



ทฤษฎีความอลวนกับอุตุนิยมวิทยา Chaos Theory and Meteorology

ศศิธร บัจจุโส¹

บทนำ

ระบบต่างๆในธรรมชาตินั้น มีทั้งที่เป็นระเบียบแบบแผนชัดเจนไม่ซับซ้อนสามารถนำตัวแปรต่างๆ ในระบบมาเขียนในรูปสมการเชิงอนุพันธ์ทางคณิตศาสตร์ ที่แสดงความเปลี่ยนแปลงสถานะของระบบกับตัวแปร ทำให้หาผลเฉลยของรูปสมการเชิงอนุพันธ์ดังกล่าวได้แม่นยำ และบางระบบอาจมีความยากขึ้นอีกแต่เมื่อมีการจำกัดขอบเขตหรือมีการประมาณการเพิ่มเติมอีกเพียงเล็กน้อยในขีดจำกัดหนึ่งที่ยอมรับได้และไม่ส่งผลกระทบต่อมากนักก็จะสามารถหาผลเฉลยของสมการหรือปัญหาของระบบได้ทำให้การทำนายหรือบอกสถานะใหม่ของระบบที่จะเกิดขึ้นในอนาคตมีความถูกต้องแม่นยำได้เช่นกัน นอกจากนี้ที่กล่าวถึงนี้แล้วยังมีระบบอีกแบบหนึ่งที่ตรงข้ามกันนั่นคือ เป็นระบบที่มีความซับซ้อนซ่อนอยู่และจำเป็นต้องใช้ทฤษฎีเฉพาะที่เรียกว่า ทฤษฎีความอลวน (Chaos Theory) ซึ่งเป็นทฤษฎีที่ใช้อธิบายพฤติกรรมของระบบพลวัต (dynamical system คือ ระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา) โดยการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของระบบที่เรียกว่า เคออส (Chaos) นี้ จะมีลักษณะที่ยุ่งเหยิง ปั่นป่วนสะเปะสะปะ จนดูเหมือนว่าการเปลี่ยนแปลงนั้นเกิดขึ้นแบบสุ่มหรือไร้ระเบียบ (random/stochastic) แต่ภายใต้ความไร้ระเบียบนั้น

กลับแฝงด้วยความเป็นระเบียบหรือแบบแผนไว้ ระบบเคออสจึงถือว่าเป็นระบบแบบไม่สุ่มหรือระบบที่สามารถกำหนดหรือระบุความเป็นระเบียบได้ (deterministic) และสามารถแทนในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ได้เช่นกันแต่การทำนายผลของระบบในอนาคตหรือการแก้สมการเพื่อหาผลเฉลยมีความยุ่งยากมากกว่าโดยผลที่ได้มักจะถูกอยู่ในรูปแบบการทำนายเชิงสถิติซึ่งมีความน่าเชื่อถือในระดับหนึ่ง ตัวอย่างของระบบเคออสที่เกิดขึ้นได้ในธรรมชาติหรือแม้แต่ในชีวิตประจำวันของเรา ได้แก่ ปรากฏการณ์เกี่ยวกับสภาพลมฟ้าอากาศ การเคลื่อนที่ของน้ำที่ไหลในก๊อก รูปแบบของน้ำจากหัวฉีดของเครื่องล้างจาน การไหลเวียนของสภาพอากาศ และอื่นๆ อีกมากมาย ในทางคณิตศาสตร์และฟิสิกส์ ได้ให้คำจำกัดความระบบเคออส ว่าต้องเป็นระบบที่ประกอบไปด้วยลักษณะ ดังต่อไปนี้

1. เป็นระบบแบบไม่เชิงเส้น (nonlinear system) คือ ผลลัพธ์ทั้งหมดของระบบ ไม่เท่ากับ ผลรวมของผลลัพธ์ที่เกิดจากส่วนย่อย ๆ ของระบบรวมกัน
2. เป็นระบบแบบไม่สุ่มหรือเป็นระบบที่สามารถกำหนดได้ เหตุการณ์ทั้งหลายจึงเกิดขึ้นภายใต้กฎเกณฑ์อันแน่นอน
3. เป็นระบบที่ไวต่อสภาวะเริ่มต้น (sensitive

¹ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ต. เมืองศรีโค อ. วารินชำราบ จ. อุบลราชธานี 341900
E-Mail: sasitornpas@hotmail.com

dependence on initial conditions) นั่นคือ ถ้าระบบใด ๆ ที่เริ่มต้นจากสภาวะที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย เมื่อระบบได้มีการเปลี่ยนไปสักระยะหนึ่ง สภาวะของระบบทั้งสองนั้นจะแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด

4. ไม่สามารถทำนายล่วงหน้าในระยะยาวได้ (long-term prediction is impossible) เพราะไม่สามารถรู้ได้ว่าจะมีเหตุปัจจัยใดที่กระทบ ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลง

ดังนั้นจึงเป็นสิ่งที่ยากมากที่จะอธิบายและทำนายกลไกของธรรมชาติในระยะยาวที่เกิดจากระบบแบบไม่เชิงเส้นหลายๆระบบรวมกัน แต่อย่างไรก็ตามนักคณิตศาสตร์ก็พยายามศึกษาค้นคว้าหาคำตอบของระบบแบบไม่เชิงเส้นด้วยวิธีการต่างๆ

เอ็ดเวิร์ด ลอเรนซ์ (Edward Lorenz) เป็นนักวิทยาศาสตร์อีกท่านหนึ่งที่สนใจศึกษาและริเริ่มบุกเบิกทฤษฎีความอลวน จากการสังเกตพฤติกรรมความอลวนในขณะที่ทำการทดลองทางด้านการพยากรณ์อากาศ ในปี ค.ศ. 1961 ลอเรนซ์ได้ใช้คอมพิวเตอร์ในการออกแบบจำลองสภาพอากาศ ซึ่งในการคำนวณแต่ละครั้งต้องใช้ข้อมูลเป็นจำนวนมากและใช้เวลานาน ในครั้งหนึ่งเมื่อมีข้อมูลใหม่เพิ่มเติมและเขาไม่ต้องการเริ่มการคำนวณใหม่จากจุดเริ่มต้นทั้งนี้เพื่อต้องการประหยัดเวลาในการคำนวณ เขาจึงใช้ข้อมูลของการคำนวณก่อนหน้านี้เป็นค่าเริ่มต้น ผลปรากฏว่าค่าที่คำนวณได้มีความแตกต่างไปจากเดิมอย่างสิ้นเชิง ซึ่งเขาพบว่าสาเหตุเกิดจากการปัดเศษของค่าตัวเลขที่พิมพ์ออกมา จากค่าที่ใช้ในคอมพิวเตอร์ครั้งก่อนซึ่งมีค่าน้อยมาก แต่สามารถนำไปสู่ความแตกต่างอย่างมากมาย เรียกว่า มีความไวต่อสภาวะเริ่มต้น

ส่วนคำว่า “chaos” (เค-ออส) บัญญัติขึ้นโดยนักคณิตศาสตร์ประยุกต์ เจมส์ เอ. ยอร์ค (James A. Yorke) จุดเริ่มต้นของทฤษฎีความอลวนเกิดขึ้นในช่วงปี พ.ศ. 2443 (ค.ศ. 1900) จากการศึกษาปัญหาวงโคจรของวัตถุสามชิ้นในสนามแรงดึงดูดระหว่างกัน ซึ่งมีชื่อเรียกเป็นทางการว่า ปัญหาสามวัตถุ (Three-body problem)

โดย ชูล อองรี ปวงกาเร (Jules Henri Poincaré) นักคณิตศาสตร์ นักฟิสิกส์ และนักปรัชญาวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส ผู้ค้นพบว่า วงโคจรที่ศึกษานั้นอาจจะมีลักษณะที่ไม่ได้เป็นคาบหรือไม่ได้เป็นวงรอบ (aperiodic) นั่นคือไม่ได้มีทางวิ่งซ้ำเป็นวงเดิม ยิ่งไปกว่านั้นวงโคจรของวัตถุเหล่านั้นก็ไม่ได้ขยายวงออกไปเรื่อยๆ หรือมีลักษณะที่ลู่เข้าหาจุดใดๆ ต่อมาได้มีการศึกษาปัญหาสมการเชิงอนุพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้นที่เกี่ยวข้อง เช่น เบอร์กอฟ (G.D. Birkhoff) ศึกษาปัญหาสามวัตถุ คอลโมโกรอฟ (Andrei Nicolanevich Komogorove) ศึกษาปัญหา ความปั่นป่วน (หรือ เทอร์บิวแลนซ์) และ ปัญหาเกี่ยวกับดาราศาสตร์ คาร์ทไรท์ (M.L. Cartwright) และ ลิตเติลวูด (J.E. Littlewood) ศึกษาปัญหาทางวิศวกรรมการสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุและสเมล (Stephen Smale) นั้นอาจถือได้ว่าเป็นนักคณิตศาสตร์คนแรกที่ทำการศึกษาปัญหาทางด้านพลศาสตร์ของระบบแบบไม่เชิงเส้น ถึงแม้ว่าข้อมูลการศึกษาเกี่ยวกับความอลวนของเส้นทางโคจรของดาวยังไม่ได้มีการสังเกตบันทึกผลอย่างเป็นทางการ แต่ก็ได้มีการสังเกตพบ พฤติกรรมความอลวนในความปั่นป่วนของการเคลื่อนที่ของของไหล และในการแกว่งกวัด (Oscillate) แบบไม่เป็นวงรอบของวงจรวิทยุ ซึ่งไม่มีทฤษฎีใดในขณะนั้นสามารถอธิบายพฤติกรรมเหล่านี้ได้

ความตื่นตัวในการพัฒนาทฤษฎีความอลวนนี้เกิดขึ้นในช่วงกลางของศตวรรษที่ 20 เมื่อเป็นที่ประจักษ์ว่า ทฤษฎีของระบบเชิงเส้นไม่สามารถนำมาใช้อธิบายพฤติกรรมบางอย่าง แม้กระทั่งพฤติกรรมของระบบที่ไม่ซับซ้อนอย่าง ลอจิสติกแมพ (Logistic map) นอกจากนี้ อีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลให้พัฒนาการของทฤษฎีความอลวนเป็นไปอย่างรวดเร็วก็คือ คอมพิวเตอร์ ทั้งนี้เนื่องจากว่า ในทฤษฎีความอลวนนั้น โดยส่วนใหญ่จะเป็นการคำนวณค่าแบบซ้ำๆ จากสูตรคณิตศาสตร์ที่ใช้กำหนดระบบ ซึ่งสามารถใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ประโยชน์จากการศึกษาทฤษฎีความอลวน

1. ใช้ในการวิเคราะห์ระบบและทำนายอนาคต

แม้ว่าเราจะไม่สามารถทำนายสถานะในอนาคตของระบบเคออสในระยะยาวได้ แต่เราสามารถทำนายผลของระบบในระยะสั้นได้ หากสามารถหาแบบจำลองที่ดีที่มีความเป็นตัวแทนของระบบได้ถูกต้องในระดับหนึ่ง นั่นคือการเลือกค่าตัวแปรเริ่มต้นที่เหมาะสมและใกล้เคียงกับสถานะหรือสถานะของระบบในขณะนั้นก็จะสามารถคำนวณหาผลเฉลยที่สามารถอธิบายพฤติกรรมของระบบนั้นได้ถูกต้องแม่นยำพอสมควร ตัวอย่างเช่น การวิจัยเพื่อทำนายข้อมูลอนุกรมลำดับเวลา (Time series data) ตามแนวทฤษฎีความอลวนที่มีผู้ศึกษากันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากสามารถนำไปประยุกต์เพื่อทำนายความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุด ในแต่ละวันของบริษัทหรือโรงงานอุตสาหกรรมที่มีความจำเป็นต้องใช้ไฟฟ้าในปริมาณมาก หรือนำไปใช้ในการพยากรณ์อากาศ

2. ใช้ในการสร้างระบบเคออส

จากความจริงที่ว่า ในธรรมชาติ ความอลวนเป็นสิ่งสากลและเกิดขึ้นได้ง่ายกว่าและมากกว่าความเป็นระเบียบแบบแผนเช่น เราเคยเชื่อว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับมนุษย์คือ อุณหภูมิคงที่ แต่จากการทดลองบางอย่าง ทำให้ทราบว่า อุณหภูมิที่มนุษย์รู้สึกสบายตัวกว่า คือ อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างอลวนรอบจุดๆ หนึ่ง (แบบที่เรียกว่า สั่นแกว่งแบบ $1/f$) ซึ่งแนวคิดนี้นำมาสู่การสร้างเครื่องทำความร้อนเพื่อใช้ในบ้านเรือนหรือสำนักงานในแถบประเทศที่มีอากาศหนาวเย็น

3. ใช้ในการควบคุม- สร้างความเสถียรภาพให้กับระบบ

จากการที่ระบบเคออสมีความไวต่อสภาวะตั้งต้นมาก การรบกวนเพียงเล็กน้อยจึงอาจก่อให้เกิดผลขยายได้มาก การเติมสิ่งรบกวนเพียงเล็กน้อยที่เหมาะสมให้กับระบบเคออส จึงสามารถใช้ควบคุมระบบนั้นให้อยู่ในสภาวะที่เสถียรหรือซบเซาหรือระบบนั้นให้ไปสู่สภาวะที่ต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตัวอย่างของการประยุกต์ใช้ตามแนวคิดนี้ได้แก่ การที่องค์กรการบริหาร

การบินและอวกาศแห่งชาติ (NASA) สามารถควบคุมยานอวกาศ ISEE-3 ให้เคลื่อนที่ไปสู่ดาวหางที่ต้องการสำรวจได้โดยใช้เชื้อเพลิงในปริมาณที่น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

การประยุกต์ใช้ทฤษฎีความอลวนกับการพยากรณ์อากาศ

เมื่อกล่าวถึงทฤษฎีความอลวนในการพยากรณ์อากาศคนส่วนใหญ่จะนึกถึง ปรากฏการณ์ผีเสื้อ (butterfly effect) เสมอ ซึ่งเป็นคำที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายหลังจากการบรรยายของ เอ็ดเวิร์ด ลอเรนซ์ ที่สมาคม Advancement of Science ของอเมริกาที่ Washington, D.C. ในปี ค.ศ. 1972 ภายใต้อำนาจหัวข้อ “การกระพือปีกของผีเสื้อในบราซิลก่อให้เกิดพายุทอร์นาโดในรัฐเท็กซัสได้จริงหรือ (Does the Flap of a Butterfly's Wings in Brazil Set Off a Tornado in Texas?)” โดยศาสตราจารย์ลอเรนซ์ผู้ซึ่งเป็นนักอุตุนิยมวิทยามากกว่า 30 ปี ได้นำเสนอข้อมูลวิจัยและแนวความคิดด้านอุตุนิยมวิทยา ที่ค้นพบโดยบังเอิญจากการเฝ้าจับตามองตัวเลขในกระบวนการคำนวณที่ค่อยๆ ปรับเปลี่ยนไปในระดับที่น้อยยิ่ง $.0000001$ ของทศนิยม ทั้งยังนั่งเฝ้าเข็มรายงานความเคลื่อนไหวของอากาศ ทุกครั้งที่เกิดการสั่นสะเทือนของระบบการรับข่าวสาร เกี่ยวกับสภาวะอากาศ และเฝ้าสังเกตจุดจุดทศนิยมที่เปลี่ยนแปลงไปแต่ละจุดๆ และพบว่าความคลาดเคลื่อนเพียง $.0000001$ ก่อให้เกิดความเปลี่ยนแปลงได้อย่างมหาศาลและรูปแบบจำลองที่เปลี่ยนไปมีโครงสร้างคล้ายปีกผีเสื้อซึ่งการเปลี่ยนแปลงอย่างมหาศาลในภาวะแวดล้อมของอุตุนิยมวิทยาไม่ใช่เกิดขึ้นจาก สาเหตุใหญ่ๆ หากแต่เกิดขึ้นจากสัญญาณเล็กๆ เป็นจุดๆ ท่านจึงอธิบายว่าถ้ามันเป็นเช่นนั้นจริงก็หมายความว่า “แม้กระทั่งผีเสื้อตัวเล็ก ๆ เมื่อกระพือปีกเบาๆ อยู่ที่ซีกโลกหนึ่งอาจจะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยาของอีกซีกโลกหนึ่งก็เป็นได้” ภาพปรากฏการณ์ผีเสื้อ ทำให้เกิดกระแสความตื่นตัวขึ้นในกลุ่ม IT แม้กลุ่มนักวิทยาศาสตร์ทั่วโลก ก็มีการพูดถึงเรื่องนี้ นับตั้งแต่นั้นเป็นต้นมา คำว่า ปรากฏการณ์ผีเสื้อ

ก็เริ่มแพร่หลายและนำไปใช้อย่างกว้างขวาง ในหลากหลายสาขา เช่น ด้านอุตุนิยมวิทยา การสื่อสาร สังคมศาสตร์ เศรษฐศาสตร์ และสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

นอกจากคำกล่าวที่ว่าผีเสื้อขยับปีกทำให้เกิดพายุแล้วยังมีคำกล่าวอื่นอีกที่แสดงถึงผลอันเนื่องมาจากทฤษฎีความอลวน นั่นคือ “เด็ดดอกไม้สะเทือนถึงดวงดาว” ซึ่งมีคนจำนวนไม่น้อยที่ตีความคำกล่าวนี้ไม่เพียงแต่ในแง่ขนาดความรุนแรงของผลลัพธ์เท่านั้น แต่ใน ระบบเคออสนั้นอาจรวมไปถึงความแตกต่างกันในแง่ของ พฤติกรรม การเปลี่ยนแปลงด้วย ผลกระทบที่รุนแรงอย่างคาดไม่ถึงที่เกิดขึ้นต่อโลกเราหลายอย่างที่อธิบายด้วยทฤษฎีความอลวน ได้แก่ ปรากฏการณ์เอลนีโญ ซึ่งเกิดจากการที่กระแสน้ำอุ่นเปลี่ยนทิศทางจากที่เคยไหลเรียบฝั่งแอฟริกาอยู่ตึกๆ ก็ข้ามพากมาอเมริกาใต้สู่มหาสมุทรแปซิฟิก ผลส่วนหนึ่งเนื่องจากปรากฏการณ์ดังกล่าวก็คือทำให้เกิดไฟไหม้ป่าที่เกาะสุมาตรา ซึ่งเป็นป่าที่เคยสมบูรณ์ที่สุดในแถบเอเชีย การที่กระแสน้ำอุ่นเปลี่ยนทิศทางนั้นเป็นผลมาจากการสะสมความเปลี่ยนแปลงทีละเล็ก ทีละน้อย โดยมีสัญญาณเตือนภัยที่สื่อเค้ามามาก่อนแล้ว เช่น ทิมะละลาย แผ่นดินถล่ม และก้อนน้ำแข็งจากแอนตาร์กติกลอยออกมาเป็นก้อนๆ แม้แต่การที่มีปลารูปร่างหน้าตาประหลาดลอยมาเกยตื้นที่หาดสมิหรา ก็สามารถก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมหาดศาลต่อโลกมนุษย์ได้แต่ก็ไม่มีคนสนใจ

ในปัจจุบันนี้ ปัญหาต่างๆ ของระบบที่ซับซ้อนในธรรมชาตินั้นเกิดจาก “ทฤษฎีความอลวน” นักวิทยาศาสตร์ได้พยายามแก้ปัญหาลเหล่านี้โดยใช้คอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์ค่าฟังก์ชันแบบไม่เชิงเส้นในอันดับที่สูงขึ้นเพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบที่สอดคล้องกับเงื่อนไขความอลวนขึ้นแทน เช่น การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสภาพการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของโลก ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้นั้น

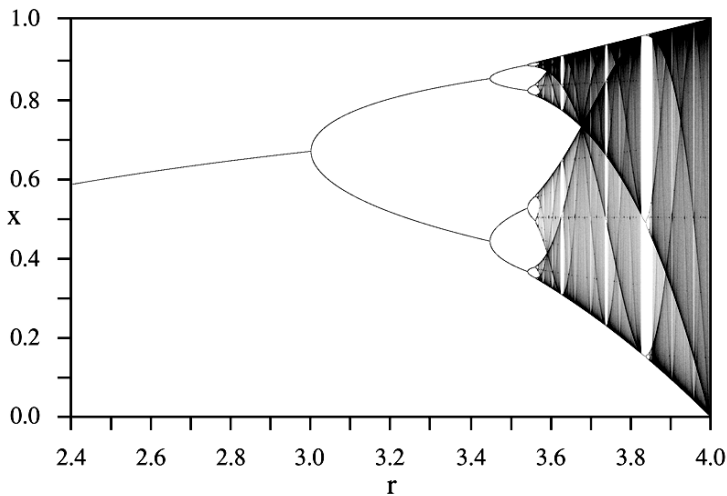
นับว่าใกล้เคียงกับความเป็นจริงและได้รับการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง หรือการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาการไหลของน้ำในเขื่อน แม้แต่ในส่วนของแบบจำลองการพยากรณ์อากาศก็ยังได้รับการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องเช่นกัน ทั้งนี้ เพื่อให้ได้ตัวแบบจำลองที่ดีที่สุดซึ่งในการพัฒนาตัวแบบจำลองการพยากรณ์อากาศก็อาศัยทฤษฎีอลวน

นอกจากนั้น นักคณิตศาสตร์และนักอุตุนิยมวิทยาได้ศึกษาตัวควบคุมหรือตัวดึงดูด (attractor) ซึ่งคือ ตัวเลขทางคณิตศาสตร์ที่มีค่าเกือบจะคงที่อย่างที่สุด โดยตัวควบคุมจะทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดและควบคุมพฤติกรรมพื้นฐานที่นำไปสู่ความซับซ้อนของระบบเคออส ตัวควบคุมที่มีความเสถียรอย่างที่สุดนี้ เมื่อระบบเคออสเดินทางไปไกลจากสมดุลที่สุด มันจะเปลี่ยนตัวเองที่ระดับพื้นฐาน ทำให้การควบคุมเดิมต้องหยุดชะงักไปในทันที เนื่องจากตัวควบคุมเป็นตัวกำหนดพฤติกรรมของระบบเคออส ดังนั้นในการศึกษาระบบใดๆว่าเป็นระบบเคออสหรือไม่เราอาจจะศึกษาจากตัวควบคุมของระบบแทน ตัวชี้วัดความเป็นเคออสที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปมีดังนี้คือ

1. ทางสองแพร่ง (bifurcation) หรือทางแพร่ง มีลักษณะเหมือนตัววาย (Y) เกิดขึ้นเมื่อความไวระเหยียบได้พัฒนาตัวเองออกไปจากจุดสมดุลจนสุดขอบเขต ทำให้ระบบมีความยุ่งเหยิงซับซ้อนที่สุด ณ จุดที่ไกลจากสมดุลที่สุดนี้ ตัวควบคุมหรือตัวดึงดูด (attractor) จะเปลี่ยนสภาพโดยสิ้นเชิงไปสู่ตัวควบคุมตัวใหม่ที่จะทำหน้าที่กำหนดและควบคุมระบบที่ปรากฏขึ้นใหม่หลังทางแพร่งนี้ที่ทั้งไม่เหมือนเดิมและซับซ้อนยิ่งกว่าเดิม แต่จะคงสาระและคุณสมบัติเดิมเป็นเนื้อในอยู่ในระบบใหม่นั้น ตัวอย่างเช่น ลอจิสติกแมพ ซึ่งตัวแปรต่างๆ มีความสัมพันธ์กัน ดังแสดงในสมการที่ (1)

$$x_{n+1} = rx_n(1 - x_n) \quad (1)$$

และแสดงผลในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนภาพลอจิสติกแมพ แสดงตัวดึงดูดสำหรับค่า r แบบคาบคู่ เมื่อ r เพิ่มขึ้นจะเกิดเป็นเคออส (http://en.wikipedia.org/wiki/Chaos_theory)

2. แฟรคทัล (fractal) เป็นระบบรูปร่างเรขาคณิตชนิดหนึ่ง ที่อาจมีกฎเกณฑ์ในการประกอบรูปร่างที่ไม่ซับซ้อน แต่กฎเกณฑ์เหล่านั้นจะก่อให้เกิดแบบแผนในลักษณะที่ว่า เมื่อมองจากภาพใหญ่ก็เห็นแบบแผนชนิดหนึ่ง และเมื่อมองจากส่วนย่อย ก็ยังเห็นแบบแผนลักษณะเดียวกันหรือคล้ายกัน ซึ่งไม่ว่าจะใช้แว่นขยายส่องไปถึงส่วนย่อยระดับใด ก็ยังยังคงเห็น

แบบแผนลักษณะนั้นอยู่ เช่น กะหล่ำดอก (cauliflower หรือ broccoli) ไม่ว่าจะมองภาพดอกกะหล่ำทั้งหัวหรือหักกิ่งเล็กๆ ของดอกกะหล่ำออกมา ก็ยังยังคงเห็นรูปร่างในแบบแผนเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 2 แฟรคทัลนั้นนอกจากเป็นวัตถุที่มี ความคล้ายตนเองแล้วยังมีอีกคุณสมบัติหนึ่งคือ มี มิติเฮาส์ดอร์ฟ (Hausdorff dimension) ไม่เป็นจำนวนเต็ม



รูปที่ 2 บร็อกโคลี ชนิดหนึ่ง (Romanesco broccoli) ที่มีลักษณะของแฟรคทัล (<http://th.wikipedia.org/wiki>)

3. ไลปูนอฟ เอกซ์โปเนนต์ (Lyapunov exponent) เป็นตัวเลขทางคณิตศาสตร์ที่ใช้วัดความไวต่อสภาวะตั้งต้น โดยใช้วัดมิติของตัวควบคุมของระบบ ถ้าค่าที่ปรากฏเป็นค่าบวกจะทำให้ได้ว่าระบบนั้นๆ เป็น

ระบบเคออส ซึ่ง Lyapunov exponent ใช้วิเคราะห์ทางโคจร (trajectories) ของอนุภาค ในปริภูมิเฟส (phase space) ด้วยการแยกของสภาวะเริ่มต้น δZ_0 ที่กำหนดโดย

$$|\delta Z(t)| \approx e^{\lambda t} |\delta Z_0| \tag{2}$$

เมื่อ λ คือ ไลปูนอฟ เอกซ์โปเนนต์

อย่างไรก็ตามตัวดึงดูดอื่นซึ่งเป็นที่รู้จักกันอย่างกว้างขวาง ก็คือ ตัวดึงดูดของลอเรนซ์ (Lorenz Attractor) ดังแสดงในรูปที่ 3 พัฒนาขึ้นโดย เอ็ดเวิร์ด ลอเรนซ์ (Edward Lorenz) ในปี ค.ศ. 1963 เป็นระบบพลวัตที่ไม่เชิงเส้น 3 มิติ เป็นแบบจำลองอย่างง่ายที่ใช้อธิบายการพาความร้อนในบรรยากาศ ระบบนี้จะแสดงพฤติกรรมความอลวนที่ค่าพารามิเตอร์เฉพาะบางค่า รวมถึงลักษณะของระบบที่เรียกว่า ตัวดึงดูดประหลาด

(strange attractor) ซึ่งพิสูจน์โดยทักเกอร์ (W.Tucker) ในปี ค.ศ. 2001 ตัวดึงดูดประหลาดในที่นี้เป็น แฟรคทัลที่มีค่ามิติเฮาส์ดอร์ฟ อยู่ระหว่าง 2 ถึง 3 นอกจากนี้ กราสเบอร์เกอร์ (Grassberger) ได้ประมาณค่ามิติเฮาส์ดอร์ฟว่ามีค่าประมาณ 2.06 ± 0.01 และค่ามิติสหสัมพันธ์ (correlation dimension) ประมาณ 2.05 ± 0.01 ระบบที่มีพฤติกรรมตามแบบจำลองลอเรนซ์ นี้ได้แก่ เลเซอร์ ไดนาโม และกังหันน้ำบางชนิด เป็นต้น

ระบบสมการเริ่มต้นที่ลอเรนซ์ได้พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ศึกษาตัวดึงดูดนี้ คือ

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + w \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial P}{\partial x} - \mathcal{G}\nabla^2 u = 0 \tag{3}$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + w \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{\partial P}{\partial x} - g\epsilon T_1 - \mathcal{G}\nabla^2 w = 0, \tag{4}$$

$$\frac{\partial T_1}{\partial t} + u \frac{\partial T_1}{\partial x} + w \frac{\partial T_1}{\partial z} - \kappa\nabla^2 T_1 = 0, \tag{5}$$

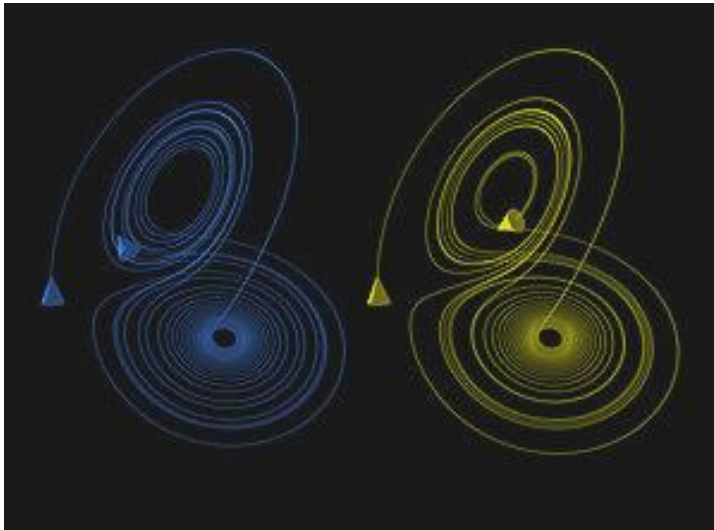
$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \tag{6}$$

เมื่อจัดรูปสมการใหม่โดยเพิ่มเงื่อนไข เพื่อให้สมการง่ายขึ้นจึงสามารถเขียน ตัวดึงดูดลอเรนซ์ ในรูปสมการเชิงอนุพันธ์หรือสมการที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรทางคณิตศาสตร์ ได้ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= \sigma(y-x) \\ \frac{dy}{dt} &= x(r-z) - y \\ \frac{dz}{dt} &= xy - bz\end{aligned}\quad (7)$$

โดยเรียก σ ว่า ตัวเลขพรันด์เทิล (Prantle number) และ เรียกว่า ตัวเลขเรย์โนลด์ (Raynolds number) ค่า แต่โดยปกติแล้วจะมีค่า และ เป็นค่าที่

ปรับได้ โดยทั่วไปแล้ว ระบบจะแสดงพฤติกรรมความอลวนที่ค่า แต่จะแสดงพฤติกรรมโคจรพัวพันกันเป็นวงรอบที่ค่า อื่นๆ



รูปที่ 3 ตัวดึงดูดลอเรนซ์แสดงพฤติกรรมเคออสจากสองสถานะเริ่มต้นที่มีความไวต่อสภาวะเริ่มต้นที่ต่างกัน ภายใต้บริเวณของตัวดึงดูด (http://en.wikipedia.org/wiki/Chaos_theory)

การพยากรณ์อากาศด้วยคอมพิวเตอร์เป็นการพยากรณ์เชิงวัตถุวิสัย (Objective forecast) คือการคาดหมายลักษณะลมฟ้าอากาศ โดยอาศัยการประยุกต์กฎทางพลศาสตร์ (dynamics) และ/หรือ ทางอุณหพลศาสตร์ (thermodynamics) และ / หรือ ทางสถิติศาสตร์ เป็นหลักสำคัญ การพยากรณ์อากาศเชิงตัวเลข (numerical weather prediction-NWP) คือชื่ออย่างเป็นทางการของวิธีการพยากรณ์อากาศด้วยคอมพิวเตอร์ เนื่องจากลมฟ้าอากาศอยู่ภายใต้กฎ

เกณฑ์ทางฟิสิกส์ การเปลี่ยนแปลงของบรรยากาศจึงสามารถแสดงได้ในรูปของระบบสมการเชิงอนุพันธ์ทางคณิตศาสตร์โดย สมการเหล่านี้ได้นำตัวแปรต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของบรรยากาศ เช่น อุณหภูมิ ความเร็วและทิศทางลม ความชื้น ฯลฯ ที่มีผลกระทบสำคัญมารวมพิจารณาว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงไปจากสภาวะปัจจุบันอย่างไร หากสามารถแก้สมการเหล่านี้ได้ ก็จะสามารถแปลผลความหมายสภาวะของบรรยากาศในลักษณะที่นำมาพยากรณ์ลมฟ้าอากาศได้ เช่น ทำนายสภาพอากาศ

ประจำวันเกี่ยวกับความรุนแรงของการเกิดพายุฝนฟ้าคะนอง อุณหภูมิ ปริมาณแสงแดดและลมทั้งบนแผ่นดินและเหนือมหาสมุทร

ในส่วนของเคออสกับการพยากรณ์อากาศนั้น ทฤษฎีความอลวนมีส่วนช่วยอธิบายระบบที่มีความซับซ้อนมากและดูเหมือนว่าจะไม่สามารถทำนายได้ เช่นระบบของลม ฟ้า อากาศ เนื่องจากตัวดึงดูด Lorenz แสดงให้เห็นว่ารายละเอียดของแบบจำลองบรรยากาศนั้นไม่สามารถพยากรณ์สภาพอากาศในระยะยาวได้

จากภาวะโลกร้อนและสภาพอากาศแปรปรวนในปัจจุบันที่เกิดจากน้ำมือมนุษย์ ซึ่งหลายฝ่ายได้ตระหนักถึงปัญหาและผลกระทบที่ตามมา โดยล่าสุดกลุ่มนักวิจัยในอังกฤษได้พัฒนาแบบจำลองภูมิอากาศที่สามารถทำนายสภาพอากาศของโลกในอีก 10 ปีข้างหน้าได้โดยอาศัยข้อมูลจากสถานะของมหาสมุทรและชั้นบรรยากาศในปัจจุบันเพื่อทำนายแนวโน้มและผลกระทบในอนาคต

อย่างไรก็ตาม ดูก สมิธ (Doug Smith) ผู้เชี่ยวชาญด้านสภาพอากาศอีกผู้หนึ่งจากศูนย์ฮัดเลย์ (Hadley Center) ของเมทออฟฟิศ (Met Office) ประเทศอังกฤษ เปิดเผยว่า แบบจำลองสภาพภูมิอากาศที่ใช้กันทั่วไปมักมีเพียงแคข้อมูลความร้อนจากดวงอาทิตย์ ก้อนเมฆ ฝนตก และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยปราศจากข้อมูลของมหาสมุทรและชั้นบรรยากาศทำให้การวิเคราะห์พยากรณ์ไม่แม่นยำใกล้เคียงกับความจริงจึงได้เสนอแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นใหม่เรียกว่า “ดีพีริซิส” (Decadal Climate Prediction System: DePreSys) ซึ่งสามารถนำไปใช้สำหรับการเปลี่ยนแปลงของธรรมชาติในช่วงระยะสั้นในอีกไม่กี่ปีข้างหน้า ซึ่งจะช่วยให้มนุษย์เตรียมการป้องกันหรือพร้อมรับมือกับปัญหาสภาพอากาศแปรปรวนอย่างฉับพลันได้ทันเวลาแทนที่จะทำนายล่วงหน้าเป็นร้อยปี

ดีพีริซิส ใช้หลักการเช่นเดียวกับแบบจำลองที่มีอยู่ก่อน เพียงแต่เพิ่มข้อมูลของมหาสมุทรและชั้นบรรยากาศที่ได้จากการสังเกตด้วยดาวเทียมเข้าไปด้วย เช่น ปรากฏการณ์เอล นีโญ (El Niño) การปล่อยก๊าซ

เรือนกระจกและฝุ่นควันที่เกิดจากภูเขาไฟ การเผาไหม้ของเชื้อเพลิง และกิจกรรมต่างๆของมนุษย์ ที่ก่อให้เกิดมลภาวะเป็นต้น ซึ่งสิ่งเหล่านี้มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของโลก และช่วยให้ทำนายผลกระทบที่จะเกิดได้ชัดเจนยิ่งขึ้นในช่วงเวลาอันสั้นจากข้อมูลที่มีอยู่ ณ ปัจจุบัน

ทั้งนี้ ทีมวิจัยของเขาได้ทดลองใช้ดีพีริซิสทำนายการเปลี่ยนแปลงที่ผ่านมาแล้วในช่วงปี พ.ศ. 2525-2544 โดยใช้เพียงข้อมูลสภาพอากาศของปีแรกๆ และการเปลี่ยนแปลงของก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศ พบว่าให้ผลถูกต้องตรงกับที่เกิดขึ้นจริงและแม่นยำกว่าแบบจำลองอื่นๆถึง 50% และได้คาดการณ์ไว้แล้วว่าในปี พ.ศ. 2557 อุณหภูมิเฉลี่ยทั่วโลกจะสูงขึ้นจากปี 2547 ราว 0.3 องศาเซลเซียส ขณะที่คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงของบรรยากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC) ได้ทำนายไว้ว่าปลายศตวรรษนี้อุณหภูมิของโลกจะสูงขึ้น 1.8-4.0 องศาเซลเซียส

กิจกรรมของมนุษย์ดังกล่าวหรือกระแสที่ทะเลสามารถส่งผลกระทบต่อมากพอๆกันต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลก การเก็บข้อมูลของธรรมชาติอย่างต่อเนื่องจะสามารถช่วยให้นักภูมิอากาศเข้าใจและคาดการณ์ล่วงหน้าสภาพภูมิอากาศของโลกได้แม่นยำมากขึ้น และให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์กับประชากรโลกได้อย่างครบถ้วนสำหรับการตัดสินใจที่จะดำเนินกิจกรรมต่างๆที่อาจส่งผลกระทบต่อ

อย่างไรก็ตามนักอุตุนิยมวิทยายังคงศึกษาทฤษฎีความอลวนเพื่อนำมาพัฒนาแบบจำลองภูมิอากาศให้ได้แบบจำลองที่ดีที่สุด

ปัจจุบันนี้แบบจำลองพยากรณ์ปรากฏการณ์เอลนีโญ-ลานีญา และปรากฏการณ์อื่นๆล่วงหน้ายังคงได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและยัง จำเป็นต้องอาศัยความร่วมมือจากผู้เก็บข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยา รวมทั้งการพัฒนาการระบบจัดเก็บข้อมูลให้ถูกต้อง รวดเร็วและทันเวลา อีกประการหนึ่งซึ่งมีความจำเป็นเช่นกันนั้นก็คือการได้รับความสนใจจากนักวิจัยรุ่นใหม่ต่อการศึกษา

ด้านบรรยากาศ และอุตุนิยมวิทยา โดยเฉพาะการศึกษาเพิ่มองค์ความรู้ด้านโมเดลพยากรณ์ให้ได้แบบที่มีความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น เพื่อให้เกิดประโยชน์ในการตั้งรับกับภัยพิบัติทางธรรมชาติต่างๆที่จะเกิดขึ้นได้บนโลกของเรา

เอกสารอ้างอิง

กฤษดา ดวงโป้. (2553). ทฤษฎีความอลวน. ปริญญาานิพนธ์ หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต. เข้าถึงได้จาก: <http://cpe.rsu.ac.th/students/u501080/chaos.pdf>

ชัยวัฒน์ ธีระพันธ์. (2537). ทฤษฎีความไร้ระเบียบกับทางแพร่งของสังคมสยาม. สำนักพิมพ์ภูมิปัญญา

ปิยชีนิษฐ์/เนเจอร์ ผู้จัดการออนไลน์. (2550). แบบจำลองใหม่ทำนายอากาศโลกอีก 10 ปี. เข้าถึงได้จาก: http://muanmai.mypage.utcc.ac.th/front/bin/ptdetail.phtml?Part=news20aug50_4

ดุขฎิ ศุขวัฒน์. การพยากรณ์อากาศด้วยคอมพิวเตอร์. หน้าวิชาการของ เว็บไซต์กรมอุตุนิยมวิทยา เข้าถึงได้จาก :<http://www.tmd.go.th/info/info.php?FileID=2>

วิกิพีเดีย. ทฤษฎีความอลวน. เข้าถึงได้จาก :<http://th.wikipedia.or/wiki/ทฤษฎีความอลวน> “ว่าด้วยเรื่องทฤษฎี chaos theory หรือปรากฏการณ์ Butterfly Effect” เข้าถึงได้จาก: <http://udonpit99.ohmylife.net/t636-topic>

ศศิธร สอนสนาม. (2550). Attractor of a Spherical Shallow Water Model. วิทยานิพนธ์หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาคณิตศาสตร์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

สมเกียรติ ตั้งกิจวานิชย์.ทฤษฎีความโกลาหล. เข้าถึงได้จาก :<http://info.tdri.or.th/report/unpublished/chaos-theory.pdf>

เอกลักษณ์ จันเทร์มะ และ อ่อนจันทร์ โคตรพงษ์. (2010). ฝี่เสื้อกระพือปีก, กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, เข้าถึงได้จาก: http://www.deqp.go.th/website/20/index.php?option=com_content&view=article&id=4160%3A2010-09-30-03-37-43&catid=50&Itemid=74&lang=th

Wikipedia. Chaos Theory. Available from: http://en.wikipedia.org/wiki/Chaos_theory