกกลีทะเล (Sea lily) ปะการังถ้วย (Cup coral) วัชพืชทะเล (Seaweed) และสาหร่ายทะเล เป็นต้น และมีร่องรอยของพวกสัตว์มีกระดูกสันหลังพวกแรกปรากฏอยู่บ้างในตอนปลายของยุคนี้ด้วย แต่ที่น่าสนใจคือ มีสัตว์ขนาดเล็กพวกใหม่ที่จัดอยู่ในไฟลัมใหม่ คือ ไบรโอซัว (Bryozoa) สัตว์พวกนี้มีขนาดเล็กและมีโครงสร้างที่เรียบง่ายและมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เช่นเดียวกับสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กชนิดอื่นๆ ข้อมูลเหล่านี้สะท้อนให้เห็นความจริงในธรรมชาติของสรรพสิ่งอย่างหนึ่ง คือ ความเรียบง่ายมักเป็นสิ่งมีความจริงยั่งยืนเสมอ

ยุคไซลูเรียน (Silurian period มาจากกลุ่มชนที่มีชื่อว่า Silures ที่อาศัยอยู่ในแคว้น Wales เช่นเดียวกัน) มีช่วงเวลายาวนานประมาณ 31 ล้านปี สิ่งมีชีวิตในยุคนี้จะคล้ายกับของยุคออร์โดวิเชียน คือ มีพวกไทรโลไบต์และแมงป่องยักษ์ซึ่งยังคงเป็นสัตว์เด่นแห่งยุค แต่ก็ต้องสูญพันธุ์ไปในช่วงปลายยุคนี้เอง แต่มีร่องรอยของการเปลี่ยนแปลงชัดเจน

คือ มีพวกปลาไม่มีขากรรไกร และมีเกราะหุ้มส่วนหัว (ostracoderm) และสัตว์บกพวกยูริปเทอริค (eurypterid) ที่มีลำตัวเป็นปล้องและมีขายื่นออกมาจากปล้องคล้ายแมงป่องและแมงมุมของยุคปัจจุบัน และการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือ มีพืชบกพวกไซโลพิด (psilopid) ที่มีทอลำเลียงและมีความสูงประมาณ 2 ฟุตเกิดขึ้นในยุคนี้ ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงบรรยากาศของโลกอย่างมากด้วย

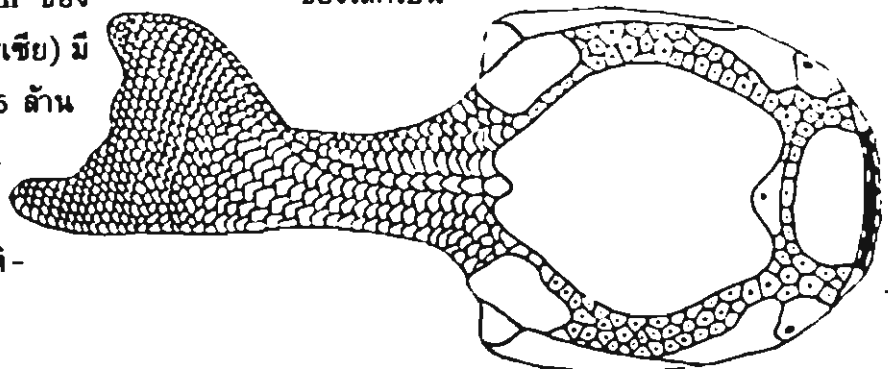
ยุคดีโวเนียน (Devonian period มาจากชื่อเมือง Devon ในประเทศอังกฤษ) มีช่วงเวลาประมาณ 46 ล้านปี เนื่องจากความผกผันของโลก โดยการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก แผ่นดินไหวและภูเขาไฟระเบิด พื้นที่เลถูกดันสูงขึ้นมาเป็นภูเขา ในขณะที่พื้นดินทรุดตัวลงไปกลายเป็นทะเล พวกปลาได้วิวัฒนาการแตกแขนงออกมาหลายหลายชนิดในทะเลและในน้ำจืด จนอาจถือได้ว่า ยุคนี้เป็นยุคของปลา โดยเฉพาะกลุ่มปลามีขากรรไกร ดึกดำบรรพ์และมีเหงือก (placoderm) ซึ่งเข้ามาแทนที่บรรพบุรุษพวกที่ไม่มีขากรรไกร นอกจากนั้นยังมีปลากระดูกอ่อน (chondrichthyes) คล้ายพวกปลาฉลาม และปลากระดูกแข็ง (osteichthyes) ด้วย เนื่องจากโลกยุคดีโวเนียนมีบรรยากาศร้อนมากขึ้น แม่น้ำลำคลองเหือดแห้งลง ทำให้ปลาบางชนิดพัฒนาถุงลมเพื่อการหายใจและเพื่อช่วยลอยตัวในน้ำได้ดีขึ้น ปลาบางชนิดพัฒนาริပ်เพื่อการเคลื่อนไหวยบนพื้นดิน และมีวิวัฒนาการต่อไปเป็นพวกสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก (amphibian) ซึ่งเป็นสัตว์มีกระดูกสันหลังกลุ่มแรกที่บุกเบิกขึ้นสู่บก พืชบกมีวิวัฒนาการจนเกิดใบและรากสมบูรณ์ขึ้น และที่สำคัญคือ พืชมีเมล็ดเพื่อแพร่พันธุ์ซึ่งมีข้อได้เปรียบมากกว่าพืชยุคก่อนที่แพร่พันธุ์โดยสปอร์ เพราะว่าเมล็ดพืชมีความคงทนและมีอายุยืนนาน ต่อสภาวะแวดล้อมที่ผันแปรได้มากกว่าพวกสปอร์ ทำให้โลกในยุคดีโวเนียนเริ่มมีพืชสีเขียวเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ

ยุคคาร์บอนิเฟอรัส (Carboniferous period หรือเรียกว่ายุคถ่านหิน) มีช่วงเวลายาวนานประมาณ 72 ล้านปี ยุคนี้ยังคงมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของเปลือกโลกต่อเนื่องจากยุคดีโวเนียน วิวัฒนาการของพืชเป็นไปอย่างกว้างขวาง ทั้งในแง่ น้ำกร่อย ในทะเลสาบ และที่สำคัญคือ พืชบนบกที่ก่อตัวเป็นป่าคงคิที่เต็มไปด้วยพืช คล้ายพวก ข้องนางคลี่ขนาดใหญ่ (giant clubmoss) ที่มีลำต้นสูงถึง 100 ฟุต และมีพวกแสหางม้า (horse tail) สูงกว่า 40 ฟุต นอกจากนั้น ก็มีพวกเฟิร์น และพวกไม้เลื้อย เมื่อพืชเหล่านี้ตายทับถมกันเป็นเวลานานหลายสิบล้านปีจนกลายเป็นชั้นของสารอินทรีย์ซึ่งจะกลายเป็นถ่านหินที่เป็นแหล่งเชื้อเพลิงที่สำคัญในปัจจุบัน ในขณะที่เดียวกัน วิวัฒนาการของสัตว์ก็เป็นไปอย่างรวดเร็ว ทั้งพวกปลา หอย ปะการัง ไพรโดซัว และที่สำคัญคือ พวกแมลงที่พัฒนามาเป็นแมลงมีปีกบินไปมาได้คล่องตัว พบว่า มีแมลงปอขนาดใหญ่ปีกกว้างถึง 30 ฟุต สัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกแพร่กระจายและวิวัฒนาการแตกแขนงออกไปหลากหลายชนิดเพื่อการดำรงชีวิตอยู่บนบก บางชนิดวิวัฒนาการไปเป็นสัตว์เลื้อยคลาน (reptile) ยุคแรกเริ่มโดยพัฒนาการสร้างไข่เก็บไว้ในท้องตัวเมียทำให้มีข้อได้เปรียบมากกว่าพวกสะเทินน้ำสะเทินบกที่ต้องวางไข่ในน้ำ สัตว์ในตระกูลเลื้อยคลานพวกโคทิลโลซอร์ (Cotylosaur) ได้วิวัฒนาการอย่างรวดเร็วและกว้างขวางในปลายยุคนี้ และเชื่อว่าเป็นต้นตระกูลของสัตว์เลื้อยคลานบางกลุ่มในปัจจุบัน เช่น กลุ่มกิ้งก่าและงู กลุ่มเต่าบกและเต่าทะเล กลุ่มจระเข้ เป็นต้น

ยุคเพอร์เมียน (Permian period มาจากชื่อของท้องถื่นบริเวณ Perm ของเทือกเขา Urals ในประเทศรัสเซีย) มีช่วงเวลายาวนานประมาณ 45 ล้านปี นับว่าเป็นยุคที่มีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่รุนแรงมากอีกยุคหนึ่งของประวัติ-

ศาสตร์ของโลก มีทั้งความแห้งแล้ง น้ำเหือดแห้งไป สลับกับความเย็นที่เกิดจากน้ำแข็งเป็นช่วงๆ ประกอบกับแผ่นดินของโลกเคลื่อนที่มาค่อรวมเป็นผืนแผ่นดินเดียวกันที่เรียกว่า แพนเจีย (Pangaea) สภาพการเปลี่ยนแปลงเช่นนั้น ไม่เป็นผลดีต่อสัตว์และพืชเลย สิ่งมีชีวิตชนิดต่างๆ ไม่น้อยกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ได้สูญพันธุ์ไปในยุคนี้ ซึ่งนับว่าเป็นการสูญพันธุ์ครั้งใหญ่ครั้งหนึ่ง พืชหลายชนิดสูญพันธุ์ สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง เช่น ไทรโลไบต์ ปะการัง ดอกไม้ทะเล และไพรโดซัว ส่วนใหญ่ต้องสูญพันธุ์ไปในยุคนี้ด้วย ส่วนสิ่งมีชีวิตที่เหลืออยู่รอดมาได้ต้องปรับตัวอย่างมาก โดยเฉพาะพวกแมลงที่เกิดมาในยุคคาร์บอนิเฟอรัสต้องปรับเปลี่ยนรูปร่างให้เล็กลง และมีวงชีวิตที่สั้นลงแค่ชั่วขณะมากขึ้น ได้แก่ พวกที่มีวงชีวิตแบบเมตามอร์ฟอซิส (metamorphosis) สัตว์มีกระดูกสันหลังพวกปลาหลายชนิด เช่น ปลามีขากรรไกรและฉลามดึกดำบรรพ์ต้องสูญพันธุ์ไปด้วย สัตว์บกหลายชนิดรวมทั้งพวกสะเทินน้ำสะเทินบกบางพวกก็สูญพันธุ์ไปด้วยเช่นกัน พวกที่อยู่รอดก็วิวัฒนาการไปจนมีร่างกายใหญ่ขึ้นพองๆ กับพวกสัตว์เลื้อยคลาน พวกสัตว์เลื้อยคลานเองก็มีวิวัฒนาการปรับตัวได้ดีกับสภาพการณ์ที่เป็นอยู่ทั้งบนบกและที่แห้งแล้ง มีทั้งพวกที่กินพืชและกินสัตว์เป็นอาหารและนำไปสู่วิวัฒนาการของพวกไดโนเสาร์ในยุคต่อมา

ยุคเพอร์เมียนเป็นยุคสุดท้ายของมหายุคพาเลโอโซอิกที่มีช่วงเวลายาวนานประมาณ 325 ล้านปีที่มีสิ่งมีชีวิตชนิดใหม่ๆ เกิดขึ้นมากมายและที่สูญหายไปจากโลกก็มีจำนวนมากเช่นเดียวกัน นั่นคือสภาวะสมดุลธรรมชาติของสรรพสิ่งที่แท้จริงของโลกใบนี้



ในมหายุคนี้ สภาพทั่วไปของโลกเริ่มเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ดีขึ้น ความชุ่มชื้นกลับคืนสู่บรรยากาศของโลกใหม่ ป่าไม้เขียวขจีขึ้น เพิ่มความอุดมสมบูรณ์ ให้แก่ชีวิตพืชและสัตว์ที่วิวัฒนาการเปลี่ยนแปลงไปอย่างค่อนข้างรวดเร็วในสภาวะแวดล้อมใหม่ของโลกในช่วงเวลานั้น มหายุคมีโซโซอิกแบ่งออกเป็น 3 ยุคที่พอสรุปได้ดังนี้

ยุคไทรแอสซิก (Triassic period จากคำ trias = หินสามทาบที่พบทางตอนใต้ของประเทศเยอรมนี) ยุคนี้มีเวลานานประมาณ 37 ล้านปี และเป็นยุคเริ่มต้นของมหายุคมีโซโซอิก เมื่อวิกฤตการณ์เลวร้ายผ่านพ้นไปในช่วงเชื่อมโยงระหว่างปลายยุคเพอร์เมียนและเริ่มต้นยุคไทรแอสซิกซึ่งเป็นช่วงเวลาที่สัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกและสัตว์เลื้อยคลานจำนวนมากสูญหายไปและเปิดทางให้มีวิวัฒนาการของสัตว์เลื้อยคลานชนิดใหม่ๆ รวมทั้งพวกที่คล้ายสัตว์เลื้อยลูกด้วยนมด้วย พวกสัตว์เลื้อยคลานบางชนิดกลับลงไปมีชีวิตอยู่ในน้ำ แต่ส่วนมากปรับตัวได้ดีบนบกมากกว่าสัตว์อื่นๆ ทำให้พวกสัตว์เลื้อยคลานวิวัฒนาการไปอย่างรวดเร็วและกว้างขวางจนกลายเป็นสัตว์กลุ่มเด่นของมหายุคมีโซโซอิก โดยเฉพาะกลุ่มที่เป็นบรรพบุรุษของไดโนเสาร์ที่ครองโลกในยุคต่อมาคือ ยุคจูแรสซิก สัตว์เลื้อยคลานพวกนี้กินพืชเป็นอาหาร และที่น่าสนใจที่สุดคือ มีพวกสัตว์เลื้อยลูกด้วยนมขนาดเล็กที่เรียกว่า พวกโมโนทรีม (monotreme) เกิดขึ้นในยุคนี้ ซึ่งเข้าใจว่า วิวัฒนาการมาจากบรรพบุรุษพวกสัตว์เลื้อยคลานที่มีรูปร่างคล้ายๆ กัน แต่ได้สูญพันธุ์ไปในปลายยุคนี้ พวกโมโนทรีมมีลักษณะกึ่งกลางระหว่างสัตว์เลื้อยคลานและสัตว์เลื้อยลูกด้วยนมเพราะว่า สัตว์พวกนี้ยังคงวางไข่เช่นเดียวกับพวกเลื้อยคลานที่เป็นบรรพบุรุษของมัน เมื่อตัวอ่อนฟักออกมาจากไข่แล้ว จะอาศัยเลียนมจากแม่ สัตว์ชนิดใหม่นี้เป็นต้นตระกูลของพวกคูนปากเปิด (platypus) และ

ตัวกินมดคล้ายเม่น (spiny anteater) ในปัจจุบันที่พบเฉพาะในประเทศออสเตรเลียเท่านั้น

ยุคจูแรสซิก (Jurassic period มาจากชื่อเทือกเขา Jura ที่อยู่ระหว่างฝรั่งเศสและสวิตเซอร์แลนด์) มีเวลายาวนานประมาณ 63 ล้านปี สิ่งมีชีวิตได้ทั้งร่่องรอยที่เป็นซากดึกดำบรรพ์มากมาย และหลากหลายชนิด ไม่ว่าจะเป็นพวกเม่นทะเล ปลาฉลาม โดยเฉพาะพวกหอยที่มีเปลือกขดม้วนคือพวกแอมโมไนต์ (ammonite) ที่แพร่กระจายอยู่ทั่วโลกในยุคนี้และใช้เป็นตัวบ่งบอกชั้นหินของยุคจูแรสซิกได้เป็นอย่างดี แอมมามีวิวัฒนาการอย่างกว้างขวางควบคู่กับวิวัฒนาการของพืชมีดอก (angiosperm) ซึ่งเป็นตัวอย่างของวิวัฒนาการร่วมกัน (coevolution) อย่างกลมกลืนที่สุด ทำให้มีความหลากหลายของพืชมีดอกและแอมมอานาชนิดเกิดขึ้นมากมายในยุคนี้ ในขณะเดียวกัน สัตว์เลื้อยคลานก็มีวิวัฒนาการอย่างมากและแพร่กระจายออกไปอย่างกว้างขวางทั้งพวกที่อยู่ในน้ำและพวกที่อยู่บนบก ซึ่งเป็นพวกที่มีขนาดใหญ่โตมาก บางชนิดมีความยาวถึง 40 ฟุต ยุคจูแรสซิกได้ชื่อว่าเป็นยุคไดโนเสาร์อย่างแท้จริง เพราะมีมากมายหลายร้อยชนิดที่ครองโลกยุคนั้น อันเป็นที่มาของนิยายและภาพยนตร์เรื่อง Jurassic Park ที่โด่งดังไปทั่วโลก ที่น่าประหลาดใจไปกว่านั้นคือ ไดโนเสาร์บางชนิดในป่าเขตอบอุ่นได้วิวัฒนาการโครงสร้างที่ใช้ร่อนและบินได้ในอากาศ จนกลายเป็นบรรพบุรุษของนกในคอนแรกเริ่ม ดังเช่นซากดึกดำบรรพ์ของนกแรกๆ คือ Archaeopteryx ที่ยังคงลักษณะบางอย่างของสัตว์เลื้อยคลานไว้ เช่น ฟันและหางยาว เป็นต้น

ยุคครีเทเชียส (Cretaceous period จากคำละติน creta แปลว่าชอล์คที่ขุดมาจากหินชอล์คในแถบยุโรป) มีช่วงเวลายาวนานประมาณ 80 ล้านปี และเป็นยุคปลายของมหายุคมีโซโซอิก พืชมีดอก



ยังคงแพร่พันธุ์และวิวัฒนาการอย่างต่อเนื่องจนเกิดเป็นป่าดิบชื้นในพื้นที่หลายแห่งของโลก สัตว์มีกระดูกสันหลังยังคงแพร่ขยายพันธุ์ต่อไปทั้งในน้ำและบนบก น่านอนที่สุดพวกนกและพวกไดโนเสาร์แพร่กระจายไปทั่วโลก แต่ที่น่าสังเกตคือพวกสัตว์เลื้อยคลานด้วยนมยังไม่พัฒนาไปมากมายเท่าไรนัก ในยุคนี้ เพราะพบซากดึกดำบรรพ์ที่บ่งชี้ว่าสัตว์พวกนี้ยังคงมีร่างกายขนาดเล็กและมีเพียงไม่กี่ชนิดเท่านั้น ตลอดระยะเวลาของยุคนี้โลกมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพอย่างรุนแรงขึ้นอีก โดยมีทั้งช่วงที่เป็นน้ำแข็งและช่วงที่มีความแห้งแล้งสลับกันไป เช่นเดียวกับสภาวะการณที่เกิดขึ้นในยุคไทรแอสซิก จนกระทั่งปลายยุคครีเทเชียสจึงเกิดมีกลียุคบนพื้นพิภพโดยพื้นทวีปแยกตัวออกจากกันชัดเจน เกิดแผ่นดินไหว ภูเขาไฟระเบิด แรงเทคโทนิคดันพื้นดิน

ขึ้นเป็นภูเขาสูงแถบภูเขา Alps, Himalayas, Rockies, Andres ก่อให้เกิดการสูญเสีสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์จำนวนมากมาย โดยเฉพาะไดโนเสาร์ที่สูญหายไปจนหมดสิ้น นับว่าเป็นการสูญพันธุ์ครั้งใหญ่อีกครั้งหนึ่งที่นักวิทยาศาสตร์เชื่อว่าสิ่งมีชีวิตเกือบ 99 เปอร์เซ็นต์สูญหายตายจากโลกนี้ไป ส่วนที่ยังคงทนอยู่รอดต่อมาได้มีไม่มากนัก และในจำนวนนี้มีสัตว์เลื้อยคลานด้วยนมตัวเล็กๆ รวมอยู่ด้วย สภาวะการณของโลกในช่วงท้ายของยุคครีเทเชียสได้เปิดช่องว่างไว้มากมายทำให้สิ่งมีชีวิตที่รอดตายได้มีโอกาขยายพันธุ์และมีวิวัฒนาการเปลี่ยนแปลงต่อไปได้อย่างไร้ขีดจำกัดและปราศจากศัตรูคู่แข่งอย่างเช่นไดโนเสาร์ที่เคยเป็นเจ้าโลกแห่งยุคจูแรสซิก

มหายุคซีโนโซอิก

เป็นช่วงเวลาต่อจากปลายยุคครีเทเชียสจนถึงปัจจุบันนับเป็นเวลาประมาณ 65 ล้านปี มีเหตุการณ์เปลี่ยนแปลงต่างๆ ทั้งทางกายภาพและทางชีวภาพเกิดขึ้นมากมาย มหายุคซีโนโซอิกแบ่งออกเป็น 2 ยุค คือยุคเทอร์เชียรี (Tertiary period) ซึ่งเป็นช่วงระยะเวลายาวนานประมาณ 63 ล้านปี และยุคควอเทอร์นารี (Quaternary period) ซึ่งเป็นช่วงเวลาของยุคปัจจุบันที่มีช่วงเวลาสั้นประมาณ 2 ล้านปีเท่านั้น

ยุคเทอร์เชียรี แบ่งออกเป็น 5 สมัย ได้แก่ สมัยพาลีโอซีน (Paleocene epoch), สมัยอีโอซีน (Eocene epoch), สมัยโอลิโกซีน (Oligocene epoch), สมัยไมโอซีน (Miocene epoch) และสมัยไพลโอซีน (Pliocene epoch) ในแต่ละสมัยมีการเปลี่ยนแปลงวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตในรูปแบบต่างๆ กันโดยเฉพาะพวกสัตว์เลื้อยคลานด้วยนมซึ่งวิวัฒนาการแตกแขนงแยกออกไปมากมายหลากหลาย

หลายชนิดจนทำให้มหายุคซีโนโซอิกได้ชื่อว่าเป็นมหายุคของสัตว์เลื้อยคลานด้วยนมอย่างแท้จริง เพราะพบว่ามีทั้งพวกที่กินพืช กินแมลง และพวกกินเนื้อ สัตว์อื่นเป็นอาหาร จนกระทั่งถึงสมัยไมโอซีนเมื่อบรรยากาศโลกเย็นลงจึงเริ่มปรากฏว่ามีพวกไพรเมต (primate) ซึ่งรวมทั้งพวกลิงไม่มีหางหรือเอป (ape) อุบัติขึ้นซึ่งวิวัฒนาการมาจากบรรพบุรุษลิงพวกมีหางที่มีอยู่มากมายหลากหลายชนิดเมื่อประมาณ 20 ล้านปีที่แล้ว ลิงมีหางส่วนมากสูญพันธุ์ไปแล้วในช่วงที่มีอากาศแห้งแล้งและสภาพป่าลดน้อยลง ส่วนลิงไม่มีหางหรือพวกเอปคงรอดอยู่ได้ และบางชนิดก็วิวัฒนาการมาเป็นบรรพบุรุษของมนุษย์ยุคใหม่ในปัจจุบัน

ยุคควอเทอร์นารี มีช่วงเวลาสั้นเพียงประมาณ 2 ล้านปี แบ่งออกเป็น 2 สมัย คือ สมัยไพลสโตซีน (Pleistocene epoch) และสมัยโฮโลซีน (Holocene epoch) หรือสมัยปัจจุบัน

ซึ่งนับเป็นเวลาเพียงประมาณ 10,000 ปีที่ผ่านมาเอง ยุคควอเตอร์นารีมียุคน้ำแข็งเกิดขึ้นหลายครั้งสลับกับความแห้งแล้งในบางแห่งของโลก โดยเฉพาะบริเวณทะเลทรายซาฮารา (Sahara) แผ่นดินทวีปที่เคยรวมกันอยู่เป็นกลุ่มที่เรียกว่าแพนเจีย ได้เคลื่อนตัวแยกออกจากกันเป็นทวีปต่างๆ ดังที่เห็น

อยู่ในปัจจุบันนี้ พืชและสัตว์มีวิวัฒนาการเปลี่ยนแปลงเพื่อการอยู่รอดตลอดสมัยไพลสโตซีน รวมทั้งพฤติกรรมของมนุษย์ยุคใหม่ที่เริ่มมีจำนวนประชากรเพิ่มมากขึ้นโดยเฉพาะในช่วง 300-400 ปีที่ผ่านมาจนกระทั่งทุกวันนี้

วิวัฒนาการกับการสูญพันธุ์

เรายังไม่ค่อยให้ความสนใจและยังไม่รู้ซึ่งถึงคุณค่าของสิ่งมีชีวิตนานาชนิดทั้งในอดีตและในปัจจุบันในเชิงคุณค่าทางเศรษฐกิจ ในเชิงการเกื้อกูลการดำรงอยู่ของสิ่งมีชีวิตด้วยกันเองและช่วยค่าจากการดำรงอยู่ของมนุษย์ด้วย ตลอดจนคุณค่าทางสุนทนาการ เพราะว่าถ้าเราได้เห็นสิ่งมีชีวิตไม่ว่าจะเป็นพืชหรือสัตว์ แล้วทำให้จิตใจสดชื่นรื่นรมย์คลายเครียดได้ เราจะรู้ถึงคุณค่าและมีความรู้สึกดี ๆ เช่นนี้ต่อสิ่งมีชีวิตได้ดีขึ้น ถ้าหากเราได้ทำความเข้าใจบ้างพอสมควรเกี่ยวกับธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตและเข้าใจในกระบวนการวิวัฒนาการ (evolution) ที่ทำให้เกิดสิ่งมีชีวิตชนิดใหม่ๆ หลากหลายรูปแบบ ตลอดจนประวัติศาสตร์ของเหตุการณ์การเปลี่ยนแปลงที่นำไปสู่การสูญพันธุ์ (extinction) ของสิ่งมีชีวิตในอดีตกาล การสูญพันธุ์เป็นการสาบสูญสิ่งมีชีวิตไปอย่างถาวร ความรู้ความเข้าใจในประเด็นต่างๆ เหล่านี้ จะทำให้เราเกิดจิตสำนึกและความรู้สึกห่วงใยในสิ่งมีชีวิตบางชนิดที่กำลังอยู่ในสภาวะการณ์ที่เสี่ยงต่อการสูญพันธุ์ในสภาวะแวดล้อมที่เลวร้ายลงอยู่ในปัจจุบัน เพื่อจะได้ช่วยกันหามาตรการแก้ไขไม่ให้เกิดการสูญเสียสิ่งมีชีวิตที่ทรงคุณค่าเหล่านั้นไปจากโลกใบนี้

วิวัฒนาการ

นักวิทยาศาสตร์จัดจำแนกสิ่งมีชีวิตออกเป็นหมวดเป็นหมู่ตามระบบการศึกษาความเป็นมาของสิ่งมีชีวิตหรือซิสเทมาติกส์ (systematics) และหลักอนุกรมวิธาน (taxonomy) สปีชีส์ (species) หรือชนิดของสิ่งมีชีวิตเป็นหน่วยพื้นฐานของกระบวนการเปลี่ยนแปลงวิวัฒนาการ สปีชีส์หมายถึงกลุ่มของสิ่งมีชีวิตที่อาจมีลักษณะภายนอกแตกต่างกันหรือคล้ายคลึงกันก็ได้ และทั้งที่อาศัยอยู่ในประชากรเดียวกันหรือต่างประชากรกันก็ได้ แต่กลุ่มสิ่งมีชีวิตเหล่านั้นไม่สามารถสืบพันธุ์และถ่ายทอดพันธุกรรมระหว่างกันและกันได้เมื่อมีโอกาสมาอยู่ร่วมกัน เช่น ม้ากับลา เสือกับสิงโต เป็นต้น สิ่งมีชีวิตบนโลกเรามีจำนวนมากมายและหลากหลายชนิด เท่าที่ได้มีการศึกษากันอย่างเป็นทางการแล้วพบว่า มีอยู่ประมาณ 1.5-1.6 ล้านสปีชีส์ นักวิทยาศาสตร์คาดว่าน่าจะมีสิ่งมีชีวิตอีกจำนวนมากประมาณ 10-30 ล้านชนิดที่ยังไม่ได้ศึกษากัน ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในบริเวณป่าเขตร้อน (tropical forest) ที่มีความอุดมสมบูรณ์ด้วยทรัพยากรชีวภาพเหล่านี้

ปัญหาพื้นฐานที่สำคัญประการหนึ่งในการศึกษาสิ่งมีชีวิต คือสิ่งมีชีวิตที่มีอยู่มากมายและหลากหลายชนิดนั้นเกิดขึ้นมาได้อย่างไร ชาร์ลส์ ดาร์วิน นักธรรมชาติวิทยาชาวอังกฤษได้ค้นคว้าหาคำตอบเกี่ยวกับวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตไว้อย่างละเอียดลึกซึ้งและเขาได้บันทึกไว้ในหนังสือเรื่อง "The Origin of Species" ที่รู้จักกันดีในหมู่นักชีววิทยาและนักวิทยาศาสตร์ทั่วไป ปัจจุบัน นักวิชาการทราบดีว่า กระบวนการเปลี่ยนแปลงวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตมีอยู่ 2 แบบที่พอสรุปสาระสำคัญได้ดังนี้

แบบแรก เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงวิวัฒนาการที่ค่อยเป็นค่อยไปในช่วงเวลาสั้นๆ ตามสายตรงของการถ่ายทอดพันธุ์ ดังกรณีตัวอย่างของแมลงศัตรูพืช (เช่น แมลงวันผลไม้) และแมลง



รูปที่ 6 : ชาร์ลส์ ดาร์วิน นักธรรมชาติวิทยาชาวอังกฤษ ได้ค้นคว้าหาคำตอบเกี่ยวกับวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตไว้อย่างละเอียดลึกซึ้ง และเขาได้บันทึกไว้ในหนังสือเรื่อง "The Origin of Species" ที่รู้จักกันดีในหมู่นักชีววิทยาและนักวิทยาศาสตร์ทั่วไป

พาหะนำโรค (เช่น ยุงก้นปล่อง พาหะนำเชื้อมาลาเรีย) ในสภาวะแวดล้อมที่มีการใช้ยาฆ่าแมลง เช่น ดีดีที ยุงพาหะนำโรคจะพัฒนาพันธุกรรมที่ดื้อต่อยาดีดีที ยุงที่มีพันธุกรรมที่มีคุณสมบัติดื้อยาฆ่าแมลงนี้ ก็จะค่อยๆ สะสมและแพร่ขยายพันธุ์เพิ่มมากขึ้น และภายในเวลาไม่กี่ชั่วอายุประชากรของยุงพาหะนั้น ก็จะสามารถต้านทานยาดีดีทีได้ดียิ่งขึ้น ในทำนองเดียวกันการเปลี่ยนแปลงวิวัฒนาการของมนุษย์ตั้งแต่บรรพบุรุษยุคต้นๆ มาจนถึงมนุษย์ยุคใหม่ในปัจจุบัน ก็เป็นอีกตัวอย่างหนึ่งของกระบวนการเปลี่ยนแปลงวิวัฒนาการแบบค่อยเป็นค่อยไปตามสายตรงของการถ่ายทอดพันธุ์โดยเริ่มต้นจากบรรพบุรุษพวกเอปสกูล *Australopithecus afarensis* ในแอฟริกาที่เริ่มมีสมองขนาดใหญ่ขึ้น (ประมาณ 450 ลบ.ซม.) ลำตัวเริ่มเอนตรงขึ้น และเริ่มเดินด้วยขาสองขาได้ในระยะไม่กี่ล้านปี จนกลายมาเป็นพวกสกุล *Homo* เริ่มแรกได้แก่พวก *Homo habilis* ที่รู้จักใช้มือและมีสมองใหญ่ขึ้น (ประมาณ 650 ลบ.ซม.) ซึ่งวิวัฒนาการต่อมา กลายมาเป็นพวก *Homo erectus* ที่มีลักษณะเป็นตัวตรงชัดเจนพร้อมกับมีสมองใหญ่ขึ้นมาก (ประมาณ 950-1,100 ลบ.ซม.) และมีการพัฒนาการใช้เครื่องมือตลอดจนมีวัฒนธรรมที่ซับซ้อนมากขึ้นเรื่อยมา จนถึงขั้นเป็นพวก *Homo sapiens* ซึ่งเป็นมนุษย์สุดประเสริฐแห่งยุคปัจจุบันที่มีความเฉลียวฉลาดมากกว่าสัตว์อื่น เพราะมีสมองขนาดใหญ่มาก (ประมาณ 1,400 ลบ.ซม.) การเปลี่ยนแปลงวิวัฒนาการสายตรงหรือที่เรียกว่า วิวัฒนาการแบบไฟเลติก (phyletic evolution) หรืออะเนเจเนซิส (anagenesis) เป็นการปรับเปลี่ยนทางชีววิทยาทั้งในระยะสั้นและระยะยาวเช่นนี้ จะทำให้มีสายพันธุ์ใหม่หรือชนิดใหม่เกิดขึ้นมาแทนที่ชนิดเก่าที่สูญหายไป หรืออีกนัยหนึ่งจะไม่มีจำนวนชนิดหรือสปีชีส์เพิ่มมากขึ้นโดยกลไกการเปลี่ยนแปลงวิวัฒนาการแบบไฟเลติก

แบบที่สอง เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลง

วิวัฒนาการโครงสร้างทางพันธุกรรมที่เกิดขึ้นในประชากรต่างๆ ของสิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกันตามกาลเทศะที่แปรเปลี่ยนไปจนทำให้ประชากรที่อยู่ในถิ่นอาศัยที่แตกต่างกันมีโครงสร้างทางพันธุกรรมที่ผันแปรแตกต่างกันมากยิ่งขึ้นตามลำดับ จนกระทั่งถึงจุดหนึ่งที่ประชากรเหล่านั้นเมื่อมีโอกาสได้มาอยู่ร่วมกัน แต่ก็ไม่สามารถที่จะสืบพันธุ์หรือถ่ายทอดพันธุกรรมระหว่างกันและกันได้เหมือนอย่างที่เคยเป็นมาในอดีต เมื่อถึงขั้นนั้นแล้ว ก็ถือว่าประชากรเหล่านั้นมีความแตกต่างกันทางชีววิทยาโดยสิ้นเชิงและสามารถจัดจำแนกออกเป็นชนิดหรือสปีชีส์ที่แตกต่างกัน กระบวนการเปลี่ยนแปลงวิวัฒนาการเช่นนี้ทำให้มีการแตกแขนงกิ่งก้านสาขาที่พัฒนาไปเป็นสิ่งมีชีวิตชนิดใหม่ๆ เพิ่มขึ้นมากมาย และหลากหลายรูปแบบอาจมีทั้งที่คล้ายกันบ้างและแตกต่างกันบ้างตามลักษณะรูปร่างลักษณะนิเวศวิทยา เรียกกระบวนการเปลี่ยนแปลงวิวัฒนาการเช่นนี้ว่า สปีชีเอชัน (speciation) หรือ คลาโดเจเนซิส (cladogenesis) ดังกรณีตัวอย่างที่เห็นได้ชัดในอดีตกาลคือ วิวัฒนาการของกลุ่มไดโนเสาร์เมื่อประมาณ 200 ล้านปีที่ผ่านมามีทำให้เกิดไดโนเสาร์มากมายหลายร้อยชนิดที่แพร่กระจายและครอบครองโลกยุคนั้นเป็นเวลายาว

นานนับร้อยกว่าล้านปี กระบวนการสปีชีเอชันเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ตามกาลเวลาที่ผ่านไป ทำให้ยากต่อการศึกษาค้นคว้าตรวจสอบได้ชัดเจนภายในเวลาสั้นๆ เพียงไม่กี่ปี แต่ในบางกรณี นักวิทยาศาสตร์ก็สามารถใช้วิชาการเทคโนโลยีใหม่ๆ โดยเฉพาะเทคนิคทางด้านโมเลกุล เช่น การตรวจสอบความแตกต่างของโปรตีนโดยเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส (electrophoresis) และการตรวจสอบความแตกต่างทางพันธุกรรมในระดับดีเอ็นเอโดยใช้เทคนิค RFLP, PCR-RAPD เป็นต้น เทคนิคใหม่ๆ เหล่านี้สามารถตรวจสอบหาความผันแปรและการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมของประชากรต่างๆ ของสิ่งมีชีวิตชนิดใดชนิดหนึ่งในช่วงเวลาเดียวกันได้ หรืออาจตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมของประชากรใดประชากรหนึ่งตามกาลเวลาที่ผ่านไปเป็นเดือน เป็นปี หรือช่วงเวลาหลายๆ ปีก็ได้ การศึกษาโครงสร้างทางพันธุกรรมของประชากรดังกล่าว ทำให้ได้ข้อมูลที่สะท้อนให้เห็นการเปลี่ยนแปลงทางชีววิทยาของประชากรได้เป็นอย่างดี จะเห็นได้ว่า ความหลากหลายทางชีวภาพที่ปรากฏอยู่ในท้องที่บางแห่งของโลกปัจจุบันนี้เป็นผลพวงที่เกิดจากกระบวนการเปลี่ยนวิวัฒนาการที่ผ่านมามีในอดีตทั้งสิ้น

การสูญพันธุ์

วิวัฒนาการเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติอย่างหนึ่งซึ่งก่อให้เกิดการสร้างสรรคและสิ่งมีชีวิตนานาชนิดที่อุบัติขึ้นมาบนโลกนี้ดังที่กล่าวไว้ในตอนต้น แต่ธรรมชาติของสรรพสิ่งทั้งหลายทั้งปวงย่อมมีเกิด มีอยู่ มีดับ ดังนั้น การเกิดกับการดับจึงเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นควบคู่กันเสมอเพื่อทำให้เกิดสมดุลของธรรมชาติ การดับหรือการสูญพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตจึงเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกิดขึ้นตามปกติอยู่แล้วในสภาวะการณ์ทั่วไป ดังที่กล่าวไว้ใน

ตอนต้นว่า หลักฐานซากดึกดำบรรพ์บ่งชี้ชัดเจนว่าสิ่งมีชีวิตจำนวนมากที่อุบัติขึ้นมาในอดีตได้สูญพันธุ์ไปแล้วตามเงื่อนไขของกาลเวลาและตามสภาวะการณ์ที่เปลี่ยนแปลงไป สิ่งมีชีวิตบางชนิดสูญพันธุ์ไปโดยไม่ได้ทั้งร่องรอยของผู้สืบทอดสายพันธุ์โดยตรงให้เห็นในปัจจุบันเลย เช่น พวกไทรโลไบต์ที่แพร่กระจายอย่างกว้างขวางบนพื้นทะเลในยุคแคมเบรียนได้สูญพันธุ์ไปในยุคต่อๆ มา และไม่มีสัตว์ชนิดใดในยุคปัจจุบันที่มีความสัมพันธ์ใกล้ชิด

กับพวกไทโรโลไบต์ในอดีตเลย จะมีก็เพียงแต่พวก กุ้งและปูที่ดูจะเป็นเครือญาติที่ค่อนข้างห่างไกลจาก ไทโรโลไบต์พอสมควรทีเดียว ไดโนเสาร์เจ้าโลกแห่ง ยุคจูแรสซิกก็เช่นเดียวกัน ได้สูญพันธุ์ไปจนหมด ลิ่นในยุคต่อๆ มาโดยไม่มีสัตว์ชนิดใดในยุคปัจจุบัน ที่เป็นผู้สืบทอดสายพันธุ์อย่างใกล้ชิดตามสาย วิวัฒนาการ แต่สัตว์ที่พอจะถือได้ว่าเป็นเครือญาติ ใกล้ชิดไดโนเสาร์ที่สุดในปัจจุบันคือ นก นักวิทยาศาสตร์ประเมินว่า มีสิ่งมีชีวิตจำนวนมากมายและ หลากหลายชนิดได้สูญหายตายจากโลกนี้ไปในอดีต ไม่น้อยกว่า 98 เปอร์เซ็นต์ และที่เหลือเป็นพืช สัตว์ และจุลินทรีย์ในยุคปัจจุบันนี้มีไม่ถึง 2 เปอร์เซ็นต์

คำถามก็คือว่า อะไรเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ สิ่งมีชีวิตต้องสูญพันธุ์ไปตามธรรมชาติ จากหลักฐานทางธรณีวิทยาและซากดึกดำบรรพ์ ทำให้นัก วิทยาศาสตร์เชื่อว่า สาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการสูญ พันธุ์ คือการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของโลก เช่น แผ่นดินไหว ภูเขาไฟระเบิด และการเปลี่ยนแปลง ภูมิอากาศของโลกควบคู่กับการเปลี่ยนแปลงทาง ชีวภาพ เช่น การรุกรานโดยศัตรูคู่แข่ง การพัฒนา เป็นสัตว์ผู้ล่า และการพัฒนาเป็นพวกรักษา เป็นต้น แต่ที่น่าสนใจมากก็คือ การสูญพันธุ์ครั้งใหญ่ที่เกิด ขึ้นในเวลาอันรวดเร็วบนพื้นฐานของหลักธรณีวิทยา นับจำนวนได้หลายครั้งหลายครา

นักวิทยาศาสตร์ได้ตั้งข้อสังเกตว่า การสูญ พันธุ์ครั้งใหญ่ๆ มักจะเกิดในทุกๆ ช่วงระยะเวลา ประมาณ 26 ล้านปี และเหตุการณ์แต่ละครั้งยังผล ให้เกิดการสูญเสียนกลุ่มสิ่งมีชีวิตในช่วงเวลานั้นๆ อย่างมากมายมหาศาล ตัวอย่างเช่น การสูญพันธุ์ ครั้งใหญ่ในมหายุคมีโซโซอิกซึ่งได้ชื่อว่า เป็นมหายุค ของสัตว์เลื้อยคลานเมื่อประมาณ 65 ล้านปีมาแล้ว ทำให้สัตว์บก (เช่นไดโนเสาร์) และสัตว์ทะเล (เช่น หอยพวกฟอรามินิเฟรา) สูญหายไปเกือบหมดใน เวลาอันรวดเร็ว มีสมมติฐานหลายอย่างที่น่ามาใช้อธิบายเหตุการณ์ที่ทำให้เกิดการสูญพันธุ์ของ ไดโนเสาร์และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ในยุคนั้น รวมทั้งข้อ

สันนิษฐานที่ว่า มีลูกอุกกาบาตขนาดใหญ่ เส้นผ่า ศูนย์กลางประมาณ 10 กิโลเมตรพุ่งเข้าชนโลก อย่างแรงจนเกิดหลุมขนาดใหญ่และฝุ่นละอองฟุ้ง กระจายปกคลุมไปทั่วท้องฟ้าและพื้นพิภพเสมือน เป็นม่านบดบังแสงอาทิตย์ที่ส่องแสงมาสู่โลก ทำให้ โลกถูกปิดมืดมิดจนพืชไม่สามารถสังเคราะห์ด้วย แสงได้เป็นเวลายาวนาน ยังผลให้พืชและสัตว์ขาด แคลนอาหารตลอดจนการระบาดของเชื้อโรค สิ่งมี ชีวิตส่วนมากจึงสูญพันธุ์ไปในที่สุด อย่างไรก็ตาม บทเรียนที่ได้จากการศึกษาประวัติศาสตร์ของการ เปลี่ยนแปลงของโลกในครั้งนั้นสะท้อนให้เห็น ชัดเจนว่า การเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมในทาง ลบทั้งด้านกายภาพและด้านชีวภาพเป็นภัยแฉก สำคัญที่นำไปสู่การสูญพันธุ์ตามธรรมชาติของสิ่งมี ชีวิตในอดีตกาล

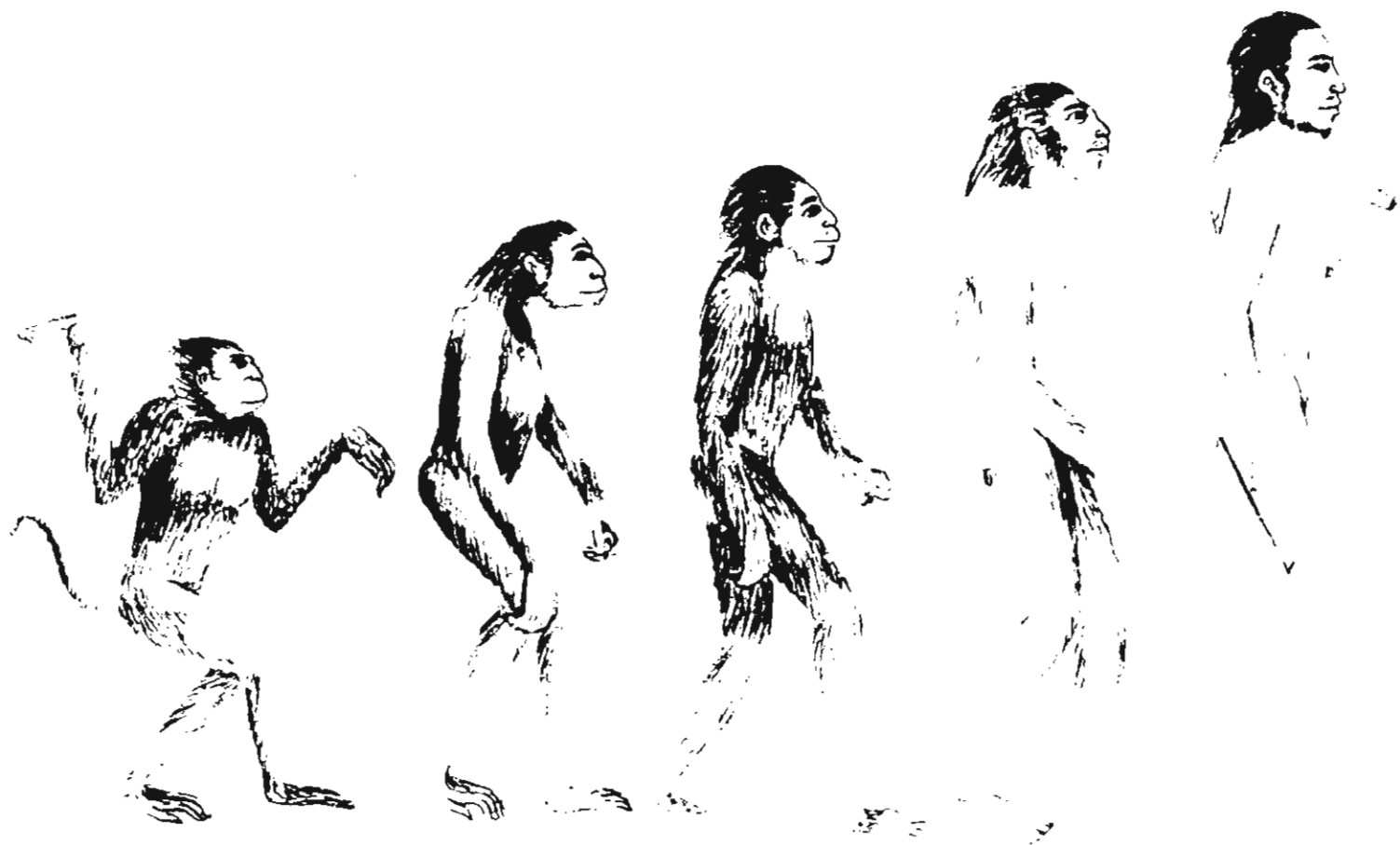
แต่ในปัจจุบัน เหตุการณ์ยิ่งเลวร้ายมากกว่า ในอดีต เพราะวามมนุษย์กลายเป็นต้นเหตุสำคัญของการสูญพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตอย่างมากมายในช่วง ประมาณร้อยปีที่ผ่านมา และอัตราสูญพันธุ์ของสิ่ง มีชีวิตทวีความรุนแรงยิ่งขึ้นในปัจจุบัน อันเนื่องมา จากพฤติกรรมกระทำของมนุษย์ทั้งโดยทาง ตรงและทางอ้อม เช่น ประชากรโลกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วควบคู่กับการทำลายถิ่นอาศัยของสิ่งมีชีวิต นานาชนิดอย่างกว้างขวางและรุนแรงขึ้นทุกขณะ เพื่อหวังผลประโยชน์จากการพัฒนาทางด้านเกษตร- กรรม ด้านอุตสาหกรรมโรงงาน และอุตสาหกรรม ท่องเที่ยว เพื่อทำให้เกิดการกินอยู่ได้อย่างไม่มีขอบ เขตจำกัดที่มนุษย์จัดว่าเป็นสัญลักษณ์ของความ เจริญทางด้านเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ กิจกรรมที่เรียกว่าการพัฒนาประเทศดังกล่าว นอกจากจะทำให้เกิดการทำลายล้างถิ่นอาศัยและสูญ เสียดความหลากหลายทางชีวภาพแล้ว ยังส่งผลให้ สภาวะการณ์ธรรมชาติไม่เอื้ออำนวยให้เกิดกระบวนการ เปลี่ยนแปลงวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตที่จะนำไปสู่การเกิดสปีชีส์หรือชนิดใหม่ๆ ได้อย่างปกติดัง ที่เคยเกิดขึ้นในอดีต จะเห็นได้ว่า นอกจากโลกจะ

สูญเสียบางสิ่งมีชีวิตที่มีอยู่ในธรรมชาติแล้ว สถานการณ์
ยังไม่เปิดโอกาสให้มีวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตชนิด
ใหม่ๆ เกิดขึ้นมาทดแทนสิ่งที่สูญหายไปได้ด้วย
กล่าวคือ พฤติกรรมของมนุษย์ที่ขาดคุณธรรมได้
ก่อกรรมทำเข็ญให้กับธรรมชาติจนเกิดผลในทางลบ
ในทุกๆ ด้านอยู่ในขณะนี้

นักวิทยาศาสตร์ได้ประมาณการว่า อัตราสูญ
พันธุ์ของสิ่งมีชีวิตในปัจจุบันมีสูงถึงประมาณชั่วโมง
ละ 3 สปีชีส์ เมื่อเปรียบเทียบกับในอดีตเมื่อประมาณ
10 ปีที่แล้วที่มีอัตราสูญพันธุ์ชั่วโมงละ 1 สปีชีส์ หรือ
เมื่อ 30 ปีที่แล้ว วันละ 1 สปีชีส์ และยุคก่อนหน้านั้น
ที่อัตราสูญพันธุ์ตามธรรมชาติที่แท้จริงแล้ว โดย
เฉลี่ยมีเพียงประมาณปีละ 1 สปีชีส์เท่านั้น จะเห็น
ได้ว่า อัตราสูญพันธุ์ในปัจจุบันเพิ่มขึ้นเป็นหลาย

ร้อยหลายพันเท่าของที่เคยเกิดขึ้นในอดีต หาก
ปล่อยให้เหตุการณ์อันเนื่องมาจากพฤติกรรมการ
กระทำของมนุษย์เป็นไปเช่นนี้เรื่อย ๆ ก็เป็นที่คาด
หมายได้ว่า ภายใน 2-3 ทศวรรษหน้า จะมีสิ่งมี
ชีวิตที่สูญพันธุ์ไปไม่น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของสิ่งมีชีวิต
ที่มีอยู่ในปัจจุบัน และเมื่อวันนั้นมาถึง มันก็อาจสาย
เกินแก้ เข้าทำนองสุภาษิตที่ว่า “วัวหายล้อมคอก”
หรือ “ไม่เห็นโลงศพ ไม่หลั่งน้ำตา” พวกเราคงไม่
อยากคิดและไม่อยากเห็นสิ่งเลวร้ายที่อาจเกิดขึ้น
ได้กับโลกสีน้ำเงินใบนี้ มนุษย์เพียงผู้เดียวเท่านั้น
ที่จะสามารถช่วยกันป้องกันรักษาและอนุรักษ์
ทรัพยากรชีวภาพเหล่านี้ไว้ให้ลูกหลานได้พึ่งพา
อาศัยและใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืนต่อไปได้นาน
เท่านาน





วิวัฒนาการของมนุษย์

ดังที่กล่าวไว้ในตอนต้นว่ามหายุคซีโนโซอิก ได้ชื่อว่าเป็นมหายุคของสัตว์เลื้อยลูกด้วยนม โดยเฉพาะในสมัยไมโอซีน (Miocene epoch) ในช่วงประมาณ 23-5 ล้านปีที่ผ่านมามีสัตว์เลื้อยลูกด้วยนมกลุ่มหนึ่งซึ่งได้ชื่อว่าไพรเมต (primate) ซึ่งส่วนใหญ่ดำรงชีวิตและหากินอยู่บนต้นไม้โดยอาศัยนิ้วมือนิ้วเท้าที่ค่อนข้างยาวเพื่อใช้เกาะกิ่งไม้ในการเคลื่อนไหวโหนตัวไปมาอย่างคล่องแคล่วว่องไวและปลอดภัย นอกจากนั้นสัตว์พวกไพรเมตยังมีดวงตาค่อนข้างใหญ่เพื่อใช้ในการดำรงชีวิตบนกิ่งไม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จะพบว่ามีสัตว์พวกไพรเมตมากกว่า 180 ชนิดรวมทั้งพวกเอป (ape) ด้วย ซึ่งได้แก่กลุ่มลิงไม่มีหางมีพวกเอปไม่น้อยกว่า 30 ชนิดแพร่กระจายอยู่ทั่วไปในทวีปแอฟริกา เอเชีย และยุโรป และหนึ่งในจำนวนนี้วิวัฒนาการเปลี่ยนแปลงไปเป็นต้นตระกูลของเอปก้าวหน้าในยุคต่อมาและเป็นบรรพบุรุษของสกุลมนุษย์หรือสกุลโฮโม (Homo) ใน

ช่วงปลายสมัยไพลโอซีน (Pliocene epoch ประมาณ 5-2 ล้านปีที่แล้ว) เอปมีลักษณะเด่นคือสามารถเดินได้ด้วยขา 2 ข้างอย่างน้อยก็ในระยะทางสั้นๆ นักวิชาการแบ่งพวกเอป กลุ่มที่เรียกว่าโฮมินอยด์ (Hominoid) ออกเป็น 3 วงศ์ คือ

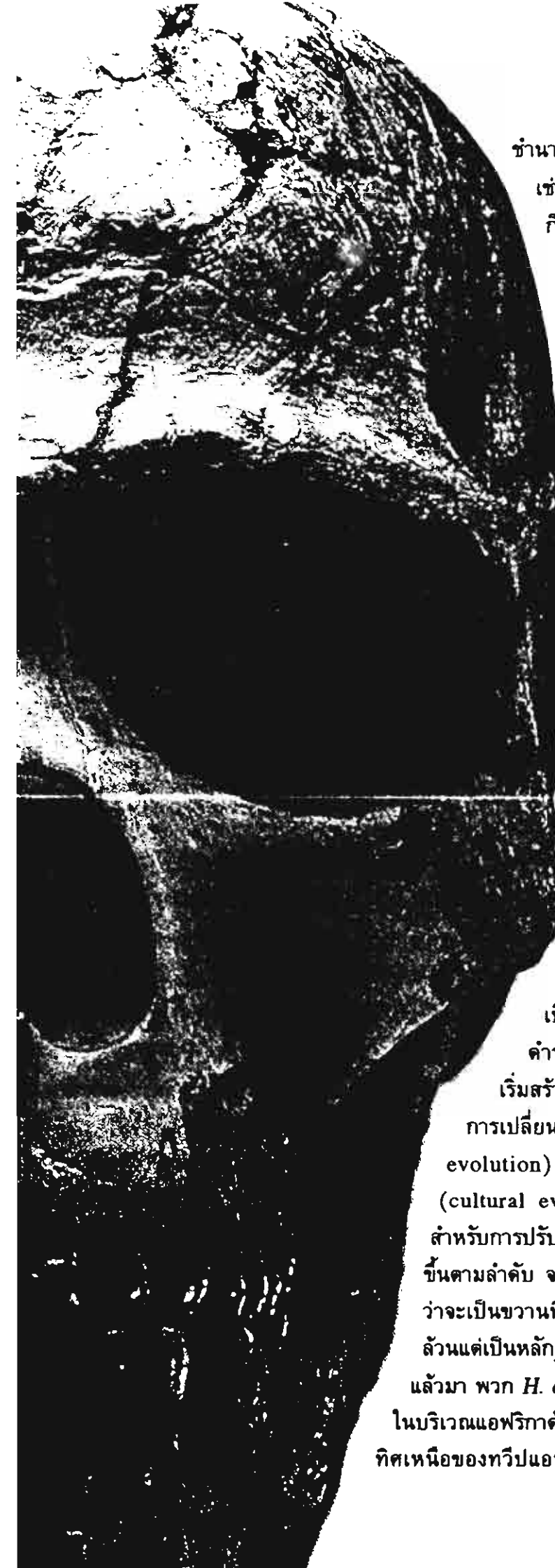
- 1) วงศ์ Hylobatidae ได้แก่ พวกชะนี (gibbon) ซึ่งมีทั้งหมด 6 ชนิด
- 2) วงศ์ Pongidae ได้แก่ พวกเกรตเอป (great ape) ซึ่งมีทั้งหมด 3 สกุล คือ Pongo (อูรังอุตัง), Gorilla (กอริลลา), Pan ได้แก่ ชิมแพนซี และชิมแพนซีแคระหรือโบโนโบ (bonobo) และ
- 3) วงศ์ Hominidae ได้แก่ พวกโฮมินิด (Hominids) ซึ่งมีพวกสกุลเอปจากตอนใต้ (Australopithecus) ที่สูญพันธุ์ไปหมดแล้วและสกุลมนุษย์หรือสกุลโฮโมซึ่งเคยมีอยู่หลายชนิดในอดีต ปัจจุบันเหลือเพียงชนิดเดียวเท่านั้น คือ มนุษย์ยุคใหม่ (Homo sapiens)

นักวิทยาศาสตร์กำลังค้นหาคำตอบว่าบรรพบุรุษชนิดล่าสุดของมนุษย์ยุคใหม่เป็นพวกไหน และมีวิวัฒนาการเปลี่ยนแปลงมาอย่างไร เท่าที่มีหลักฐานซากดึกดำบรรพ์อยู่ในขณะนี้ นักบรรพมานุษยวิทยา (palaeoanthropologist) ค้นพบซากดึกดำบรรพ์ของพวก *Ardipithecus ramidus* (ramidus ภาษาท้องถิ่นหมายถึงรากเหง้า) ในบริเวณใกล้ๆ กับเมืองฮาดาร์ของประเทศเอธิโอเปีย และมีอายุประมาณ 4.4 ล้านปีที่แล้วน่าจะเป็นบรรพบุรุษที่เก่าแก่ที่สุดของพวกเอปเท่าที่เคยขุดค้นพบมา บรรพบุรุษกลุ่มนี้วิวัฒนาการต่อมากลายเป็นพวก *Australopithecus anamensis* (anam ภาษาท้องถิ่นหมายถึงทะเลสาบ) ซึ่งมีอายุประมาณ 4.2-3.9 ล้านปีที่แล้ว ซากดึกดำบรรพ์ของพวก *A. anamensis* ขุดได้จากบริเวณทะเลสาบใกล้เมืองคานาปอยที่อยู่ทางตอนเหนือของประเทศเคนยา และเข้าใจว่าพวกนี้เป็นเอปชนิดที่เชื่อมต่อระหว่าง *Ardipithecus ramidus* กับ *Australopithecus afarensis* ซากดึกดำบรรพ์ของพวก *A. afarensis* ถือว่ามีความสมบูรณ์ที่สุดเท่าที่นักวิชาการเคยขุดได้ เพราะมีความสมบูรณ์ถึง 40 เปอร์เซ็นต์ ซากดึกดำบรรพ์ของพวก *A. afarensis* มีชื่อเล่นว่า “ลูซี่ (Lucy)” มีอายุประมาณ 3.2 ล้านปีที่ผ่านมาขุดได้จากเมืองฮาดาร์อยู่ในบริเวณที่มีชื่อว่าอะฟาร์ (Afar) ของประเทศเอธิโอเปียซึ่งเป็นบริเวณที่มีการขุดค้นพบซากดึกดำบรรพ์ของพวกเอปเหล่านี้จำนวนมาก และเชื่อว่าพวกของลูซี่สูญพันธุ์ไปเมื่อประมาณ 2.5 ล้านปีที่แล้ว ซากดึกดำบรรพ์ของลูซี่ซึ่งถือว่าเป็นพวกที่เดินด้วยขาสองข้าง แต่สติปัญญาอาจยังด้อยอยู่ เพราะว่ามีสมองขนาดเล็กเพียงประมาณ 400 ลูกบาศก์เซนติเมตร สะท้อนให้เห็นว่าวิวัฒนาการเดินด้วยขาสองข้างเกิดขึ้นก่อนวิวัฒนาการทางด้านสมอง พวกเอปที่สืบสายพันธุ์ต่อจากลูซี่คือ *Australopithecus africanus* (หมาย

ถึงเอปจากแอฟริกาตอนใต้ซึ่งเป็นแหล่งที่ขุดค้นพบซากดึกดำบรรพ์ของเอปกลุ่มนี้และมีอายุประมาณ 3.0-2.5 ล้านปีที่แล้ว) เอปพวกนี้ยืนบนขาทั้งสองข้างได้ดีกว่าบรรพบุรุษพวกลูซี่ ดังนั้นลูซี่จึงเป็นบรรพบุรุษร่วมอย่างแท้จริงระหว่างพวกเอปในยุคต่อมาและพวกโฮโม (*Homo*) ด้วย พวกลูซี่จึงได้ชื่อว่าเป็นบรรพบุรุษที่ใกล้ชิดที่สุดของสกุลโฮโม (ดูรูปที่ 2)

พวกสกุลโฮโมมีสมองใหญ่กว่าบรรพบุรุษพวก *Australopithecus* สกุลโฮโมมีหลายชนิดซึ่งสูญพันธุ์ไปหมดแล้วยกเว้นมนุษย์ยุคใหม่ในปัจจุบันเท่านั้น ซากดึกดำบรรพ์ของสกุลโฮโมพวกแรกจากแอฟริกาที่ได้รับการยืนยันทางวิชาการว่ามีอายุประมาณ 2 ล้านปีที่แล้ว คือ *Homo habilis* หรือเรียกโดยทั่วไปว่า “คนใช้มือ” (handy man) เพราะสันนิษฐานว่ามนุษย์โบราณพวกแรกๆ นี้เริ่มรู้จักใช้หินเป็นเครื่องมือบ้างแล้วและมีสมองใหญ่กว่าพวกเอปคือประมาณ 530 ลูกบาศก์เซนติเมตร และต่อมาก็พบซากดึกดำบรรพ์ของมนุษย์โบราณที่แตกต่างจากพวก *H. habilis* โดยเฉพาะซากกระดูกศีรษะใหญ่กว่าคือประมาณ 600-700 ลูกบาศก์เซนติเมตร จึงให้ชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *H. rudolfensis* (จากชื่อทะเลสาบ Rudolf ในประเทศเคนยา) ซึ่งเข้าใจว่ามีอายุประมาณ 2.5-1.6 ล้านปีมาแล้วบนพื้นฐานของข้อมูลที่มีอยู่ในระยะแรก นักวิชาการเชื่อว่าพวกโฮโมที่สืบทอดเชื้อสายต่อมาจากมนุษย์โบราณรุ่นแรกๆ ได้แก่พวก *Homo erectus* หรือที่เรียกว่า “คนยืนตรง” (upright man) เพราะหลักฐานซากดึกดำบรรพ์แสดงให้เห็นชัดเจนว่าพวกนี้มีลักษณะพิเศษจำเพาะคือ ยืนตัวตั้งตรงและเดินด้วยขาสองข้างอย่างแท้จริงและเข้าใจว่า *H. erectus* อุบัติขึ้นมาในทวีปแอฟริกา

พวก *H. erectus* คงมีวิถีชีวิตที่เรียบง่ายโดยอาศัยผลไม้และเนื้อสัตว์เป็นอาหาร พวกนี้มีความ



ชานาญไม่มากนักเกี่ยวกับการประดิษฐ์เครื่องมือเครื่องใช้ เช่น รู้จักใช้สะเก็ดหินทำเป็นขวานแบบง่าย ๆ อย่างไรก็ตาม พวก *H. erectus* ก็ประสบความสำเร็จอย่างมากในแอฟริกาตะวันออกเมื่อประมาณ 1.8-1.6 ล้านปีที่แล้วมา ซึ่งเป็นช่วงเริ่มต้นของยุคน้ำแข็งครั้งแรกที่เกิดขึ้นในสมัยไพลสโตซีน เมื่อถึงยุคน้ำแข็งครั้งที่สองซึ่งเกิดขึ้นเมื่อประมาณ 9 แสนปีที่แล้วมาทำให้ *H. erectus* ต้องเผชิญกับการเปลี่ยนแปลงครั้งใหญ่อีกครั้งหนึ่งซึ่งอาจเป็นสาเหตุสำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้ *H. erectus* มีความแข็งแกร่งอดทนมากขึ้นเพื่อยืนหยัดต่อสู้กับสภาพการเปลี่ยนแปลงของอากาศ โดยการพัฒนาการด้านสมอง สติปัญญา และพัฒนาการใช้มือและประดิษฐ์เครื่องมือเครื่องใช้ที่เป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงชีวิตเพื่อการอยู่รอด ซึ่งมีผลเกี่ยวโยงไปถึงการเคลื่อนย้ายถิ่นอาศัยขยายขอบเขตดินแดนหากินออกไปสู่โลกกว้างมากยิ่งขึ้น เพราะได้มีการค้นพบว่า *H. erectus* ไปปรากฏตัวอยู่ในบริเวณเอเชียกลางเป็นครั้งแรกเมื่อประมาณ 9 แสนปีที่แล้ว พวก *H. erectus* เป็นสกุลมนุษย์ชนิดใหม่ที่มีมีการปรับเปลี่ยนสภาวะแวดล้อมให้สอดคล้องกับความ เป็นอยู่ของตัวเองมากขึ้น จึงทำให้พวกนี้สามารถดำรงชีวิตอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันได้ นั่นคือ เริ่มสร้างวัฒนธรรมขึ้นมาในสังคมเล็กๆ ในยุคนั้น จากการเปลี่ยนแปลงวิวัฒนาการทางด้านชีววิทยา (biological evolution) ผสมผสานกับวิวัฒนาการทางด้านวัฒนธรรม (cultural evolution) ได้เพิ่มศักยภาพแห่งความยืดหยุ่น สำหรับการปรับตัวทางด้านนิเวศวิทยาของ *H. erectus* มากยิ่งขึ้นตามลำดับ จากซากกระดูกค้ำบรรพ์และเครื่องมือของใช้ไม่ว่าจะเป็นขวานหิน ก้อนหินและร่องรอยของการใช้ไฟในวิถีชีวิตล้วนแต่เป็นหลักฐานยืนยันได้ว่าในช่วงระยะเวลากว่า 1.6 ล้านปีที่แล้วมา พวก *H. erectus* ได้แผ่กระจายออกไปจากถิ่นอาศัยดั้งเดิม ในบริเวณแอฟริกาตะวันออกไปสู่โลกกว้างทั้งทางทิศใต้และทางทิศเหนือของทวีปแอฟริกาโดยเฉพาะแถบยุโรปด้านเหนือ ทางด้าน

ตะวันออกมุ่งสู่ดินแดนตะวันออกกลางและจีนแผ่นดินใหญ่ (ที่ได้ชื่อว่าพวก Peking man) และบริเวณเอเชียและเอเชียอาคเนย์ (ที่ได้ชื่อว่า Java man)

หลักฐานจากซากกะโหลกศีรษะที่ขุดพบในตอนนั้นทำให้นักวิชาการสันนิษฐานในเบื้องต้นว่า *H. erectus* วิวัฒนาการเปลี่ยนแปลงมาเป็นมนุษย์ยุคใหม่ที่ได้ชื่อว่า *Homo sapiens* ซึ่งมีสมองใหญ่ประมาณ 1,400 ลูกบาศก์เซนติเมตร และมีสติปัญญาก้าวไกลจนได้ชื่อว่า “คนฉลาด” (wise man) ก่อนที่มนุษย์โบราณรุ่นพี่คือ *H. erectus* จะสูญหายตายจากโลกนี้ไปเมื่อประมาณ 2.5 แสนปีที่แล้ว อย่างไรก็ตาม ยังมีคำถามที่ค้างคาใจว่า *H. erectus* เปลี่ยนแปลงวิวัฒนาการไปเป็น *H. sapiens* ซึ่งแพร่กระจายออกไปทั่วโลกได้อย่างไร และ *H. sapiens* เข้ามาแทนที่ *H. erectus* ตั้งแต่เมื่อไร และด้วยเหตุผลใด คำอธิบายในเรื่องนี้มีอยู่ 2 แนวทางด้วยกัน คือ

1) ทฤษฎี “ออกนอกแอฟริกา” (Out of Africa Theory) ซึ่งมีข้อเสนอแนวความคิดว่า *H. erectus* อุดมคติขึ้นในทวีปแอฟริกาและต่อมาบางกลุ่มได้อพยพออกจากถิ่นกำเนิดในแอฟริกาสู่โลกกว้างและไปตั้งถิ่นฐานในที่ต่างๆ กันในแถบยุโรป ตะวันออกกลาง จีน เอเชียและเอเชียอาคเนย์ ในช่วงระยะเวลากว่า 1.6 ล้านปีมาแล้ว และเมื่อประมาณ 3-2 แสนปีที่ผ่านมามีการเปลี่ยนแปลงวิวัฒนาการจาก *H. erectus* ไปเป็น *H. sapiens* ในที่ใดที่หนึ่งในทวีปแอฟริกาตะวันออกและโดยอาศัยข้อได้เปรียบในหลายๆ ด้านทางสรีรวิทยาและทางร่างกายของ *H. sapiens* ทำให้น้องใหม่ล่าสุดของสกุลโฮโมอพยพเคลื่อนย้ายเป็นระลอกที่สองออกจากทวีปแอฟริกาสู่โลกกว้างเช่นเดียวกับผู้ที่คือ *H. erectus* ที่เคยทำมาก่อนและอาจเข้าไปอยู่ร่วมกับรุ่นพี่ในหลายๆ พื้นที่และอาจเกิดการต่อสู้และทำลายล้างกันจนกระทั่ง *H. erectus* ต้องสูญพันธุ์ไปอย่างน่าเสียดายยิ่ง

2) สมมติฐาน “เกิดขึ้นพร้อมกันหลายพื้นที่” (Multiregional Hypothesis) มีข้อเสนอแนวความคิดคล้ายกับทฤษฎีแรก กล่าวคือ *H. erectus* เปลี่ยนแปลงวิวัฒนาการไปเป็น *H. sapiens* แต่มีคำอธิบายที่แตกต่างไป กล่าวคือ *H. sapiens* อุดมคติขึ้นมาจากกลุ่ม *H. erectus* ในประชากรต่างๆ กันและในช่วงเวลาใกล้เคียงกันทั้งในเอเชียและยุโรป และในที่สุด *H. sapiens* ก็เข้าแทนที่ *H. erectus* ในบริเวณต่างๆ นั้นโดยไม่มีการอพยพย้ายถิ่นเหมือนอย่างคำอธิบายในทฤษฎี “ออกนอกแอฟริกา” สมมติฐานนี้ยังไม่ค่อยเป็นที่ยอมรับกันในหมู่นักวิชาการและยังขาดข้อมูลสนับสนุนเมื่อเปรียบเทียบกับทฤษฎีแรก

ในปี ค.ศ. 1984 นักวิชาการในกลุ่มของ M. Leakey ได้ขุดพบซากดึกดำบรรพ์ของมนุษย์โบราณซึ่งมีทั้งซากกะโหลกศีรษะและโครงกระดูกอื่นๆ หลายชิ้นจากบริเวณด้านตะวันตกของทะเลสาบเทอร์คานา ในประเทศเคนยา ซากโครงกระดูกที่พบนี้มีอายุประมาณ 1.6 ล้านปีมาแล้ว ต่อมานักวิจัยกลุ่มนี้ได้ขุดพบซากกระดูกที่คล้ายคลึงกันนี้เพิ่มขึ้นอีกจากบริเวณด้านตะวันออกของทะเลสาบเทอร์คานาที่แสดงให้เห็นว่าพวกมนุษย์โบราณกลุ่มนี้มีสมองใหญ่กว่ารุ่นก่อนคือประมาณ 850 ลูกบาศก์เซนติเมตร และมีอายุเก่าแก่ถึงประมาณ 1.9 ล้านปีที่ผ่านมามีนักวิจัยกลุ่มนี้เชื่อว่ามนุษย์โบราณพวกนี้น่าจะมีความก้าวหน้ากว่าพวก *H. habilis* และ *H. rudolfensis*

ในตอนแรกนักวิชาการที่ศึกษาหลักฐานซากกระดูกต่างๆ ของมนุษย์โบราณกลุ่มใหม่นี้มีความคิดว่ามนุษย์โบราณพวกนี้น่าจะเป็นพวกเดียวกันกับ *H. erectus* ซึ่งเข้าใจกันว่า อุดมคติขึ้นมาในทวีปแอฟริกาตั้งแต่กล่าวไว้ข้างบน แต่จากการศึกษาเปรียบเทียบหลักฐานข้อมูลที่ขุดพบจำนวนมากขึ้นทำให้นักวิชาการกลุ่มนี้ต้องเปลี่ยนความคิดใหม่โดยเชื่อว่าสิ่งที่เขาค้นพบและศึกษาอยู่นั้นน่าจะเป็นพวก “proto-erectus” ซึ่งหมายถึงว่าน่า

จะเป็นมนุษย์โบราณที่เก่าแก่กว่าพวก *H. erectus* แต่มีความคล้ายคลึงและใกล้ชิดกับพวก *H. erectus* มากและอาจเป็นบรรพบุรุษที่แท้จริงของ *H. erectus* ก็ได้ จึงตั้งชื่อให้มนุษย์โบราณกลุ่มใหม่นี้ว่า *Homo ergaster* หมายถึง “มนุษย์ทำงาน” (work man)

พวก *Homo ergaster* มีคุณสมบัติบางอย่างที่แตกต่างไปจากมนุษย์บรรพบุรุษชนิดอื่นๆ ที่เคยพบมาก่อนหน้านั้นที่เห็นได้ชัดคือ *H. ergaster* รู้จักใช้ไฟและสามารถควบคุมไฟได้ มีหลักฐานบ่งชี้ว่ามนุษย์โบราณพวกนี้มีการตั้งแคมป์ไฟเพื่อใช้ป้องกันศัตรูตอนกลางคืนและเพื่อให้ความอบอุ่นในสภาพอากาศหนาวเย็นยามค่ำคืน และอาจใช้ไฟในการทำอาหารเพื่อการยังชีพอีกด้วย พวก *H. ergaster* ยังสามารถประดิษฐ์เครื่องมือเครื่องใช้ที่ทำจากหินได้ดี และเข้าใจว่ามนุษย์โบราณพวกนี้น่าจะอยู่รวมกันเป็นกลุ่มเล็กๆ ในบริเวณทุ่ง

หญ้าราบของแอฟริกา (African savannah) ในยุคนั้น แต่มนุษย์โบราณพวกนี้ยังไม่น่าจะพัฒนาภาษาพูดจากันอย่างเป็นระบบอย่างจริงจัง สิ่งเหล่านี้สะท้อนให้เห็นว่า *H. ergaster* เริ่มมีวิวัฒนาการทางด้านวัฒนธรรม (cultural evolution) เกิดขึ้นบ้างแล้วนอกเหนือไปจากวิวัฒนาการทางด้านชีววิทยา (biological evolution) จากข้อมูลที่มีอยู่ในปัจจุบันพอจะสันนิษฐานได้ว่า *H. ergaster* วิวัฒนาการเปลี่ยนแปลงไปอย่างต่อเนื่องตามกาลเทศะในแอฟริกาและมีความก้าวหน้ามากขึ้นตามลำดับ คงมีพวก *H. ergaster* ที่ก้าวหน้าบางพวกเริ่มเดินทางออกนอกทวีปแอฟริกาเป็นครั้งแรกเมื่อประมาณ 2 ล้านปีที่แล้วมาและมุ่งหน้าสู่ตะวันออกกลางและทวีปเอเชีย แนวความคิดนี้สนับสนุนหลักการของทฤษฎี “ออกนอกแอฟริกา” แต่ต่างกันตรงที่ว่าพวกอพยพรุ่นแรกๆ นี้ยังไม่ใช่ *H. erectus*



จริง พวกอพยพเหล่านั้นคงสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาวะแวดล้อมใหม่ในเอเชียได้ดีและมีวิวัฒนาการต่อไปจนกลายเป็นมนุษย์ชนิดใหม่ คือ *H. erectus* ในเวลาต่อมา ส่วนพวก *H. ergaster* ที่เหลืออยู่ในแอฟริกาก็คงวิวัฒนาการเปลี่ยนแปลงต่อไปในถิ่นอาศัยเดิมและนำไปสู่การเกิดมนุษย์ชนิดใหม่ๆ ดังจะได้กล่าวในตอนต่อไป จะเห็นได้ว่าแนวความคิดนี้ซึ่งว่า *H. erectus* อุดบัติขึ้น ณ ที่ใดที่หนึ่งในทวีปเอเชีย จากนั้นจึงแพร่กระจายออกไปในที่ต่างๆ ของภูมิภาคเอเชียที่อุดมสมบูรณ์ ด้วยทรัพยากรชีวภาพจนทำให้ *H. erectus* ประสบ

ความสำเร็จอย่างต่อเนื่องเป็นเวลายาวนาน (ดูรูปที่ 2) นอกจากนั้นยังมีนักวิชาการบางคนเชื่อว่า *H. erectus* บางกลุ่มอาจแพร่กระจายขึ้นไปทางเหนือของทวีปเอเชียแล้วอพยพเข้าสู่ยุโรปซึ่งเป็นบริเวณที่มีภูมิอากาศหนาวเย็นแตกต่างจากเอเชียเขตร้อน และพวกหลังนี้อาจเป็นพวก *H. erectus* ที่เปลี่ยนแปลงวิวัฒนาการต่อไปจนกลายเป็นมนุษย์โบราณชนิดใหม่ที่เกิดขึ้นในยุโรปด้วย แนวความคิดที่แตกต่างกันนี้ยังคงเป็นเรื่องที่ต้องถกเถียงโต้แย้งกันต่อไปจนกว่าจะได้ข้อมูลหลักฐานเพื่อยืนยันความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

มนุษย์โบราณในยุโรป

การศึกษาค้นหาหลักฐานข้อมูลซากดึกดำบรรพ์ของมนุษย์โบราณได้ทำกันมาอย่างต่อเนื่องและขยายขอบเขตกว้างขวางมากขึ้นในยุโรปและเอเชีย ทางด้านยุโรปมีการขุดพบซากกะโหลกศีรษะบางชิ้นที่มีอายุระหว่าง 5-1 แสนปีที่แล้วและมีสมองขนาดใหญ่ประมาณ 1,200-1,280 ลูกบาศก์เซนติเมตร ในบริเวณเมืองไฮเดลเบิร์ก (Heidelberg) ประเทศเยอรมนี นักวิจัยเชื่อว่าหลักฐานเหล่านั้นบ่งชี้ว่าพวกไฮเดลเบิร์กเป็นมนุษย์โบราณชนิดใหม่ที่แตกต่างจาก *H. erectus* อย่างมากและให้ชื่อว่า *Homo heidelbergensis* ทำให้นักวิทยาศาสตร์สันนิษฐานว่า *H. heidelbergensis* ไม่น่าจะวิวัฒนาการเปลี่ยนแปลงมาจากพวก *H. erectus* อย่างที่เคยเชื่อกันมาก่อนหน้านั้น แต่น่าจะมีวิวัฒนาการเปลี่ยนแปลงมาจากบรรพบุรุษพวก *H. ergaster* ที่มีถิ่นฐานอยู่ในแอฟริกาโดยสันนิษฐานว่าพวก *H. ergaster* บางกลุ่มคงอพยพย้ายถิ่นออกจากทวีปแอฟริกาข้ามทะเลวันออกเป็นระลอกที่สองตามเส้นทางที่ไปตั้งหลักไต้ในทวีปเอเชีย แต่คราวนี้พวกอพยพเดินทางขึ้นทางเหนือมุ่งสู่ดินแดนตอนใต้ของทวีปยุโรป

เมื่อไม่นานมานี้มีนักวิจัยกลุ่มของ L. Arsuaga จากประเทศสเปนได้ขุดพบซากดึกดำบรรพ์ของมนุษย์โบราณจากบริเวณถ้ำแกรนโดลินา (Gran Dolina) ของเทือกเขาอะทาเปอร์คา (Atapuerca) ซึ่งอยู่ทางภาคกลางตอนเหนือของประเทศสเปน นักวิจัยกลุ่มนี้สันนิษฐานว่าซากกระดูกหลายชิ้นที่ขุดพบนั้นเป็นของเด็กและซากกระดูกเหล่านั้นมีอายุประมาณ 8 แสนปีมาแล้ว ซึ่งเก่าแก่กว่าของพวก *H. heidelbergensis* แต่ที่น่าสนใจคือมีรูปร่างคล้ายไปทาง *H. heidelbergensis* และกระดูกใบหน้าดูเหมือนจะก้าวหน้ากว่าและใกล้เคียงไปทางมนุษย์ยุคใหม่ (*H. sapiens*) แต่ยังมีฟันหน้ากรามหรือฟันปริโมลาร์ (premolar) คล้ายกับของ *H. ergaster*

จากหลักฐานดังกล่าวนักวิจัยกลุ่มนี้เชื่อว่าสิ่งที่เขาขุดพบนั้นน่าจะเป็นมนุษย์โบราณชนิดใหม่ที่ไม่เหมือนใครดังที่ได้กล่าวมาแล้ว และให้ชื่อว่า *Homo antecessor* (ภาษาละตินหมายถึงบรรพบุรุษผู้มาก่อนใคร) (รูปที่ 3) นักวิจัยกลุ่มนี้ได้ตั้งสมมติฐานว่ามนุษย์โบราณพวกใหม่นี้ควรจะเป็นพวกแรกที่มุ่งมั่นที่จะเดินทางออกจาก

แอฟริกาทางตะวันออกเฉียงใต้ของทวีปยุโรป ได้แก่ ประเทศสเปนและโปรตุเกสเป็นหลักที่บริเวณเทือกเขาอะทาเปร์คาที่คาดว่ามีความเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของกลุ่มมนุษย์โบราณที่อพยพไปในยุคนั้น อย่างไรก็ตามยังมีข้อถกเถียงกันอยู่ในขณะนี้ว่าพวก *H. heidelbergensis* กับพวก *H. antecessor* เป็นมนุษย์โบราณต่างชนิด

กันจริงหรือเป็นเพียงแค่ความแปรผันในโครงร่างของสปีชีส์เดียวกันเท่านั้น แต่การศึกษาของนักวิจัยกลุ่มนี้เป็นจริงก็จะทำให้เรื่องราวเกี่ยวกับวิวัฒนาการของมนุษย์โบราณที่ผ่านมาจากยุโรปมีความละเอียดซับซ้อนมากยิ่งขึ้น แต่ก็ยังคงอยู่ในกรอบแนวความคิดตามทฤษฎี “ออกนอกแอฟริกา” ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในตอนแรก

มนุษย์นีแอนเดอร์ทัล

นักวิชาการที่ศึกษาวิวัฒนาการของมนุษย์ส่วนมากยอมรับสมมติฐานที่ว่าเมื่อประมาณ 1 แสนปีที่ผ่านมานี้เอง *H. heidelbergensis* บางกลุ่มวิวัฒนาการเปลี่ยนแปลงไปเป็นมนุษย์กลุ่มใหม่ที่ได้ชื่อว่า *Homo neanderthalensis* เรียกตามชื่อหุบเขาเนแอนเดอร์ (จากคำ Neander Tal เป็นภาษาเยอรมัน) ในประเทศเยอรมนีหรืออาจเรียกว่ามนุษย์นีแอนเดอร์ทัล (Neanderthal) เพราะมีการขุดพบซากดึกดำบรรพ์ของกะโหลกศีรษะของมนุษย์นีแอนเดอร์ทัลครั้งแรกที่บริเวณหุบเขาแห่งนี้ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1856 ต่อมาก็ขุดพบซากดึกดำบรรพ์ของมนุษย์นีแอนเดอร์ทัลเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ ทำให้นักวิจัยได้ข้อมูลมากมายที่จะสนับสนุนด้วยความเชื่อมั่นว่ามนุษย์นีแอนเดอร์ทัลอาจมีชีวิตอยู่ในโลกนี้มานานถึง 3 แสนปีที่ผ่านมามากกว่าที่จะเป็น 1 แสนปีที่แล้วอย่างที่เคยเชื่อกันมาก่อนหน้านั้น และพวกมนุษย์นีแอนเดอร์ทัลมีการแพร่กระจายไปสู่บริเวณเอเชียตอนกลางและทั่วทวีปยุโรปจนถึงชายฝั่งมหาสมุทรแอตแลนติกของประเทศสเปนในช่วงเวลาเพียงประมาณ 100,000-35,000 ปีที่ผ่านมาก่อนที่จะสูญหายตายจากโลกนี้ไปเมื่อประมาณ 30,000 ปีที่แล้วนี้เอง โดยทิ้งร่องรอยหลักฐานบางอย่างที่สะท้อนให้เห็นว่ามนุษย์นีแอนเดอร์ทัลดำรงชีวิตอยู่ในถ้ำหรือตามหังล่าสัตว์ มนุษย์พวกนี้ไม่น่าจะเป็นพวกดุร้ายอย่างที่หลาย

คนคิด แต่น่าจะมีจิตใจเมตตากรุณาต่อผู้เจ็บป่วยหรือผู้เสียชีวิต เพราะมีร่องรอยของพิธีกรรมการฝังศพ ประกอบกับมีเครื่องมือเครื่องใช้ฝังไว้ใกล้ศพและมีเครื่องดนตรีประเภทเป่าคล้ายขลุ่ยรวมอยู่ด้วย มนุษย์นีแอนเดอร์ทัลมีโครงกระดูกใหญ่และทำทางแข็งแรง มีคอหนา คางล่างไม่ยื่นออกมากะโหลกศีรษะหนา แต่ด้านหน้าผากลาดเอียงมากพอสมควรเมื่อเทียบกับมนุษย์ยุคใหม่ในปัจจุบัน และมีสันคิ้วหนายื่นออกมาค่อนข้างมาก มีสมองขนาดใหญ่มากประมาณ 1,500 ลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งนับว่าใหญ่กว่าของมนุษย์ยุคใหม่ในปัจจุบัน มนุษย์นีแอนเดอร์ทัลถือว่าใกล้ชิดกับมนุษย์ยุคใหม่อย่างเราๆ นี่มากที่สุด นักวิชาการบางกลุ่มเคยสันนิษฐานว่ามนุษย์นีแอนเดอร์ทัลเป็นบรรพบุรุษที่สืบทอดสายพันธุ์มาเป็นมนุษย์ยุคใหม่ปัจจุบัน แต่ปัญหาที่ยังมีข้อถกเถียงกันอยู่ในขณะนี้คือ มนุษย์นีแอนเดอร์ทัลเป็นสปีชีส์หรือเป็นชนิดเดียวกันกับมนุษย์ยุคใหม่ที่ได้ชื่อว่า *H. sapiens* จริงหรือไม่? หรือว่าเป็นสปีชีส์ที่ต่างกันทางด้านชีววิทยาอย่างแท้จริง และมนุษย์นีแอนเดอร์ทัลวิวัฒนาการเปลี่ยนแปลงไปเป็นมนุษย์ยุคใหม่อย่างที่หลายคนเคยเชื่อกันจริงหรือ?

อย่างไรก็ตามข้อมูลหลักฐานจากการศึกษาในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา บ่งชี้ค่อนข้างชัดเจนว่ามนุษย์นีแอนเดอร์ทัลและมนุษย์ยุคใหม่เป็นสปีชีส์