

การศึกษาสิ่งแวดล้อมจากความเข้าใจคุณสมบัติพิเศษของโลก 15 ประการ

Understanding the environment from 15 distinctive features of the earth

เรียบเรียงโดย สมพจน์ กรรณนุช

คณะกรรมการพัฒนาสิ่งแวดล้อม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

พ.ศ. 2561

1. ความแตกต่างของดาวเคราะห์

มีเหตุผลหลายประการที่ตลึงนักวิทยาศาสตร์คิดและกำลังออกไปหาดาวเคราะห์อื่นๆ สํารองให้กับมนุษย์ในกรณีโลกมีอันเป็นไปเพื่อไม่ให้มนุษย์สูญพันธุ์ไปหมด แต่ไม่ใช่เรื่องง่าย เพราะวิทยาศาสตร์ของโลกยังมีข้อจำกัดด้านความรู้ วิทยาการ และเทคโนโลยีอีกมากมายเกี่ยวกับจักรวาลนี้และจักรวาลอื่นๆ โลกจึงเป็นสถานที่เดียวในปัจจุบัน และในอนาคตอีกไม่ทราบปี ที่มนุษย์ใช้เกิด อยู่อาศัย ค้นหาความรู้ เจริญรุ่งเรืองทางเศรษฐกิจ สนุกสนาน และตาย จึงมีข้อคิดที่ว่ามนุษย์อยู่กับโลกแบบปรสิตที่ทำลายเจ้าบ้าน หรือมีส่วนทำประโยชน์แก่โลกที่ทำหน้าที่เจ้าบ้าน

หลายปีมาแล้ววิทยาศาสตร์มีความรู้แล้วว่าโลกมีคุณสมบัติพิเศษอันน่าอัศจรรย์ เราควรมองจากภายนอกของโลกเข้ามาก่อน

ก่อนอื่นขอทวนกฎอุณหพลศาสตร์ 4 ข้อ เพราะเราต้องการกฎอุณหพลศาสตร์มาอธิบายคุณสมบัติพิเศษของโลก

ข้อที่ 0 วัตถุร้อนถ่ายความร้อนไปยังวัตถุเย็นจนกระทั่งอุณหภูมิเท่ากัน เรียกว่าดุลยภาพทางอุณหภูมิตั้งแต่ไม่ใช่วัตถุเย็นถ่ายความร้อนไปให้วัตถุร้อน

ข้อที่ 1 เนื่องจากพลังงานและสสารจะสร้างขึ้นใหม่ไม่ได้ พลังงานและสสารจึงถ่ายเทไปมาระหว่างกัน เรียกว่า สมดุลทางบัญชีระหว่างสสารและพลังงาน ทำให้พลังงานเข้าเท่ากับพลังงานขาออกบวกส่วนที่กลายเป็นสสาร

ข้อที่ 2 เนื่องจากโมเลกุลของวัตถุขยายตัวและมีสถานะอลหม่าน (เอนโทรปี Entropy) มากขึ้นเมื่อสะสมความร้อนเพิ่มขึ้น ทำให้วัตถุเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลวและเป็นก๊าซ ดังนั้นค่าเอนโทรปีเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ

ข้อที่ 3 อุณหภูมิศูนย์องศาที่แท้จริง คืออุณหภูมิที่ทำให้วัตถุทุกชนิดในจักรวาลมีสภาพเป็นของแข็งตามมาตรา 0 องศาเคลวิน = -273.15 องศาเซลเซียส

เมื่อมองสภาพแวดล้อมภายนอกของโลก เรามีดวงอาทิตย์ที่คำรามเกรี้ยวกราด วิทยาศาสตร์มีความรู้คร้บว่าแสงอาทิตย์ประกอบด้วยคลื่นหลายช่วงความถี่ ตาม **ภาพ 1** ด้านล่าง ได้แก่ รังสีแกมมา รังสีเอกซเรย์ รังสีอัลตราไวโอเล็ต แสงที่มนุษย์เห็นเป็นสีขาว รังสีอินฟราเรด ความถี่เรดาร์ ความถี่วิทยุเอฟเอ็ม ความถี่คลื่นโทรทัศน์ ความถี่คลื่นสั้น ความถี่วิทยุเอเอ็ม

คุณสมบัติพิเศษของโลกและความเพียบพร้อมสำหรับการอยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตอย่างน่ามหัศจรรย์ แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลไกที่ไม่ใช่สิ่งมีชีวิต กับกลไกสิ่งมีชีวิต

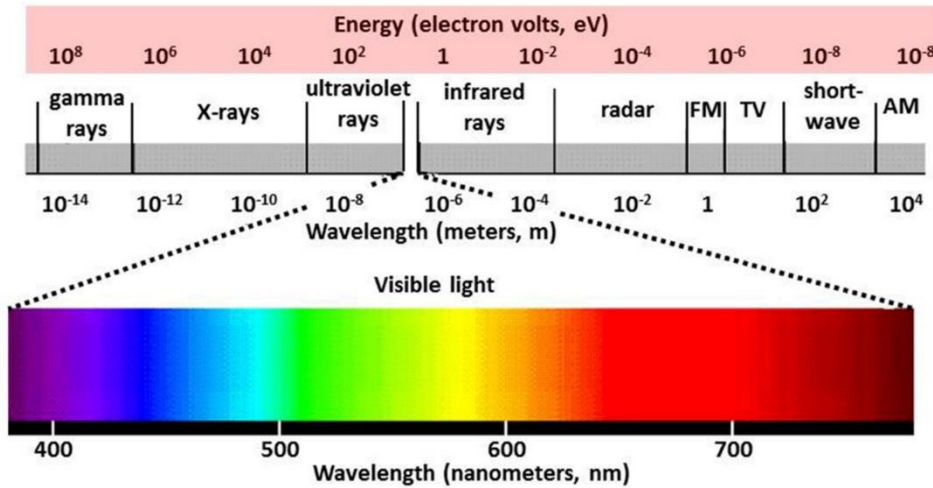
คุณสมบัติพิเศษของโลก ที่ประกอบจากสิ่งที่ไม่ใช่สิ่งมีชีวิต รวบรวมได้ดังนี้

ประการที่ 1

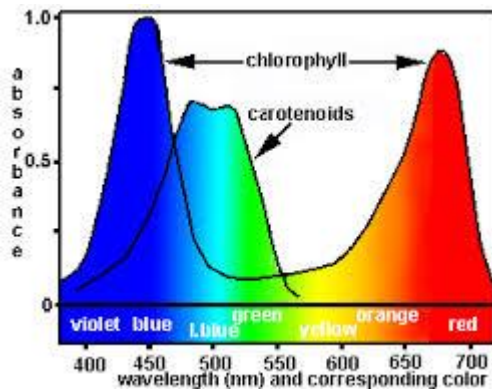
คุณสมบัติพิเศษของโลก ที่ไม่ใช่สิ่งมีชีวิต ส่วนที่ 1 ได้แก่ โลกเรามีเครื่องกรองรังสีอันตรายสำหรับมนุษย์และสัตว์และพืชออกไป ได้แก่ รังสีแกมมา รังสีเอกซเรย์ รังสีอัลตราไวโอเล็ต ไม่ให้เข้าสู่พื้นผิวโลก และ

พืชใช้ความถี่แสงช่วง 400-700 นาโนเมตร สำหรับสังเคราะห์ คลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) ในกระบวนการสร้างอาหารให้กับมนุษย์และสัตว์ผู้อาศัยในโลก

เครื่องกรอนั้นคือ บรรยากาศของโลก และโลกมีบรรยากาศใกล้พื้นผิวประกอบด้วยไนโตรเจน ร้อยละ 78 ออกซิเจน ร้อยละ 21 คาร์บอนไดออกไซด์ ร้อยละ 0.03 ก๊าซมีเทน ร้อยละ 0.002 และที่เหลือเป็นก๊าซอื่นๆ ตาม ตาราง 1



ภาพ 1 ความยาวคลื่นของแสงอาทิตย์และการใช้งาน Solar Wavelength and Applications
ที่มา <http://ozonedepletiontheory.info/what-is-radiation.html>



ภาพ 2 ช่วงคลื่นของแสงอาทิตย์ที่พืชใช้สังเคราะห์แสง
ที่มา <http://generalhorticulture.tamu.edu/lectsupl/Physiol/P24F1.GIF>

ประการที่ 2

คุณสมบัติพิเศษของโลก ที่ไม่ใช่สิ่งมีชีวิต ส่วนที่ 2 ได้แก่ บรรยากาศของโลกมีคุณสมบัติทำให้โลกมีอุณหภูมิอบอุ่น โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ย 13 องศาเซลเซียส และมีความเสถียรของอุณหภูมิ ปราศจากความผันผวน เช่น ในประเทศไทย อุณหภูมิเวลากลางวัน 33 องศาเซลเซียส เวลากลางคืน 25 องศาเซลเซียส คุณสมบัติความเสถียรของอุณหภูมิเกิดจากโลกมีบรรยากาศที่สะท้อนแสงและความร้อนของแสงออกไปนอกโลก

เปรียบเทียบกับดวงจันทร์ที่ปราศจากบรรยากาศ จึงทำให้ดวงจันทร์มีสภาพเป็นก้อนหินที่มีอุณหภูมิแปรเปลี่ยนอย่างรุนแรง ในเวลากลางวันอุณหภูมิ 127 องศาเซลเซียส ในเวลากลางคืนอุณหภูมิ -173 องศาเซลเซียส (Sharp 2017b) จึงเป็นสภาพที่สิ่งมีชีวิตอยู่ไม่ได้ และโลกนั้นแสนสบาย ข้อนี้ใช้กฎอุณหพลศาสตร์ข้อที่ 0 อธิบาย

สำหรับดาวศุกร์ มีอุณหภูมิเฉลี่ย 463 องศาเซลเซียส เพราะมีบรรยากาศที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณมาก (Redd 2012) และสำหรับดาวอังคาร มีอุณหภูมิเฉลี่ย -60 (Sharp 2017a) องศาเซลเซียส เพราะมีบรรยากาศเบาบาง จึงมีสภาพคล้ายดวงจันทร์ และข้อนี้ใช้กฎอุณหพลศาสตร์ ข้อที่ 0 อธิบาย และเช่นเดียวกัน โลกนั้นแสนสบาย

ตาราง 1 ส่วนประกอบของบรรยากาศใกล้พื้นผิวโลก (Lovelock 1988)

	Planet			
	ดาวศุกร์ Venus	โลกที่ปราศจาก สิ่งมีชีวิต Earth without life	ดาวอังคาร Mars	โลกในสภาพ ปัจจุบัน Earth as it is
Carbon dioxide	96.5%	98%	95%	0.03%
Nitrogen	3.5%	1.9%	2.7%	79%
Oxygen	trace	0.0	0.13%	21%
Argon	70 ppm	0.1%	1.6%	1%
Methane	0.0	0.0	0.0	1.7 ppm
Surface temperature °C	459	240-340	-53	13
Total pressure (bars)	90	60	0.0064	1.0

ที่มา Lovelock (1988)

ประการที่ 3

คุณสมบัติพิเศษของโลก ที่ไม่ใช่สิ่งมีชีวิต ส่วนที่ 3 ได้แก่ เนื่องจากพื้นผิวของโลกประกอบด้วยน้ำร้อยละ 70 จึงอำนวยความสะดวกของอุณหภูมิของโลกทำได้ง่ายด้วยกลไกกระแสความร้อนและกระแสน้ำเย็นในมหาสมุทรช่วยลดความหนาวเย็นให้พื้นที่ขั้วโลกและลดความร้อนให้พื้นที่ใกล้ดวงอาทิตย์บริเวณเส้นศูนย์สูตร ช่วยให้สิ่งมีชีวิตอยู่สบายและขยายจำนวนได้มากและรวดเร็ว

ประการที่ 4

คุณสมบัติพิเศษของโลก ที่ไม่ใช่สิ่งมีชีวิต ส่วนที่ 4 ได้แก่ โลกมีดวงจันทร์สำหรับดวงจันทร์ดวงอื่นทำให้โลกมีการหมุนรอบตัวเองและการหมุนรอบดวงอาทิตย์มีความเสถียร ทำให้โลกมีแกนหมุนเหนือใต้คงที่ ไม่หมุนคว้างเพราะดวงจันทร์ทำหน้าที่รักษาคุณให้ และมนุษย์มองเห็นดวงอาทิตย์ขึ้นทางตะวันออกและตกทางตะวันตกได้ทุกวันและแน่นอน เป็นเหตุผลที่ทำให้โลกเป็นสถานที่ที่อยู่สบายและเปิดโอกาสให้สิ่งมีชีวิตเจริญเติบโต

ประการที่ 5

คุณสมบัติพิเศษของโลก ที่ไม่ใช่สิ่งมีชีวิต ส่วนที่ 5 ได้แก่ โลหะพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า เรียกว่า Electromagnetic shield ซึ่งเกิดจากภาวะเดือดของแกนแมกมาใต้พื้นผิวของโลกซึ่งบางครั้งประทุเป็นภูเขาไฟ ภาวะเดือดพุ่งพล่านของเหล็กในแกนแมกมาใต้พื้นผิวของโลกทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่ออกไปนอกพื้นผิวของโลกในระยะไกลรับผิวดูดซับป้องกันกัมมันตภาพรังสีและพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าของดวงอาทิตย์ไม่ให้เข้าถึงพื้นผิวของโลก เปิดทางให้สิ่งมีชีวิตมีชีวิตรอดยืนยาว แพร่พันธุ์ และวิวัฒนาการ

ประการที่ 6

คุณสมบัติพิเศษของโลก ที่ไม่ใช่สิ่งมีชีวิต ส่วนที่ 6 ได้แก่ การประทุของภูเขาไฟทั้งบนแผ่นดินและใต้มหาสมุทรช่วยให้พื้นผิวของโลกมีความอบอุ่นเพียงพอที่จะให้กำเนิดแก่สิ่งมีชีวิต

ประการที่ 7

คุณสมบัติพิเศษของโลก ที่ไม่ใช่สิ่งมีชีวิต ส่วนที่ 7 ได้แก่ พื้นผิวของโลกประมาณร้อยละ 70 เป็นน้ำลึก จึงมีปริมาณน้ำมากช่วยให้เกิดไอน้ำเป็นองค์ประกอบของบรรยากาศของโลกมากกว่าร้อยละ 60 ที่ทำให้เกิดภาวะอบอุ่น เป็นแหล่งกักเก็บก๊าซไฮโดรเจนหลัก และให้กำเนิดสิ่งมีชีวิตจำนวนมาก

ประการที่ 8

คุณสมบัติพิเศษของโลก ที่ไม่ใช่สิ่งมีชีวิต ส่วนที่ 8 ได้แก่ บรรยากาศของโลกซึ่งประกอบด้วยก๊าซไนโตรเจนซึ่งมีสถานะเคมีเป็นกลางร้อยละ 78 และออกซิเจนร้อยละ 21 ซึ่งกลายเป็นโอโซน O_3 ที่ระยะความสูงสตราโตสเฟียร์ เป็นโลห์ป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ไม่ให้เข้าถึงพื้นผิวส่วนในของโลก และเผาไหม้ดาวตกและอุกกาบาตที่พลัดหลงเข้ายังพื้นผิวของโลก สัดส่วนของออกซิเจนต่ำกว่าร้อยละ 15 เป็นบรรยากาศที่จุดไฟไม่ได้ ในขณะที่สัดส่วนของออกซิเจนมากกว่าร้อยละ 25 เป็นบรรยากาศที่ดับไฟไม่ได้ สัดส่วนของออกซิเจนร้อยละ 21 จึงให้กำเนิดวิวัฒนาการทางอุตสาหกรรมของมนุษย์ ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบหลักของเซลล์สิ่งมีชีวิต

2. ความเข้าใจจากทฤษฎีกายะ (Gaia theory)

ประการที่ 9

ด้วยลักษณะพิเศษด้านความเสถียรของอุณหภูมิ องค์ประกอบของก๊าซในบรรยากาศ และพื้นผิวโลกที่ปกคลุมด้วยน้ำในปริมาณมาก ทฤษฎีกายะ (Gaia theory) ของเจมส์ เลิฟล็อก (James Lovelock) (Lovelock 1988) จึงเสนอคำอธิบาย และข้อสันนิษฐานว่า คุณสมบัติเช่นนี้ของโลกเกิดจากสิ่งมีชีวิตทุกชนิดตั้งแต่พืชทุกชนิด แบคทีเรียไปถึงวาฬ ร่วมกันมีบทบาทเป็นผู้กระทำทำให้โลกสามารถฝ่าฝืนกฎอุณหพลศาสตร์ข้อที่ 2 ได้แก่ มีค่าเอนโทรปีที่ไม่แปรเปลี่ยนตามอุณหภูมিরอบนอกที่เกิดจากอิทธิพลของดวงอาทิตย์ แตกต่างไปจากดาวศุกร์ ดาวอังคาร และดวงจันทร์

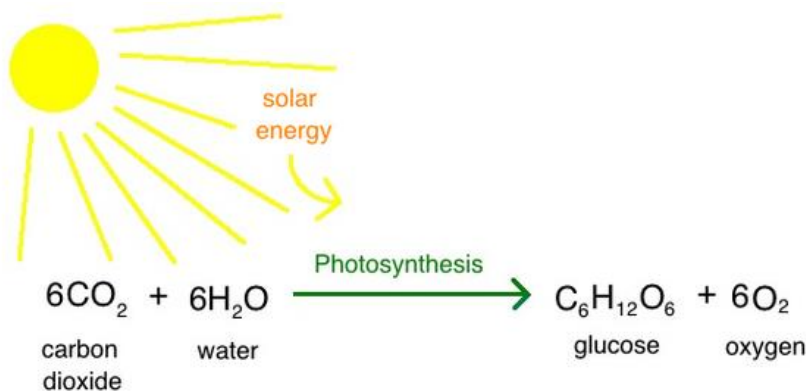
ความสามารถควบคุมอุณหภูมิของโลกเกิดจากพื้นผิวของโลกประกอบด้วยน้ำร้อยละ 70 เป็นกลไกปรับอุณหภูมิที่มีประสิทธิภาพสูง แบคทีเรียสังเคราะห์แสงในระยะแรกของโลกใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และคายก๊าซออกซิเจนซึ่งเก็บกักก๊าซไฮโดรเจนในรูปน้ำได้เป็นจำนวนมาก ช่วยให้แบคทีเรียสังเคราะห์แสงในระยะแรกของโลกทวีจำนวนได้มากขึ้น น้ำหล่อเลี้ยงสิ่งมีชีวิตทุกรูปแบบ มีทั้งพวกที่ใช้คาร์บอนไดออกไซด์ และพวกที่ใช้ออกซิเจน จึงทำให้เกิดวัฏจักรการหมุนเวียนคาร์บอน และเกิดวัฏจักรการหมุนเวียนออกซิเจน จึงสังเกตได้ว่าบรรยากาศของโลกมีความเสถียรขององค์ประกอบของก๊าซไนโตรเจน ร้อยละ 78 ก๊าซออกซิเจน ร้อยละ 21 คาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 0.03 และมีเทนร้อยละ 0.002 และมีข้อสังเกตว่าสัดส่วนก๊าซ

ออกซิเจนในบรรยากาศเกินร้อยละ 25 จะทำให้เกิดภาวะการลุกไหม้ได้เอง และสัดส่วนก๊าซออกซิเจนต่ำกว่าร้อยละ 15 จะเป็นบรรยากาศที่จุดไฟไม่ติด จึงเป็นคำอธิบายจากทฤษฎีภาวะที่นำอัครรรย์

ประการที่ 10

กระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช ใน ภาพ 3 เป็นกระบวนการผลิตก๊าซออกซิเจนที่มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งสามารถแปลง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 6 โมเลกุล รวมกับน้ำ 12 โมเลกุล ทำปฏิกิริยากับแสงอาทิตย์ ได้ผลผลิตเป็นกลูโคส 1 โมเลกุล ก๊าซออกซิเจน 6 โมเลกุล และน้ำ 6 โมเลกุล เช่นเดียวกันเป็นกระบวนการของสิ่งมีชีวิตที่นำอัครรรย์ เพราะก่อนหินซึ่งไม่มีชีวิตทำไม่ได้

ทฤษฎีภาวะ ให้คำอธิบายและข้อสันนิษฐานว่า ความเสถียรของอุณหภูมิของโลกเป็นคุณสมบัติเดียวกันกับสิ่งมีชีวิต เช่น ในขณะที่มนุษย์มีชีวิตจะมีอุณหภูมิร่างกายคงที่ในช่วง 36-37 องศาเซลเซียส เพราะสิ่งมีชีวิตมีคุณสมบัติเป็นระบบที่มีกลไกควบคุมการทำงานให้มีความเสถียรเพื่อให้มีอายุการทำงานที่ยืนยาวปราศจากความผันผวนตามอุณหภูมิแวดล้อม (Ambient temperature) แต่เมื่อเสียชีวิตอุณหภูมิร่างกายของสิ่งมีชีวิตจะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิแวดล้อมเพราะกลไกควบคุมหยุดทำงาน ข้อนี้เช่นเดียวกันอธิบายด้วยกฎอุณหพลศาสตร์ข้อ 0



ภาพ 3 กระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช

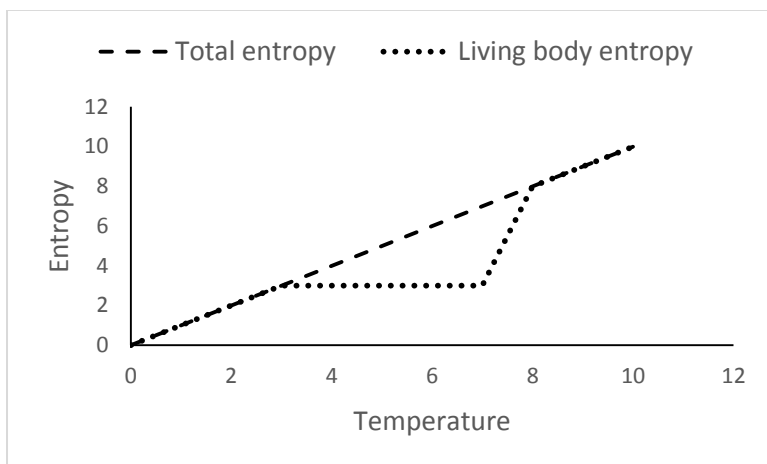
ที่มา Routhier, Richard 2016. What are some ways that trees act as carbon sinks?

<https://www.quora.com/What-are-some-ways-that-trees-act-as-carbon-sinks>. Retrieved 24 January 2018

สิ่งมีชีวิตมีคุณสมบัติฝ่าฝืนกฎอุณหพลศาสตร์ข้อที่ 0 และข้อที่ 2 โดยใช้กฎอุณหพลศาสตร์ข้อที่ 1 ได้แก่ ความสมดุลของพลังงานผ่านเข้าและผ่านออก (input-output energy balance) ซึ่งใช้ความเข้าใจธรรมชาติของการกลายสถานะจากสสารเป็นพลังงานและจากพลังงานเป็นสสารจากสมการของไอน์สไตน์ $E = MC^2$ เมื่อ E แทนพลังงาน M แทนสสาร และ C^2 แทนกำลังสองของความเร็วแสง สิ่งมีชีวิตควบคุมความเสถียรของอุณหภูมิภายในร่างกายด้วยกลไกประกอบด้วยการกินอาหารเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานและขับถ่ายกากเพื่อคายความร้อนไม่ให้สะสมอยู่ภายใน จึงทำให้ค่าเอนโทรปี (Entropy) รวมเป็นไปตามกฎอุณหพลศาสตร์ข้อที่ 2 เพราะ Entropy ภายในร่างกายคงที่แต่ค่า Entropy รวมสูงขึ้นเพราะรวมกับ Entropy ที่ขับถ่าย แสดงในภาพ 4

กลไกควบคุมความเสถียรของอุณหภูมิภายในร่างกายสิ่งมีชีวิตประกอบด้วยการกินอาหารเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานและขับถ่ายกาก ทำให้สามารถปรับแต่งปริมาณสารและพลังงานในร่างกายทั้ง 4 สถานะ ได้แก่ ของแข็ง ของเหลว ก๊าซ และอุณหภูมิ (ดิน น้ำ ลม ไฟ) ประกอบด้วยการคายออกมากับกากทั้งที่เป็นของแข็ง ของเหลว ก๊าซ และอุณหภูมิ และปรับแต่งสารเคมีให้มีค่าความเป็นกรด-ด่างที่ไม่เป็นอันตรายต่อการทำงานของอวัยวะต่างๆ เพราะสิ่งที่ขับถ่ายออกจากร่างกายสิ่งมีชีวิตคือความร้อนที่ออกมาทางลมหายใจ เหงื่อ ปัสสาวะและอุจจาระ จึงทำให้เกิดภาวะเสถียรของอุณหภูมิภายในร่างกายของสิ่งมีชีวิต

กิจกรรมเหล่านี้ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบของร่างกายด้วยการเติมสารเข้าสู่ร่างกายและคายออกทำให้เกิดกลไกที่มีความยืดหยุ่น เพิ่ม-ลด เปิด-ปิด เปรียบเสมือนสวิชต์เปิด-ปิดการทำงานของคอมพิวเตอร์ของตู้เย็น และเครื่องปรับอากาศ เตารีด เครื่องปั๊มลมปั๊ม หม้อต้มน้ำร้อน หรือ วาล์วเปิด-ปิด ท่อน้ำหล่อเย็นของรถยนต์ เครื่องจักรในโรงงาน หรือกลไกควบคุมอัตราไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อควบคุมอุณหภูมิของอุปกรณ์เซมิคอนดักเตอร์ให้มีความร้อนคงที่เพื่อป้องกันความร้อนสะสมที่ทำให้อุปกรณ์เสียหาย



ภาพ 4 Entropy ในภาพรวมของสิ่งมีชีวิต

กลไกการควบคุมความเสถียรของระบบต่างๆ เรียกว่า กลไกป้อนกลับทางลบ (Negative feedback mechanism) เช่น เครื่องปรับอากาศควบคุมให้ห้องมีอุณหภูมิคงที่โดยใช้เครื่องตรวจจับอุณหภูมิส่งสัญญาณไปให้สวิทช์เปิดคอมเพรสเซอร์เมื่ออุณหภูมิห้องสูงขึ้นและปิดคอมเพรสเซอร์เมื่ออุณหภูมิห้องต่ำลงตามความต้องการของผู้ใช้

กลไกป้อนกลับทางลบ (Negative feedback mechanism) ประกอบด้วยกลไกยืดหยุ่นที่สามารถเปิด-ปิด หรือ เพิ่ม-ลด เพื่อปรับแต่งให้เกิดการทำงานของระบบที่ราบเรียบ สม่าเสมอ ป้องกันความผันผวนหรือ ความแปรปรวน ที่ทำให้เกิดความเสียหายแก่ส่วนประกอบต่างๆ เช่น เครื่องปรับอากาศที่กลไกเปิด-ปิดคอมเพรสเซอร์เสียหายและทำงานต่อเนื่องจะทำให้เครื่องปรับอากาศมีความเย็นสะสมเป็นน้ำแข็งปิดกั้นกระแสลมทำให้ห้องร้อนแทนที่จะเย็น ตู้เย็นที่กลไกเปิด-ปิดคอมเพรสเซอร์เสียหายและทำงานต่อเนื่องจะทำให้มีความเย็นสะสมเป็นน้ำแข็งพอกพูนทำให้สูญเสียพื้นที่ใส่อาหารและสูญเสียรสชาติ เตารีดที่กลไกเปิด-ปิดไฟฟ้าเสียหายและทำงานต่อเนื่องจะทำให้มีไฟฟ้าไหลผ่านอย่างต่อเนื่องสะสมความร้อนสูงขึ้นจนทำให้เสื้อผ้าเสียหาย

เครื่องยนต์ของรถยนต์ที่อุปกรณ์ระบายความร้อนเสียหายสะสมความร้อนสูงขึ้นจนกระทั่งส่วนประกอบบิดเบี้ยวและหยุดการทำงาน

โลกมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่พื้นผิว 13-16 องศาเซลเซียส แสดงใน ตาราง 1 และมีความผันผวนน้อย เช่น อุณหภูมิในเวลากลางวันแตกต่างกับเวลากลางคืนเพียง 6 – 8 องศาเซลเซียส คุณสมบัติเหล่านี้ทำให้โลกแตกต่างไปจากดาวเคราะห์อื่นๆ ไม่ใช่ก่อนหินทั่วไปที่มีอุณหภูมิผันผวนอย่างรุนแรงตามอุณหภูมิแวดล้อม ทฤษฎีกายะเห็นว่าคุณสมบัติของโลกเหล่านี้เกิดจากกระบวนการมีชีวิตของสิ่งมีชีวิตที่มีความหลากหลาย คุณสมบัติซึ่งประกอบด้วยการบริโภคและขับถ่าย ทำให้พื้นผิวโลกกลายเป็นสภาพประกอบด้วยน้ำทะเลและมหาสมุทร ออกซิเจนและไนโตรเจนในอากาศ แผ่นดินที่มีสารอาหาร ชั้นบรรยากาศที่กรองความร้อนของดวงอาทิตย์ให้พื้นผิวโลกมีอุณหภูมิลดลงและปราศจากความผันผวนอย่างรุนแรง องค์ประกอบเหล่านี้ปรับแต่งให้โลกเป็นสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับการแพร่พันธุ์ของสิ่งมีชีวิต เป็นบ้านที่อบอุ่น ทฤษฎีกายะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมของโลกเหล่านี้ไม่สามารถเกิดจากวัตถุที่ไม่มีชีวิต หากแต่เกิดจากสิ่งมีชีวิตมีบทบาทเป็นกลไก “ผู้กระทำ” ให้เกิดขึ้น จึงพลิกความเข้าใจออกจากฐานความคิดเดิมที่เห็นว่าสิ่งมีชีวิตเป็นเพียง “ผู้อาศัย” ของดาวเคราะห์ดวงหนึ่งที่มีความพอดีของสภาพแวดล้อม “โดยบังเอิญ”

หากโลกเป็นก้อนหินทั่วไป กฎอุณหพลศาสตร์ข้อที่ 0 ให้ความเข้าใจว่าโลกจะมีอุณหภูมิแปรผันตามอุณหภูมิภายนอก เช่น ดวงจันทร์ซึ่งมีสภาพเป็นก้อนหินที่แห้งแฉะ ไม่มีอากาศไม่มีน้ำ มีอุณหภูมิบริเวณเส้นศูนย์สูตรของเวลากลางวันประมาณ 127 องศาเซลเซียส เวลากลางคืนประมาณ -173 องศาเซลเซียส แต่โลกที่มีสิ่งมีชีวิตมีอุณหภูมิที่พื้นผิวเฉลี่ย 13-16 องศาเซลเซียส และมีระยะแตกต่างระหว่างกลางวันและกลางคืนระหว่าง 6-8 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นความเสถียรของอุณหภูมิเช่นเดียวกับคุณสมบัติเสถียรของอุณหภูมิภายในร่างกายของสิ่งมีชีวิต

กฎอุณหพลศาสตร์ข้อที่ 2 ให้ความเข้าใจว่าหากโลกเป็นก้อนหินทั่วไป โลกจะมีอุณหภูมิสะสมเพิ่มขึ้น เพราะได้รับพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ ทำให้มีค่า Entropy สูงขึ้น Entropy คือสภาวะอลหม่านของโมเลกุลของสสารซึ่งขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนสะสมเพิ่มขึ้นทำให้สสารเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลวและเป็นก๊าซ แต่คุณสมบัติเสถียรของอุณหภูมิภายในร่างกายของสิ่งมีชีวิตทำให้มีค่า Entropy คงที่ จึงฝ่าฝืนกฎอุณหพลศาสตร์ข้อที่ 2 คุณสมบัติเสถียรของอุณหภูมิของโลกจึงทำให้โลกมีคุณสมบัติเช่นเดียวกับสิ่งมีชีวิต และฝ่าฝืนกฎอุณหพลศาสตร์ข้อที่ 2

การสำรวจการทำงานของสิ่งประดิษฐ์ต่างๆ ของมนุษย์จะพบว่ามีการทำงานที่มีความเสถียรซึ่งเลียนแบบความเสถียรของ “ระบบ” (system) ของร่างกายของสิ่งมีชีวิตทั้งสิ้น การทำงานของเครื่องจักรโรงงาน ยานยนต์ เครื่องปรับอากาศ ตู้เย็น คอมพิวเตอร์ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เหล่านี้ล้วนมีกลไกป้อนกลับด้านลบ (Negative feedback loop) ทั้งสิ้นเพื่อควบคุมความเสถียรของอุณหภูมิภายในเพื่อป้องกันการสะสมความร้อนไม่ให้เพิ่มขึ้นถึงขีดพังทลาย (Oscillation) การทำงานอย่างราบรื่นของเครื่องจักรต่างๆ จึงใช้กลไกการขับถ่ายความร้อนเพื่อควบคุมให้ความเสถียรของอุณหภูมิ เช่น รถยนต์ควบคุมความเสถียรของอุณหภูมิเครื่องยนต์โดยการระบายความร้อนให้น้ำที่หมุนเวียนระหว่างหม้อน้ำกับเครื่องยนต์โดยมีประตูดูดความร้อนแต่คอยควบคุมอัตราการไหล กระบวนการเช่นนี้ทำให้ค่า entropy ภายในระบบคงที่ แต่ค่า Entropy ในภาพรวมซึ่งรวม Entropy ภายในระบบกับ Entropy ที่เกิดจากความร้อนที่ขับถ่ายออกจากระบบยังคงเป็นไปตามกฎอุณหพลศาสตร์ข้อที่ 2 เช่นเดียวกัน

กลไกควบคุมความเสถียรของอุณหภูมิของโลกประกอบด้วยกลไกป้อนกลับด้านลบ (negative feedback loop) เช่นเดียวกัน กลไกเหล่านี้เกิดขึ้นได้จากกระบวนการของสิ่งมีชีวิต การให้กำเนิดชีวิตใหม่และการสืบชีวิตวนเวียนอย่างต่อเนื่อง การหมุนเวียนของการบริโภคและการขับถ่ายอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดกลไก

เปิด-ปิด หรือ เพิ่ม-ลด มีคุณสมบัติยืดหยุ่นเพื่อปรับแต่งส่วนประกอบของระบบทั้งที่เป็นสิ่งมีชีวิตและวัตถุไม่มีชีวิตให้มีปริมาณ หรือระดับ ที่เกิดภาวะการทำงานที่ราบเรียบ เอื้อต่อการทรงกลมและเติบโตของมวลชีวิต และมีคุณสมบัติอยู่รอดในสภาพแวดล้อมภายนอกที่มีสภาพผันผวน ทำให้สิ่งมีชีวิตมีความสามารถดำรงอย่างมีจุดมุ่งหมาย ได้แก่ ความมั่นคงของที่อยู่อาศัย

ในเชิงเปรียบเทียบ ก้อนหินเป็นสิ่งไม่มีชีวิตจึงไม่มีความยืดหยุ่น ไม่ดีนรน ไม่เพิ่ม-ลด ไม่มีจุดมุ่งหมาย แต่จะเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมสถานเดียว

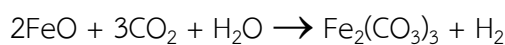
ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตทำหน้าที่เป็นกลไกป้อนกลับด้านลบ (Negative feedback loop) ของโลก สิ่งมีชีวิตต่างๆ พืชและสัตว์ ตั้งแต่จุลินทรีย์เซลล์เดียวจนถึงวาฬ มีบทบาทร่วมกันปรับแต่งให้เกิดความมั่นคงของโลก จึงมีคุณค่าและมูลค่ามหาศาลเกินที่จะนับได้ ความรอบรู้ในเรื่องนี้อย่างกว้างขวางมากขึ้นจะช่วยให้นักวิทยาศาสตร์กำหนดวิถีของการพัฒนาและกระบวนการทางเศรษฐกิจได้อย่างถูกต้องและยั่งยืน

3. คุณสมบัติพิเศษของโลก

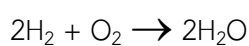
คุณสมบัติพิเศษที่รับผิดชอบความมั่นคงทางอุณหภูมิของโลกและคุณสมบัติความเพียบพร้อมสำหรับการอยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตอย่างน่ามหัศจรรย์ที่เป็นสิ่งมีชีวิต รวบรวมได้ดังนี้

ประการที่ 11

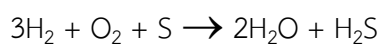
คุณสมบัติพิเศษของโลก ที่เป็นสิ่งมีชีวิต ส่วนที่ 1 (Lovelock 1991) ได้แก่ กระบวนการกักเก็บก๊าซไฮโดรเจนเป็นน้ำในปริมาณมากเอื้อต่อการเจริญงอกงามของสิ่งมีชีวิต ไฮโดรเจนเป็นก๊าซอิสระที่ปลดปล่อยออกจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของเหล็กในหินบะซอลต์กับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ได้เป็นคาร์บอนเตตของเหล็กและก๊าซไฮโดรเจนอิสระซึ่งลอยขึ้นสู่บรรยากาศ จากกระบวนการ



โลกอาจจะสูญเสียก๊าซไฮโดรเจนอิสระไปหมดเนื่องจากไฮโดรเจนเป็นก๊าซเบาซึ่งสามารถหนีแรงดึงดูดของโลกได้ง่าย แต่ก๊าซไฮโดรเจนอิสระสร้างพันธะได้ง่ายกับก๊าซออกซิเจนในบรรยากาศเกิดเป็นโมเลกุลของน้ำ ซึ่งมีน้ำหนักมากทำให้แรงดึงดูดของโลกกักเก็บทั้งออกซิเจนและไฮโดรเจนไว้บนพื้นผิวโลกได้ในปริมาณมากจากกระบวนการ



ก๊าซออกซิเจนในบรรยากาศเป็นผลผลิตของสิ่งมีชีวิตที่คายออกจากกระบวนการสังเคราะห์แสงเพื่อแปลงพลังงานจากดวงอาทิตย์เป็นมวลวัตถุ และสิ่งมีชีวิตประเภทแบคทีเรียใช้ก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซออกซิเจน และซัลเฟอร์ในกระบวนการย่อยสลายซากสิ่งมีชีวิตประเภทสังเคราะห์แสงที่ตายเป็นอาหาร และคายน้ำและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ก๊าซไข่เน่า) จากกระบวนการ



ประการที่ 12

คุณสมบัติพิเศษของโลก ที่เป็นสิ่งมีชีวิต ส่วนที่ 2 (Lovelock 1991) ได้แก่ กระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชที่ซับซ้อนและมีประสิทธิภาพสูง ซึ่งสามารถใช้แสงอาทิตย์ในช่วงคลื่นสีน้ำเงิน 400-500 นาโนเมตร และสีแดง 650-700 นาโนเมตร แสดงใน ภาพ 2 ซึ่งลอดผ่านการกรองของบรรยากาศเข้าสู่พื้นผิวโลกสร้างคลอโรฟิลล์เพื่อแปลงคาร์บอนไดออกไซด์ 6 โมเลกุล (6CO_2) และน้ำ 6 โมเลกุล ($6\text{H}_2\text{O}$) เป็นกลูโคสในพืช ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) และก๊าซออกซิเจน 6 โมเลกุล (6O_2) แสดงใน ภาพ 3

คาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศซึ่งเกิดจากการประทุของภูเขาไฟในอดีตที่มีปริมาณมากทำให้บรรยากาศของโลกมีอุณหภูมิสูง กระบวนการสังเคราะห์แสงใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศได้อย่าง

รวดเร็วและคายก๊าซออกซิเจนออกสู่บรรยากาศช่วยให้บรรยากาศมีอุณหภูมิเย็นลง และไฮโดรเจนช่วยกักเก็บออกซิเจนในรูปน้ำในปริมาณมากซึ่งให้กำเนิดสิ่งมีชีวิต

ประการที่ 13

คุณสมบัติพิเศษของโลก ที่เป็นสิ่งมีชีวิต ส่วนที่ 3 (Lovelock 1991) ได้แก่ ทั้งพืชและสัตว์เป็นกระบวนการฝังคาร์บอนลงสู่พื้นผิวโลกอย่างเนบเนียน คาร์บอนในพืชที่สลายตัวลงสู่พื้นดินย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ดินและชะล้างกับน้ำฝนรวมกับหินปูนกลายเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ไหลลงสู่มหาสมุทร ซึ่งใช้เป็น เปลือก เกร็ด และกระดองของสัตว์น้ำหลายชนิดในมหาสมุทร และฝังอยู่กับพื้นมหาสมุทรเมื่อสัตว์ตาย

สำหรับ Coccolithophores เป็นสิ่งมีชีวิตที่ยึดครองพื้นผิวมหาสมุทรในเขตร้อนที่มีขอบเขตไพศาล จึงเป็นสิ่งมีชีวิตที่ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศในปริมาณมากในกระบวนการสังเคราะห์แสง และใช้แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) เป็นผนังเซลล์ ซึ่งกลายเป็นตะกอนหินปูนที่พื้นมหาสมุทรเมื่อสาหร่ายตาย

ประการที่ 14

คุณสมบัติพิเศษของโลก ที่เป็นสิ่งมีชีวิต ส่วนที่ 4 (Lovelock 1991) ได้แก่ การควบคุมอุณหภูมิของพื้นผิวโลกให้อยู่ในช่วงที่เอื้อต่อการเพิ่มพูนปริมาณของสิ่งมีชีวิตทั้งที่เป็นพืชและสัตว์ พืชไม่สามารถเกิดขึ้นหากพื้นผิวของโลกเป็นน้ำแข็งตลอดปี และสัตว์น้อยชนิดที่สามารถมีชีวิตบนพื้นผิวโลกที่เป็นน้ำแข็ง ในด้านตรงข้ามพื้นผิวโลกที่แห้งแล้งไม่อำนวยต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตที่มีความหลากหลาย โลกในภาวะปัจจุบันมีอุณหภูมิเฉลี่ย 13 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นภาวะเหมาะสมที่ทำให้มีปริมาณและความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต

ทฤษฎีภาวะเห็นว่าเป็นภาวะเหมาะสมเช่นนี้ไม่ใช่ความบังเอิญ แต่เป็นผลงานและผลผลิตของสิ่งมีชีวิตหลากหลายชนิดร่วมกันตกแต่งให้เกิดสภาพแวดล้อมที่อยู่สบาย ก๊าซเรือนกระจกซึ่งมีบทบาทเป็นบรรยากาศของโลกที่มีความหนาเพียงพอที่จะทำให้โลกมีอุณหภูมิอุ่นพอสบายและมีความแตกต่างของอุณหภูมิสูงและต่ำในช่วงแคบ (ซึ่งดาวเคราะห์อื่น เช่น ดาวอังคาร หรือ ดาวศุกร์ หรือ ดวงจันทร์ ไม่มีคุณสมบัติเช่นนี้)

สิ่งมีชีวิตประเภทสังเคราะห์แสงเปลี่ยน CO_2 ในบรรยากาศที่มีปริมาณมากในกระบวนการสร้างมวลอย่างรวดเร็ว จากกระบวนการ $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \xrightarrow[\text{Chlorophyll}]{\text{Sun light}} \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$ ซึ่งจะช่วยให้บรรยากาศสูญเสียก๊าซเรือนกระจกไปหมด และพื้นผิวโลกจะเป็นน้ำแข็ง แต่โลกมีสิ่งมีชีวิตประเภท มีเทนโนเจน (Methanogen) ที่คืนก๊าซเรือนกระจกกลับสู่บรรยากาศ จากกระบวนการย่อยสลายมวลของสิ่งมีชีวิตประเภทสังเคราะห์แสงที่ตายแล้ว ผลผลิตของสิ่งมีชีวิตเหล่านี้ ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์— CO_2 และก๊าซมีเทน— CH_4 ซึ่งทำให้พื้นผิวโลกมีบรรยากาศที่อบอุ่น

ประการที่ 15

คุณสมบัติพิเศษของโลก ที่เป็นสิ่งมีชีวิต ส่วนที่ 5 ได้แก่ Dimethyl sulfide—DMS สูตรเคมี $\text{C}_2\text{H}_6\text{S}$ หรือ $(\text{CH}_3)_2\text{S}$ เป็นของเหลวที่เป็นผลผลิตของกระบวนการ Metabolism ของแบคทีเรียที่ย่อยสลายซาก Plankton ในทะเลและมหาสมุทร DMS ทำให้เกิดกลิ่นสาบทะเล กลิ่นเหม็นเน่า แหล่งกำเนิดอื่นๆของ DMS ได้แก่ อุตสาหกรรมที่มีกระบวนการต้มพืชหรือสัตว์ที่มี Sulfur ซึ่งสังเกตได้จากกลิ่นเหม็นเน่า เมื่อ DMS ทำปฏิกิริยากับ O_2 กลายเป็นสารประกอบ Sulfur หลายชนิด เช่น สารประกอบ Sulfur dioxide สารประกอบ Dimethyl sulfoxide (DMSO) สารประกอบ Dimethyl sulfone สารประกอบ Methane sulfonic acid และสารประกอบ Sulfuric acid ซึ่งสารประกอบ Sulfuric acid (H_2SO_4) มีสภาพเป็นของเหลวที่ก่อตัวในบรรยากาศชั้น Stratosphere จึงมีคุณสมบัติเป็นละอองน้ำขนาดเล็ก (Aerosols) ซึ่งมีบทบาทเป็น Cloud condensation nuclei—CCN ซึ่งเป็นวัตถุ (Particle) ที่ใช้เป็นพื้นผิวสำหรับการกลั่นตัวของไอน้ำในอากาศให้เป็นน้ำในสภาพเมฆที่ลอยตัวในระดับต่ำ (Stratus cloud) แสดงใน ภาพ 5 ซึ่งมีบทบาทเป็นเกราะสีขาว

(albedo) ปิดกั้น กรอง สะท้อนแสงอาทิตย์ และควบคุมอุณหภูมิของพื้นผิวโลก (Wigley 1989; Lovelock 1991; Novakov and Penner 1993; Bardouki et al 2003)



ภาพ 5 เมฆระดับต่ำ (Stratus cloud) มีบทบาทปิดกั้นแสงอาทิตย์ลดอุณหภูมิของพื้นผิวโลก

4. มนุษย์ควรปฏิบัติอย่างไร

มนุษย์เป็นสิ่งมีชีวิตที่ไม่เพียงกินอาหารและขับถ่ายกากอาหารเหมือนสิ่งมีชีวิตเหล่าอื่น แต่มีความรู้และความสามารถใช้ไฟเป็นเครื่องมือในการผลิตข้าวของเครื่องใช้เพื่อความเป็นอยู่ที่สะดวกสบาย มีการผลิตสิ่งของอุตสาหกรรม มีการขนส่ง มีการเดินทาง ทำให้การดำรงชีวิตของมนุษย์มีการใช้สสารและพลังงานในปริมาณมาก และมีการขับถ่ายจากการผลิตอุตสาหกรรมในปริมาณมากซึ่งสร้างความสกปรกให้แก่โลก เพราะสิ่งขับถ่ายวนเวียนอยู่ภายในโลก

มนุษย์เรียนรู้และสะสมความรู้และความสามารถด้านการป้องกันภัยและการแพทย์จึงทำให้มีประชากรเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และใช้ทรัพยากรและพลังงานและมีสิ่งขับถ่ายปริมาณมากขึ้นตามจำนวนประชากร

สิ่งขับถ่ายของมนุษย์ที่จะเปลี่ยนคุณสมบัติอยู่สบายของโลก ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นผลจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในอุตสาหกรรม และการขนส่ง ซึ่งสะสมปริมาณเพิ่มขึ้นในบรรยากาศเพราะเกินความสามารถของกระบวนการสลายตามธรรมชาติซึ่งใช้กระบวนการของสิ่งมีชีวิต การสะสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศทำให้บรรยากาศ แผ่นดิน และน้ำทะเล มีอุณหภูมิสูงขึ้น และละลายน้ำแข็งในพื้นที่ขั้วโลก ซึ่งยังไม่มีความรู้แน่ชัดว่าจะเกิดอะไรขึ้นจากกระบวนการดังกล่าว แต่ที่แน่ชัดคือเศรษฐกิจของมนุษย์ที่ขยายเพิ่มขึ้นเปียดให้สิ่งมีชีวิตเหล่าอื่นมีพื้นที่เล็กลง จึงน่ากังวลว่ากลไกที่สร้างภาวะอยู่สบายของโลกจะเสียหายมากขึ้น และกระบวนการป้อนกลับด้านบวก (Positive feedback) จะเร่งให้เกิดความเสียหายในอัตราเร่งมากขึ้น และการทำงานของกลไกความเสถียรของโลกเสียหายในระดับที่กู้คืนไม่ได้ ตัวอย่างของกระบวนการป้อนกลับด้านบวก (Positive feedback) เช่น น้ำแข็งสะท้อนแสงและความร้อนร้อยละ 90 แต่

น้ำเก็บความร้อนร้อยละ 90 เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนจากลบ 1 องศา เป็นบวก 1 องศา น้ำแข็งเปลี่ยนเป็นน้ำ จึงเปลี่ยนพื้นผิวโลกจากสะท้อนแสงและความร้อนเป็นเก็บความร้อนในน้ำทะเลที่มีพื้นที่เพิ่มขึ้น จึงเร่งภาวะน้ำแข็งละลาย

เศรษฐกิจและความเป็นอยู่ของมนุษย์ขึ้นอยู่กับธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มีระบบนิเวศเป็นที่อาศัยเป็นอาหาร เป็นวัตถุดิบ เป็นพื้นที่รองรับการซับถ่ายของอุตสาหกรรม ความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมเป็นความรู้สำคัญสำหรับการจัดการเศรษฐกิจและการพัฒนาของมนุษย์

จากเหตุผลในเชิงกลไกความเสถียรของระบบ ข้อคิดสำคัญ ได้แก่ การประเมินค่าสิ่งแวดล้อมด้วยมูลค่าเศรษฐกิจย่อมไม่เพียงพอ แต่ต้องใช้ความรู้ ความเข้าใจ ทศนคติ ความร่วมมือ ในการหยุดความเสียหายกลไกความเสถียรของโลก

บรรณานุกรม

- Bardouki, H., H. Berresheim, M. Vrekoussis, J. Sciare, G. Kouvarakis, K. Oikonomou, J. Schneider, and N. Mihalopoulos 2003. Gaseous (DMS, MSA, SO₂, H₂SO₄ and DMSO) and particulate (sulfate and methanesulfonate) sulfur species over the northeastern coast of Crete. *Atmos. Chem. Phys.*, 3, 1871–1886, 2003. www.atmos-chem-phys.org/acp/3/1871/
- Factors Affecting Photosynthesis.
<http://generalhorticulture.tamu.edu/lectsupl/Physiol/physiol.html>
- Lovelock, J.E. 1991. Geophysiology of the oceans. *Ocean Margin Processes in Global Change*, ed. Mantoura, R.F.C., Martin, J.-M and Wollast, R. (Dahlem Konferenzen) John Wiley & Sons Ltd., 419-431.
- Lovelock, James 1988. *The Ages of Gaia: A Biography of Our Living Earth*. Oxford University Press, Oxford.
- Novakov, T. and J.E. Penner, 1993. Large Contribution of Organic Aerosols to Cloud-Condensation Nuclei Concentrations. *Nature*, 365, 823-826.
<http://dx.doi.org/10.1038/365823a0>
- Redd, Nola Taylor 2012. How Hot is Venus? *Space.com*. November 16, 2012 06:15pm ET
<https://www.space.com/18526-venus-temperature.html>
- Routhier, Richard 2016. What are some ways that trees act as carbon sinks?
<https://www.quora.com/What-are-some-ways-that-trees-act-as-carbon-sinks>. Retrieved 24 January 2018
- Sharp, Tim 2017a. What is the Temperature of Mars? November 29, 2017 07:29pm ET.
<https://www.space.com/16907-what-is-the-temperature-of-mars.html>
- Sharp, Tim 2017b. What is the Temperature on the Moon? October 27, 2017 09:03am ET.
<https://www.space.com/18175-moon-temperature.html>
- The Ozone Depletion Theory of Global Warming. <http://ozonedepletiontheory.info/what-is-radiation.html> Retrieved 24 January 2018
- Wigley, TML 1989. Possible climate change due to SO₂-derived cloud condensation nuclei. *Nature* 339 (6223), 365-367