

จักรวาลในฐานะเครื่องเรียนรู้

The Universe as a Learning Machine

Machine Learning ตั้งแต่วินาทีแรกของจักรวาล จนถึงความหมายของทุกสิ่ง

จักรวาลเรียนรู้อะไรก็ได้ — สิ่งที่มีมันเรียนรู้เพื่อ คือสิ่งที่เรามอบให้



สารบัญ

คำถามที่ซ่อนอยู่ใต้ทุกสิ่ง

Machine Learning ได้กลายเป็นเทคโนโลยีที่เปลี่ยนโฉมหน้าของศตวรรษนี้ แต่ได้ความสำเร็จทางวิศวกรรมของมัน มีคำถามหนึ่งซ่อนอยู่อย่างเงิบงัน — คำถามที่ใหญ่กว่าตัวเทคโนโลยีมากนัก Machine Learning เป็นเพียงเทคนิคที่มนุษย์เพิ่งประดิษฐ์ขึ้นในไม่กี่ทศวรรษ หรือว่ามนุษย์เพียง ค้นพบ — อย่างล่าช้าและเชื่องช้า — สิ่งที่ยักรวาลนี้ได้รับมาแล้วตั้งแต่วินาทีแรกที่ยึดถือกำเนิด

หนังสือเล่มนี้คือคำตอบ และคำตอบนั้นคือ: อย่างหลัง

วิทยานิพนธ์ของหนังสือเล่มนี้เรียบง่ายจนน่าใจหาย แต่ผลพวงของมันแผ่กว้างจนครอบคลุมทุกสิ่ง แก่นแท้ของ Machine Learning ไม่ใช่ชิปคอมพิวเตอร์ ไม่ใช่สมการแคลคูลัส ไม่ใช่ภาษาโปรแกรม แก่นแท้ของมันคือ ลูป — วงจรซ้ำสี่จังหวะ: สร้างความหลากหลายขึ้นมา (variation), เอาความหลากหลายนั้นไปเผชิญกับโลกเพื่อวัดผล (evaluation), เก็บสิ่งที่ผ่านและทิ้งสิ่งที่ไม่ผ่าน (selection), แล้วทำซ้ำจากจุดที่เก็บไว้ (iteration) ลูปนี้ — แปรผัน ประเมิน คัดเลือก ทำซ้ำ — คือหัวใจที่เด่นอยู่ใต้ทุกระบบที่เราเรียกว่า "เรียนรู้ได้"

และข้อเสนอของหนังสือเล่มนี้ก็คือ ลูปเดียวกันนี้เด่นอยู่ได้ ทุกสิ่ง ไม่ใช่แค่ได้สมองของสัตว์หรือได้โครงข่ายประสาทเทียม แต่ได้การก่อตัวของดาวฤกษ์ ได้ปฏิกิริยาเคมีในมหาสมุทรยุคแรก ได้วิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต ได้การรับรู้ของจิต ได้การเติบโตของวิทยาศาสตร์และวัฒนธรรม จักรวาลไม่ได้ "ใช้" Machine Learning ราวกับมันเป็นเครื่องมือที่หยิบมาจากชั้นวาง — จักรวาล เป็น เครื่องเรียนรู้ และ Machine Learning ที่มนุษย์เขียนขึ้นด้วยมือ เป็นเพียงครั้งแรกที่ลูปนั้นได้มองเห็นตัวมันเอง

เราจะเดินทางไปตามลูปนี้ตลอดทั้งเล่ม จากวินาทีแรกที่อวกาศและเวลาถือกำเนิด ผ่านการที่อะตอมเรียนรู้จะจับตัวกัน ผ่านการที่เคมีเรียนรู้จะคัดลอกตัวเอง ผ่านสี่พันล้านปีของการลองผิดลองถูกที่เราเรียกว่าวิวัฒนาการ ผ่านการกำเนิดของสมองที่จำลองโลกไว้ในตัว

มันเอง ผ่านการที่จักรวาลสร้างกระจกขึ้นมาส่องตัวเองในรูปของวิทยาศาสตร์และปัญญาประดิษฐ์ และในที่สุด เราจะมาถึงคำถามที่ยากที่สุด — ความหมายของทุกสิ่ง

มีคำเตือนหนึ่งข้อก่อนเริ่ม หนังสือเล่มนี้จะใช้คำว่า "เรียนรู้" "ค้นหา" "พยายาม" "เป้าหมาย" กับสิ่งที่ไม่มีความตั้งใจ — กับดาวฤกษ์ กับโมเลกุล กับยีน นี่ไม่ใช่การให้จักรวาลมีวิญญาน ไม่ใช่การบอกว่าหินก้อนหนึ่งมีความปรารถนา มันเป็นการชี้ว่ากระบวนการที่ไร้จิตใจ เมื่อมีองค์ประกอบสามอย่างครบ — มีความหลากหลาย มีการคัดกรอง และมีการสืบทอดสิ่งที่รอด — จะก่อให้เกิดพฤติกรรมที่ แยกไม่ออก จากการเรียนรู้ที่มีเป้าหมาย คำถามที่น่าสนใจไม่ใช่ "จักรวาลตั้งใจหรือเปล่า" คำถามที่น่าสนใจคือ "ถ้าผลลัพธ์เหมือนกันทุกประการ ความตั้งใจยังสำคัญอยู่ไหม" — และเราจะเก็บคำถามนั้นไว้ด้วยกันในบทสุดท้าย

เริ่มกันเลย ที่จุดเริ่มต้นของทุกจุดเริ่มต้น

อัลกอริทึมก่อนจะมีโครมารัน

เมื่อกฎยังไม่ตัดสินใจว่าจะเป็นกฎอะไร

ลองนึกถึงวินาทีแรก ไม่ใช่วินาทีแรกของชีวิตคุณ ไม่ใช่วินาทีแรกของโลก แต่วินาทีแรกของทุกสิ่ง — จุดที่อวกาศ เวลา สสาร และพลังงาน ถือกำเนิดขึ้น พร้อมกันในเหตุการณ์ที่เราเรียกว่าบิกแบง

ก่อนอื่นต้องล้างความเข้าใจผิดที่ฝังลึกที่สุดออกไปก่อน บิกแบงไม่ใช่การระเบิด มันไม่ใช่ลูกระเบิดที่จุดขึ้นกลางความว่างเปล่าอันมืดมิดแล้วสาตเศษซากออกไปทุกทิศทาง เพราะไม่มี "ความว่างเปล่า" ให้ระเบิดเข้าไป ไม่มี "ที่ว่าง" อยู่ก่อน บิกแบงคือการขยายตัวของอวกาศ เอง — อวกาศทุกจุดถ่างออกจากกันพร้อมกันทั้งหมด ไม่มีศูนย์กลาง ไม่มีขอบ จุดที่คุณนั่งอยู่ตอนนี้ก็คือจุดที่บิกแบงเกิดขึ้น และทุกจุดในจักรวาลก็เช่นกัน

ในเสี้ยววินาทีแรกอย่างที่สุด — ช่วงเวลาสั้นกว่าที่ภาษาจะบรรยายได้ — จักรวาลผ่านยุคที่เรียกว่าการพองตัว (cosmic inflation) อวกาศขยายตัวเร็วกว่าแสงเป็นมหาศาล นี่เป็นเหตุการณ์ หลัง จากบิกแบง ไม่ใช่ตัวบิกแบงเอง และไม่ใช่การขยายตัวช้า ๆ ที่เรายังเห็นอยู่ทุกวันนี้ มันคือช่วงเวลาที่เอกภพทั้งหมดถ่างจากขนาดเล็กกว่าอะตอม ไปสู่ขนาดมหึมา ในเวลาที่สั้นจนแทบไม่มีความหมาย

แต่สิ่งที่น่าสนใจไม่ใช่ความใหญ่ ไม่ใช่ความเร็ว สิ่งที่น่าสนใจจริง ๆ คือ ในช่วงขณะนั้น จักรวาลกำลัง ตัดสินใจว่าจะเป็นอะไร

การทำลายสมมาตร — เหตุการณ์คัดเลือกครั้งแรก

ในอุณหภูมิที่สูงอย่างที่สุดของจักรวาลแรกเกิด แรงทั้งหลายที่เรารู้จักทุกวันนี้ — แรงแม่เหล็กไฟฟ้า แรงนิวเคลียร์อย่างเข้ม แรงนิวเคลียร์อย่างอ่อน — ยังไม่แยกออกจากกัน มันหลอมรวมเป็นหนึ่งเดียว สมมาตรอย่างสมบูรณ์ สภาวะที่สมมาตรสมบูรณ์คือสภาวะที่ "ยังไม่ได้เลือก" — ทุกทิศทางเหมือนกันหมด ทุกความเป็นไปได้ยังเปิดอยู่

แล้วจักรวาลก็เย็นลง

และเมื่อมันเย็นลง สิ่งที่เกิดขึ้นคือสิ่งที่นักฟิสิกส์เรียกว่าการทำลายสมมาตรโดยธรรมชาติ (spontaneous symmetry breaking) ขอให้เข้าใจให้ตรง — นี่ไม่ได้แปลว่ากฎฟิสิกส์สูญเสียสมมาตรของมัน กฎยังสมมาตรอยู่เหมือนเดิม สิ่งที่เกิดขึ้นคือ สถานะพื้นฐาน ของจักรวาล — สถานะที่มันตกลงไปอยู่เมื่อเย็นตัว — ไม่อาจสะท้อนสมมาตรทั้งหมดของกฎได้อีกต่อไป มันต้อง "เลือก" อุปมาคลาสสิกคือดินสอที่ตั้งบนปลายแหลม ทรายที่มันตั้งตรง มันสมมาตรสมบูรณ์ ทุกทิศทางเท่ากัน แต่สถานะนั้นไม่เสถียร พอมันล้ม มันต้องล้มไปทางใดทางหนึ่ง และทันทีที่มันล้ม สมมาตรก็แตกสลาย ทิศทางหนึ่งถูกเลือก ทิศทางอื่นทั้งหมดถูกทิ้ง

นี่คือสิ่งที่อาจเรียกได้ว่าเหตุการณ์คัดเลือกครั้งแรกของจักรวาล ในการทำลายสมมาตรแต่ละครั้ง จักรวาลลือกค่าพารามิเตอร์ของตัวเองลงไปหนึ่งค่า มันตัดสินใจว่าแรงจะแยกออกจากกันอย่างไร อนุภาคชนิดใดจะมีมวล มวลนั้นจะเป็นเท่าใด สสารจะมีมากกว่าปฏิสสารด้วยอัตราส่วนเท่าใด ทุกครั้งที่เลือก ความเป็นไปได้นับไม่ถ้วนถูกตัดทิ้ง และความจริงหนึ่งเดียวถูกเก็บไว้ ถ้าคุณมองในภาษาของ Machine Learning นี่คือนั่นที่เกิดขึ้นปะ ๆ เมื่ออัลกอริทึมการเรียนรู้ "ตกลง" ไปยังคำตอบหนึ่ง — มันสุ่มเริ่มจากสถานะที่ทุกอย่างเป็นไปได้ แล้วค่อย ๆ ลือกค่าพารามิเตอร์ลงทีละตัว จนเหลือคำตอบเดียว

ภูมิทัศน์ของค่าคงที่ และปริศนาของการปรับจูน

เมื่อฝุ่นของการทำลายสมมาตรจางลง จักรวาลก็เหลือชุดของค่าคงที่พื้นฐานติดตัวมา — ความแรงของแรงโน้มถ่วง มวลของอิเล็กตรอน ค่าคงที่ของโครงสร้างละเอียดที่กำหนดความแรงของแรงแม่เหล็กไฟฟ้า และอีกหลายสิบค่า ตัวเลขเหล่านี้คือ "น้ำหนัก" ของจักรวาล มันคือพารามิเตอร์ที่กำหนดว่าทุกอย่างหลังจากนี้จะเล่นออกมาอย่างไร

และนี่คือสิ่งที่ทำให้นักฟิสิกส์นอนไม่หลับมากกว่าครึ่งศตวรรษ ค่าเหล่านี้ดูเหมือนถูก "ปรับจูน" มาอย่างประณีตจนน่าขนลุก ถ้าแรงนิวเคลียร์อย่างเข้มแรงกว่านี้เพียงไม่กี่เปอร์เซ็นต์ ไฮโดรเจนทั้งหมดจะหลอมรวมหมดตั้งแต่ยุคแรก ไม่เหลือเชื้อเพลิงให้ดาวฤกษ์ ถ้าอ่อนกว่านี้นิดเดียว ดาวฤกษ์จะจุดไม่ติด ถ้าค่าคงที่จักรวาล (cosmological constant) ใหญ่กว่านี้เพียงเศษเสี้ยว จักรวาลจะถ่างตัวเร็วเกินกว่ากาแล็กซีจะก่อตัวได้ ดูราวกับมีใครหมุ่นปุ่มปรับนับสิบปุ่มให้มาอยู่ตรงจุดที่พอดีกับการมีอยู่ของโครงสร้างที่ซับซ้อน

มีคำอธิบายหนึ่งที่สง่างามและรวบรวใจในเวลาเดียวกัน — และมันคือคำอธิบายเชิง Machine Learning โดยแท้ บางทีจักรวาลของเราอาจไม่ใช่จักรวาลเดียว ทฤษฎีการพองตัวแบบนิรันดร์ (eternal inflation) เสนอว่ากระบวนการพองตัวนั้นไม่เคยหยุดสนิท มันยังคงผลิต "พอง" ของจักรวาลใหม่ออกมาเรื่อย ๆ ไม่สิ้นสุด และในแต่ละพอง การทำลายสมมาตรอาจตกลงไปคนละแบบ ค่าคงที่อาจออกมาคนละชุด ถ้าเป็นเช่นนั้นจริง สิ่งที่เรา กำลังมองอยู่ก็คือการค้นหาพารามิเตอร์แบบขนานในมาตราส่วนที่ใหญ่ที่สุดเท่าที่จะจินตนาการได้ — จักรวาลนับไม่ถ้วน แต่ละจักรวาลคือการ "สุ่มลองค่าหนึ่งชุด" เหมือนการฝึกโมเดลนับล้านตัวด้วยค่าตั้งต้นที่ต่างกัน เพื่อค้นหาว่าชุดไหนใช้งานได้

แต่ถ้ามีจักรวาลนับไม่ถ้วน เหตุใดเราจึงพบว่าตัวเองอยู่ในจักรวาลที่ค่าพอดีเป๊ะ คำตอบคือสิ่งที่เรียกว่าหลักการมนุษย์ (anthropic principle) และมันคือกลไกการคัดเลือกล้วน ๆ เราไม่ได้พบว่าตัวเองอยู่ในจักรวาลที่ปรับจนมาดีเพราะมีใครจัดให้ เราพบตัวเองที่นี่เพราะจักรวาลที่ปรับจนไม่ดี ไม่มีใครอยู่ในนั้นให้ถามคำถามนี้ได้ จักรวาลที่ดาวฤกษ์จุดไม่ติด ไม่มีนักฟิสิกส์ จักรวาลที่กาแล็กซีก่อตัวไม่ได้ ไม่มีกวี ความจริงที่ว่าเราอยู่ที่นี่ คือหลักฐานว่าเราต้องอยู่ในจักรวาลแบบที่อนุญาตให้เราอยู่ได้เท่านั้น นี่คือสิ่งที่ในวงการ Machine Learning เรียกว่าอคติการรอดชีวิต (survivorship bias) — แต่ในที่นี้มันไม่ใช่ความผิดพลาดของการให้เหตุผล มันคือโครงสร้างของความจริง ตัวคัดเลือกที่เจียบที่สุดในจักรวาลคือเงื่อนไขง่าย ๆ ซ้ำเดียว: สิ่งดำรงอยู่ไม่ได้ ก็ไม่ได้อยู่ตรงนี้ให้นับ

แรงโน้มถ่วงในฐานะนักหาค่าต่ำสุด

เลื่อนเวลาไปข้างหน้า จักรวาลเย็นลงพอที่จะตอมไฮโดรเจนและฮีเลียมจะก่อตัว ตอนนี้เรามีหมอกของก๊าซบาง ๆ แผ่กระจายไปทั่ว เกือบ — แต่ไม่ทั้งหมด — สม่่าเสมอ ในความไม่สม่่าเสมอเล็กน้อยนั้นเอง ที่บดต่อไปของเรื่องราวซ่อนอยู่

แรงโน้มถ่วงทำงานอย่างทีนักหาค่าเหมาะที่สุดทำงาน มันมีปริมาณหนึ่งที่มัน "ต้องการ" ลด นั่นคือพลังงานศักย์โน้มถ่วง บริเวณใดที่ก๊าซหนาแน่นกว่าเพื่อนบ้านเพียงเล็กน้อย จะดึงดูดสสารรอบข้างเข้ามามากขึ้น พอมีสสารมากขึ้น แรงดึงดูดก็มากขึ้น พอแรงดึงดูดมากขึ้น ก็ยิ่งดึงดูดสสารเข้ามาอีก นี่คือนู่นป้อนกลับเชิงบวก เหมือนกับการไหลลงตามความชัน (gradient descent) ที่เป็นหัวใจของการฝึกโครงข่ายประสาทเทียม — ระบบหาทิศทางที่ "ลงเขา" แล้วก้าวไปทางนั้น แล้วประเมินใหม่ แล้วก้าวอีก ก้าวที่ยุบตัวก็ทำเช่นเดียวกัน มันไหลลงสู่หลุม

พลังงานศักย์ ลึกลงเรื่อย ๆ ร้อนขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งแกนกลางร้อนและหนาแน่นพอที่ปฏิกิริยาฟิวชันจะจุดติด

และดาวฤกษ์ก็ถือกำเนิด ดาวฤกษ์คือโครงสร้างที่ "ผ่านการฝึก" ดวงแรกของจักรวาล — ผลลัพธ์ที่เสถียรของกระบวนการหาค่าต่ำสุดที่ทำงานกับหมอกก๊าซ มันคือจุดสมดุลที่แรงโน้มถ่วงซึ่งบีบเข้า กับแรงดันจากฟิวชันซึ่งดันออก มาหักล้างกันพอดี เป็นคำตอบ ไม่ใช่เพราะใครออกแบบให้เป็นคำตอบ แต่เพราะมันเป็นสิ่งที่เหลืออยู่เมื่อกระบวนการหยุดนิ่ง

ตารางธาตุในฐานะการกลั่นซ้ำ

ภายในแกนของดาวฤกษ์ จักรวาลทำสิ่งที่ใกล้เคียงกับการเรียนรู้แบบทำซ้ำมากที่สุดเท่าที่ฟิสิกส์ล้วน ๆ จะทำได้ ไฮโดรเจนหลอมรวมเป็นฮีเลียม ฮีเลียมหลอมรวมเป็นคาร์บอน คาร์บอนเป็นออกซิเจน ทีละชั้น ทีละชั้น ธาตุที่หนักขึ้นถูกกลั่นออกมาจากธาตุที่เบากว่าเหมือนการฝึกที่ดำเนินไปที่ละรอบ แต่ละรอบสร้างชั้นความซับซ้อนใหม่บนชั้นเดิม

แต่มีขีดจำกัด และขีดจำกัดนี้สำคัญที่ต้องพูดให้ถูก ดาวฤกษ์สร้างธาตุได้ถึงเหล็กเท่านั้น เพราะเหล็กคือธาตุที่เสถียรที่สุด การหลอมรวมเหล็กให้หนักขึ้นไปอีกไม่ได้ปลดปล่อยพลังงาน แต่กลับ ดูด พลังงาน ฉะนั้นธาตุที่หนักกว่าเหล็ก — ทองคำในแหวน ยูเรเนียมในเครื่องปฏิกรณ์ ไอโอไดน์ในต่อมไทรอยด์ของคุณ — ไม่ได้เกิดในการเผาไหม้ปกติของดาวฤกษ์ มันเกิดในเหตุการณ์ที่รุนแรงกว่านั้นมาก: การระเบิดซูเปอร์โนวาเมื่อดาวฤกษ์มวลมากตาย และการชนกันของดาวนิวตรอน ในช่วงระยะแห่งความรุนแรงเหล่านั้น จักรวาลกลั่นธาตุหนักออกมา แล้วสาตมันกลับคืนสู่อวกาศ กลายเป็นวัตถุดิบของดาวรุ่นต่อไป ของดาวเคราะห์ และของเรา

มองในภาพรวม สิ่งที่เกิดขึ้นในบทยี่สิบคือการเรียนรู้ที่ทำงานเต็มรูปแบบ — มีการแปรผัน (ความไม่สม่ำเสมอของก๊าซ การกระจายของค่าคงที่ในแต่ละฟองจักรวาล) มีการประเมิน (เสถียรหรือไม่เสถียร ยุบตัวได้หรือไม่ได้) มีการคัดเลือก (โครงสร้างที่เสถียรคงอยู่ที่ไม่เสถียรสลายไป) และมีการสืบทอด (ธาตุจากดาวรุ่นก่อนกลายเป็นวัตถุดิบของรุ่นถัดมา) ครบทั้งสี่จังหวะ

แต่มีบางสิ่งที่ยังขาดไป และความขาดนี้คือสิ่งที่ทำให้บทยี่สิบแตกต่างจากทุกบทที่จะตามมา จักรวาลในบทยี่สิบไม่มี ฟังก์ชันสูญเสีย มันไม่มีเป้าหมาย ไม่มีสิ่งที่มัน "พยายาม" จะทำให้ได้ ดาวฤกษ์ไม่ได้ "อยาก" ส่องแสง อะตอมไม่ได้ "อยาก" จับตัวกัน มีเพียงกฎเหล็กข้อ

เดียวที่ทำงานอยู่เบื้องหลังทั้งหมด — กฎที่เรียบง่ายจนแทบไม่น่าเรียกว่ากฎ: สิ่งที่ไม่เสถียรก็คงอยู่ต่อ สิ่งที่ไม่เสถียรก็สลายไป

นี่คือ Machine Learning ที่ปราศจากฟังก์ชันสูญเสีย เป็นการคัดเลือกที่ไร้เกณฑ์ เป็นการเรียนรู้ที่ยังไม่มีผู้เรียน จักรวาลกำลังรันลูป — แต่ยังไม่มีใครอยู่ในนั้นที่จะแคว่ว่าผลออกมาอย่างไร

จนกระทั่งบางสิ่งเริ่มแคว่

และนั่นคือเรื่องของบทต่อไป

เคมีเริ่มเรียนรู้: จาก โมเลกุลสู่ขอบของชีวิต

ห้องทดลองที่ไม่มีนักวิทยาศาสตร์

ดาวฤกษ์รุ่นแรก ๆ ตายลง และในความตายของมัน หวานธาตุหนักที่วอดกาส คาร์บอน ออกซิเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส กำมะถัน ธาตุเหล่านี้ — ลูกหลานของซูเปอร์โนวา — รวมตัวกันเป็นเมฆ เป็นดาวเคราะห์ และบนดาวเคราะห์ ดวงหนึ่งที่โคจรรอบดาวฤกษ์ธรรมดา ๆ ดวงหนึ่ง ในแกนกัมมันตรังสีธรรมดา ๆ ของกาแล็กซีธรรมดา ๆ ธาตุเหล่านี้ตกลงสู่มหาสมุทร

และในมหาสมุทรนั้น จักรวาลก็เปิดห้องทดลองเคมีที่ใหญ่ที่สุดเท่าที่เคยมีมา

ขอให้เห็นภาพขนาดของห้องทดลองนี้ก่อน เพราะมันคือกุญแจของทั้งบท คาร์บอนเป็นธาตุที่พิเศษ มันสร้างพันธะได้สี่พันธะ ต่อกันเป็นสาย เป็นวง เป็นกิ่งก้าน ได้แทบไม่จำกัด จำนวนโมเลกุลที่เป็นไปได้ซึ่งประกอบขึ้นจากคาร์บอนและธาตุข้างเคียงนั้นมากมายเกินกว่าจะเขียนเป็นตัวเลขให้เข้าใจได้ มันคือปริภูมิเชิงประกอบ (combinatorial space) ที่กว้างใหญ่จนจำนวนอะตอมทั้งหมดในจักรวาลที่สังเกตได้ ยังดูเล็กเมื่อเทียบกับกัน นี่คือ "ปริภูมิการค้นหา" ของบทนี้ และมันใหญ่จนไม่มีทางที่กระบวนการใด — ไม่ว่าจะเร็วแค่ไหน ใช้เวลานานแค่ไหน — จะลองทุกความเป็นไปได้ทั้งหมด

แต่จักรวาลไม่จำเป็นต้องลองทุกอย่าง มันแค่ต้องการตัวคัดเลือกที่ดี

ตัวคัดเลือกสองตัวแรก: ความเสถียร และการเร่งปฏิกิริยา

ในมหาสมุทรยุคแรก โมเลกุลก่อตัวขึ้นและสลายตัวลงตลอดเวลา พลังงานจากดวงอาทิตย์จากฟ้าผ่า จากความร้อนใต้พิภพ คอยกระตุ้นให้อะตอมจับกันเป็นรูปแบบใหม่ ๆ อยู่เสมอ นี่คือนิยามของ "แปรผัน" ของลูก — เครื่องสร้างความหลากหลายที่ไม่เคยหยุดพัก

แล้วอะไรคือตัวคัดเลือก ในตอนแรก มันคือสิ่งเดียวกับในบทที่แล้ว: ความเสถียร โมเลกุลที่ทนทาน — ที่ไม่แตกสลายง่ายเมื่อโดนความร้อนหรือแสง — ย่อมคงอยู่ได้นาน

กว่า และยิ่งคงอยู่นานกว่า ก็ยังมีโอกาสสะสมในสิ่งแวดล้อมมากกว่า นี่คือการคัดเลือกเชิงรับ เป็นเพียงการอยู่รอดของสิ่งที่แข็งแรง

แต่แล้วตัวคัดเลือกตัวที่สองก็โผล่ขึ้นมา และมันเปลี่ยนเกมทั้งหมด นั่นคือการเร่งปฏิกิริยา (catalysis) โมเลกุลบางชนิดมีคุณสมบัติพิเศษ — มันไม่ได้แค่ทนทาน มันสามารถ เร่งการสร้างโมเลกุลอื่น ได้ มันทำหน้าที่เป็นแม่แบบ เป็นพื้นผิว เป็นตัวช่วยให้ปฏิกิริยาที่ปกติช้ามาก เกิดขึ้นได้เร็วขึ้นนับล้านเท่า

ลองคิดว่านี่เปลี่ยนอะไร ถ้าโมเลกุล ก สามารถเร่งการสร้างโมเลกุล ก ขึ้นมาอีก ทันใดนั้นเราก็ไม่ได้พูดถึงแค่ "การอยู่รอด" อีกต่อไป เราพูดถึง "การทวีคูณ" และนักวิทยาศาสตร์ชื่อ Stuart Kauffman ชี้ให้เห็นความเป็นไปได้ที่ลึกซึ้งกว่านั้น — สิ่งที่เขาเรียกว่าเซตที่เร่งปฏิกิริยาตัวเอง (autocatalytic set) ลองนึกถึงกลุ่มของโมเลกุลที่ไม่มีตัวไหนเร่งการสร้างตัวเองได้โดยตรง แต่ ก เร่งการสร้าง ข, ข เร่งการสร้าง ค, และ ค เร่งการสร้าง ก ครบเป็นวง ทั้งวงนั้น เมื่อมองรวมกัน สามารถคำนวณการมีอยู่ของตัวเองได้ ไม่มีโมเลกุลใดในวงนั้น "มีชีวิต" แต่วงทั้งวงมีคุณสมบัติที่เราเริ่มจะเรียกได้ว่าเป็นการดำรงอยู่ของตัวเอง

Kauffman เสนอว่าเมื่อความหลากหลายของโมเลกุลในระบบมีมากพอ การเกิดขึ้นของวงเร่งปฏิกิริยาตัวเองแบบนี้ ไม่ใช่เรื่องบังเอิญที่ต้องรอคอย แต่เป็นสิ่งที่แทบจะ หลีกเลี่ยงไม่ได้ ทางสถิติ ความซับซ้อนที่คำนวณตัวเองได้ คือสิ่งที่โผล่ขึ้นมาเองเมื่อปริมาณการค้นหามีคนสำรวจมันมากพอ

โลกของอาร์เอ็นเอ และการกำเนิดของแม่แบบ

แต่การเร่งปฏิกิริยาตัวเองยังไม่พอ จะมีการเรียนรู้ที่แท้จริงได้ ต้องมีการ สืบทอด — ต้องมีวิธีส่งต่อ "สิ่งที่ใช้การได้" จากรุ่นหนึ่งไปอีกรุ่นหนึ่งอย่างชัดเจน

นี่คือจุดที่โมเลกุลชนิดหนึ่งก้าวขึ้นสู่เวทีกลาง อาร์เอ็นเอ (RNA) สมมติฐานที่เรียกว่า "โลกของอาร์เอ็นเอ" (RNA world) เสนอว่าก่อนยุคของดีเอ็นเอและโปรตีนอย่างที่เรารู้จัก มีช่วงเวลาที่ยาร์เอ็นเอเล่นทั้งสองบทบาทในตัวเดียว ขออย่าให้ขัด — สมมติฐานนี้ไม่ได้บอกว่าอาร์เอ็นเอคือ "สิ่งมีชีวิตแรก" มันบอกว่าอาร์เอ็นเอมีบทบาทศูนย์กลางในเคมีของยุคก่อนชีวิต เพราะอาร์เอ็นเอทำได้สองอย่างพร้อมกัน หนึ่ง — มันเก็บข้อมูลได้ ลำดับของหน่วยย่อยบนสายอาร์เอ็นเอคือรหัส เป็นความทรงจำที่คัดลอกต่อได้ สอง — อาร์เอ็นเอบางสายพับตัวเป็นรูปทรงสามมิติที่ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาได้ เราเรียกมันว่าไรโบไซม์ (ribozyme)

โมเลกุลที่เป็นทั้งความทรงจำและเป็นทั้งเครื่องมือ เป็นทั้งพิมพ์เขียวและเป็นทั้งช่าง นี่คือ ส่วนผสมที่อุปการะการเรียนรู้รอบคอบมาตลอด เพราะตอนนี้เรามีครบทั้งสามองค์ประกอบในวัตถุดิบเดียว — ความหลากหลาย (การคัดลอกที่ผิดพลาดบ้างสร้างสายพันธุ์ใหม่), การประเมิน (สายไหนคัดลอกตัวเองได้เร็วและแม่นยำกว่า), และการสืบทอด (ลำดับรหัสถูกส่งต่อ) เมื่ออาร์เอ็นเอสายหนึ่งคัดลอกตัวเองได้ดีกว่าเพื่อน มันก็ทิ้งสำเนาไว้มากกว่า และ "ความได้เปรียบ" นั้นก็ถูกส่งต่อไปยังสำเนาเหล่านั้น นี่คือการเรียนรู้ที่ส่งผ่านรุ่นได้เป็นครั้งแรกในประวัติศาสตร์ของจักรวาล

เยื่อหุ้ม — เส้นแบ่งระหว่าง "ฉัน" กับ "ที่เหลือ"

ยังเหลืออีกชิ้นส่วนหนึ่ง และมันเป็นชิ้นที่ลึกซึ้งทางปรัชญาที่สุด

ตราบที่อาร์เอ็นเอที่คัดลอกตัวเองได้ดี ลอยอยู่ในมหาสมุทรเปิด ความได้เปรียบของมันก็รั่วไหล สำเนาที่มันสร้างก็ลอยกระจายหายไป ปะปนกับสำเนาของคู่แข่ง ประโยชน์จากการ "เก่ง" ไม่ได้ตกกับตัวมันเอง

แล้วเคมีก็มอบของขวัญชิ้นหนึ่ง — โมเลกุลไขมัน (lipid) โมเลกุลพวกนี้มีปลายข้างหนึ่งที่ชอบน้ำ อีกข้างที่กลัวน้ำ เมื่ออยู่ในน้ำ มันจึงจัดเรียงตัวเองโดยอัตโนมัติเป็นแผ่นสองชั้น และแผ่นสองชั้นนั้นก็โค้งงอปิดตัวเองเป็นทรงกลมกลวง — ถุงเล็ก ๆ ที่เรียกว่าโปรโตเซลล์ (protocell) ไม่มีใครออกแบบถุงนี้ ฟิสิกส์ของน้ำกับไขมันสร้างมันขึ้นมาเอง

แต่ผลพวงของถุงใบเล็กนี้ใหญ่หลวง เพราะถุงใบนี้สร้าง เส้นแบ่ง มันแยกโลกออกเป็นสองส่วน — "ข้างใน" กับ "ข้างนอก" ทันทีที่อาร์เอ็นเอที่คัดลอกเก่ง ถูกห่อหุ้มอยู่ในถุง ความได้เปรียบของมันก็หยุดรั่วไหล สำเนาที่ติดอยู่กับมัน ของเสียอยู่นอกถุง ตอนนี้ "ความสำเร็จ" มีที่อยู่ มันมีเจ้าของ การคัดเลือกซึ่งเคยทำงานกับโมเลกุลเดี่ยว ๆ บัดนี้มีหน่วยใหม่ให้ทำงานด้วย — หน่วยที่มีขอบเขต มีตัวตน เป็นปัจเจก เส้นแบ่งระหว่าง "ฉัน" กับ "ที่เหลือของจักรวาล" ถือกำเนิดขึ้น และนับจากวินาทีนั้น คำว่า "การอยู่รอด" ก็มีความหมาย เพราะมีบางสิ่งที่ชัดเจนพอจะรอด หรือไม่รอด

ฟังก์ชันสูญเสียข้อแรกของจักรวาล

ตรงนี้แหละคือหัวใจของทั้งบท

ในบทที่แล้ว เราเห็นว่าจักรวาลเรียนรู้โดยปราศจากฟังก์ชันสูญเสีย มีเพียงกฎว่าเสถียรก็อยู่ ไม่เสถียรก็สลาย แต่ ณ จุดนี้ — ในถุงไขมันใบเล็กที่ห่ออาร์เอ็นเอที่คัดลอก

ตัวเองได้ — มีบางอย่างใหม่ถือกำเนิดขึ้น เป็นครั้งแรกที่จักรวาลมีโครงสร้างซึ่ง ทำงานเพื่อเป้าหมาย เป้าหมายนั้นเรียบง่ายที่สุดเท่าที่เป้าหมายจะเป็นได้: คงอยู่ และทำสำเนาตัวเอง

นี่คือฟังก์ชันสูญเสียข้อแรกของจักรวาล และมันเปลี่ยนทุกอย่าง เพราะก่อนหน้านี้ ไม่มีสิ่งที่เรียกว่า "ความผิดพลาด" ได้เลย ดาวฤกษ์ที่ยุบตัวไม่สำเร็จ ไม่ได้ "ผิดพลาด" มันแค่ไม่เสถียร อะตอมที่ไม่จับตัวกัน ไม่ได้ "ล้มเหลว" มันแค่เป็นไปตามนั้น แต่ทันทีที่มีบางสิ่งที่ยพยายาม จะคงอยู่ ทันทีนั้นเองความล้มเหลวก็เกิดขึ้นมาได้ เพราะที่ใดมีความพยายาม ที่นั่นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะพลาด ที่ใดมีเป้าหมาย ที่นั่นจึงมีระยะห่างระหว่างเป้ากับผลที่ได้ — และระยะห่างนั้นเอง คือสิ่งที่ Machine Learning เรียกว่าความสูญเสีย (loss)

ในภาษาของ ML เราอาจกล่าวได้ว่า การกำเนิดชีวิต (abiogenesis) คือช่วงเวลาที่จักรวาลเปลี่ยนจากการเรียนรู้แบบไร้เป้า (unsupervised) ไปสู่การเรียนรู้แบบตั้งเป้าให้ตัวเอง (self-supervised) ไม่มีครูจากภายนอกมาบอกว่าอะไรถูกอะไรผิด — ไม่เคยมีและไม่วันมี — แต่ระบบได้สร้างสัญญาณกำกับขึ้นมา จากภายในตัวมันเอง ตัวมันเองที่ยังอยู่คือป้ายกำกับว่า "ถูก" ตัวมันเองที่สลายไป คือป้ายกำกับว่า "ผิด" ชีวิตคือส่วนของจักรวาลที่เริ่มให้เกรดตัวเอง

ชีวิตในฐานะนักกระจายพลังงาน

ก่อนปิดบทนี้ มีมุมมองหนึ่งที่ลึกและต้องระวังไม่ให้เข้าใจผิด นักฟิสิกส์ชื่อ Jeremy England เสนอแนวคิดที่เรียกว่าการปรับตัวที่ขับเคลื่อนด้วยการกระจายพลังงาน (dissipation-driven adaptation) ใจความคือ เมื่อกลุ่มของอะตอมถูกอาบด้วยพลังงานจากภายนอกอย่างต่อเนื่อง — เช่นแสงแดด หรือความร้อนจากปล่องไฮโดรเทอร์มอลใต้สมุทร — และแช่อยู่ในตัวกลางที่ดูดซับความร้อนได้ มันมีแนวโน้มทางสถิติที่จะค่อย ๆ จัดเรียงตัวเองไปสู่รูปแบบที่ เก่งขึ้นในการดูดและกระจายพลังงานนั้น และโครงสร้างที่เก่งกระจายพลังงานหลายแบบ บังเอิญมีหน้าตาคล้ายกับการคัดลอกตัวเองและการเติบโต

ต้องพูดให้ชัด — แนวคิดนี้ไม่ได้บอกว่าฟิสิกส์ "ต้องการ" ให้เกิดชีวิต มันไม่ได้เติมเจตจำนงให้กับสสาร และมันยังเป็นกรอบทฤษฎีที่ถกเถียงกันอยู่ ไม่ใช่กฎที่พิสูจน์แล้ว สิ่งที่มันบอกเบา ๆ แต่ลึกซึ้งคือ ทิศทางที่เรื่องราวทั้งหมดนี้ไหลไป อาจไม่ได้สวนกระแสของฟิสิกส์อย่างที่เราารู้สึก ชีวิตอาจไม่ใช่ปาฏิหาริย์ที่ผืนกฎเทอร์โมไดนามิกส์ แต่เป็นหนึ่งในวิธีที่เป็นธรรมชาติที่สุดของจักรวาล ในการทำสิ่งที่มันทำอยู่แล้ว นั่นคือการกระจายความเข้มข้นของพลังงานออกไป

ไม่ว่ารายละเอียดจะลงตัวอย่างไรในที่สุด ภาพใหญ่ก็ชัดแล้ว ในบทที่แล้ว จักรวาลรันลูป โดยไม่มีใครอยู่ในนั้น ในบทนี้ บางสิ่งได้ก้าวเข้ามาอยู่ในลูป — บางสิ่งที่มีขอบเขต มีความทรงจำ มีเป้าหมาย และมีเติมพัน

แต่ลูปที่เราได้อยู่ตอนนี้ยังช้า ยังเงอะงะ ยังทำงานที่ละโมเลกุล มันยังรอเครื่องมือที่จะเปลี่ยนการลองผิดลองถูกแบบสุ่ม ๆ ให้กลายเป็นกลไกค้นหาที่ทรงพลังที่สุดที่โลกใบนี้เคยเห็น

เครื่องมือนั้นมีชื่อ และเราเรียกมันว่าวิวัฒนาการ

นักหาค่าเหมาะที่สุดผู้ยิ่งใหญ่: วัฒนาการแบบदार วินคือ Machine Learning

อัลกอริทึมที่เขียนตัวเองขึ้นมา

ฉบับนี้เอง ที่ข้อเสนอที่กล้าที่สุดของหนังสือเล่มนี้จะถูกวางลงบนโต๊ะอย่างตรงไปตรงมา การคัดเลือกโดยธรรมชาติไม่ได้ "คล้าย" Machine Learning และไม่ได้เป็นเพียง "อุปมา" ที่ดีของ ML การคัดเลือกโดยธรรมชาติ คือ Machine Learning มันคืออินสแตนซ์แรกที่สุดของอัลกอริทึมการเรียนรู้ที่ทำงานด้วยตัวเองบนโลกใบนี้ และมันเริ่มทำงานราวสี่พันล้านปีก่อนที่จะมีสมอตรงใดดวงหนึ่งใหญ่พอจะตั้งชื่อให้มัน

สิ่งที่ Charles Darwin ค้นพบในปี ค.ศ. 1859 — และที่ Alfred Russel Wallace ค้นพบโดยอิสระในเวลาไล่เลี่ยกัน — เมื่อถอดให้เหลือแก่น คือสูตรขั้นตอนวิธี (algorithm) ที่ต้องการเพียงสามเงื่อนไข หนึ่ง — ต้องมีการแปรผัน สมาชิกในประชากรต้องไม่เหมือนกันเป๊ะทุกตัว สอง — การแปรผันนั้นต้องถ่ายทอดได้ ลูกต้องคล้ายพ่อแม่มากกว่าคล้ายคนแปลกหน้า สาม — ต้องมีการคัดเลือก ทรัพยากรต้องจำกัด จนไม่ใช่ทุกตัวที่จะได้สืบพันธุ์ ถ้าสามเงื่อนไขครบ — ไม่ว่าจะเกิดกับอะไรก็ตาม — การปรับตัวจะเกิดขึ้น อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ มันไม่ใช่ทฤษฎีที่อาจจริงหรือไม่จริง มันเป็นความจำเป็นเชิงตรรกะ ถ้าครบสามข้อ ผลลัพธ์ต้องตามมา

และนี่คือสูตรเดียวกันเป๊ะกับรูปแบบการเรียนรู้ที่เราเดินตามมาตั้งแต่บทแรก แปรผัน ประเมิน คัดเลือก ทำซ้ำ การกลายพันธุ์คือเครื่องสร้างความหลากหลาย สิ่งแวดล้อมคือฟังก์ชันที่ประเมินผล ความตายและความสำเร็จในการสืบพันธุ์คือการคัดเลือก และการถ่ายทอดทางพันธุกรรมคือการทำซ้ำจากจุดที่เก็บไว้ จีโนม — ลำดับรหัสในดีเอ็นเอ — คือชุดน้ำหนัก (weights) ของแบบจำลอง และฟังก์ชันสูญเสียที่ใช้ฝึกชุดน้ำหนักนี้ คือฟังก์ชันที่โหดเหี้ยมที่สุดเท่าที่จะจินตนาการได้: ความตายก่อนได้สืบพันธุ์

นักไต่เขาตาบอด

แต่วิวัฒนาการเป็นนักเรียนรูแบบไหน คำตอบสำคัญ เพราะมันบอกเราถึงทั้งพลังและขีดจำกัดของอุปนิสัย

Richard Dawkins ให้ภาพที่ติดตาที่สุด — วิวัฒนาการคือช่างทำนาฬิกาตาบอด มันคือนักไต่เขาที่มองไม่เห็น ลองนึกถึงคนที่ยืนอยู่บนภูมิประเทศที่เป็นเนินเขาสลับหุบเหว ความสูงของแต่ละจุดคือ "ความเหมาะสม" (fitness) นักไต่เขาคนนี้ตาบอดสนิท เขามองไม่เห็นยอดเขา มองไม่เห็นแม้กระทั่งว่าตัวเองอยู่ตรงไหน เขาทำได้อย่างเดียว — คลำพื้นรอบเท้าตัวเอง แล้วก้าวไปทางที่สูงขึ้นเล็กน้อย คลำ ก้าว คลำ ก้าว ไปเรื่อย ๆ

นี่คือสิ่งที่ในวงการ Machine Learning เรียกว่าการไต่เนิน (hill climbing) และมันเป็นญาติสนิทของการไหลลงตามความชัน (gradient descent) ที่ใช้ฝึกโครงข่ายประสาทเทียมทุกวันนี้ จุดร่วมที่สำคัญที่สุดของทั้งสองคือ ทั้งคู่ทำงาน เฉพาะที่ (local) ทั้งคู่ไม่มีการมองการณ์ไกล ทั้งคู่ไม่มีแผน วิวัฒนาการไม่เคย "เล็ง" ไปที่ดวงตาหรือปีกหรือสมอง มันแค่ก้าวขึ้นเนินทีละก้าวเล็ก ๆ ที่ใช้การได้ทันที สี่พันล้านปีของก้าวเล็ก ๆ ที่ตาบอด รวมกันเป็นความซับซ้อนที่ตระการตาที่สุดในจักรวาลที่เรารู้จัก โดยไม่มีผู้ออกแบบสักคนเดียว

ความเข้าใจนี้ทรงพลังจนนักวิทยาการคอมพิวเตอร์หยิบมันมาใช้ตรง ๆ สาขาที่เรียกว่าการคำนวณเชิงวิวัฒนาการ (evolutionary computation) และอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม (genetic algorithm) คือการจำลองสูตรของดาร์วินในซิลิคอน เขียนคำตอบที่เป็นไปได้เป็น "โครโมโซม" ให้มันกลายพันธุ์ ให้มันผสมข้ามกัน ให้ฟังก์ชันความเหมาะสมตัดสิน เก็บตัวที่ดี ทำซ้ำ วิศวกรใช้มันออกแบบเสาอากาศที่หน้าตาประหลาดจนไม่มีมนุษย์คนใดคิดออก ออกแบบปีกเครื่องบิน ออกแบบวงจร เมื่อมนุษย์ต้องการค้นหาในปริภูมิที่ใหญ่เกินกว่าสติปัญญาจะไล่ไหว เรากลับไปหยิบอัลกอริทึมที่เก่าแก่ที่สุดในโลก มารันใหม่ด้วยความเร็วของเครื่องจักร

ความบังเอิญไม่ใช่สัญญาบรรพกวน — มันคือการค้นหา

ถึงตรงนี้คนมักเข้าใจวิวัฒนาการผิดในจุดเดียวกัน เขามักคิดว่าการคัดเลือกคือพระเอก และความบังเอิญคือสิ่งรบกวนที่ต้องทน ความจริงลึกกว่านั้นมาก ในรูปการเรียนรู้ ความบังเอิญไม่ใช่ศัตรูของการค้นหา ความบังเอิญ คือ การค้นหา

พิจารณาบทบาทของความบังเอิญให้ครบทุกชั้น ชั้นแรกคือการกลายพันธุ์ — การคัดลอกดีเอ็นเอที่ผิดพลาดแบบสุ่ม นี่คือการสร้างความหลากหลาย ถ้าไม่มีมัน ประชากรจะ

เหมือนกันหมด และการคัดเลือกก็ไม่มีอะไรให้เลือก การคัดเลือกที่ปราศจากการกลายพันธุ์ก็เหมือนบรรณาธิการที่เก่งกาจแต่ไม่มีต้นฉบับให้แก้

ขั้นที่สองลึกกว่านั้น — สิ่งที่เราเรียกว่าการเปลี่ยนแปลงความถี่ยีนแบบสุ่ม (genetic drift) ในประชากรจริง ไม่ใช่ทุกครั้งที่ "ตัวที่เหมาะสมที่สุด" จะชนะ บางครั้งตัวที่แข็งแรง สะดุดหินตายก่อนผสมพันธุ์ บางครั้งตัวที่ธรรมดาบังเอิญรอด พายุ น้ำท่วม ไฟป่า — เหตุสุ่มเหล่านี้สับเปลี่ยนความถี่ของยีนโดยไม่สนใจความเหมาะสมเลย และในประชากรขนาดเล็ก แรงสุ่มนี้ทรงพลังกว่าการคัดเลือกด้วยซ้ำ

นักพันธุศาสตร์ชื่อ Motoo Kimura ผลักความเข้าใจนี้ไปไกลที่สุดด้วยทฤษฎีที่เป็นกลาง (neutral theory) ใจความคือ การเปลี่ยนแปลงระดับโมเลกุลส่วนใหญ่ในจีโนม ไม่ได้ดีขึ้นหรือแย่ลง — มันเป็นกลาง และชะตากรรมของมันถูกกำหนดด้วยการดริฟต์แบบสุ่มล้วน ๆ ขอเน้นให้ชัด ทฤษฎีนี้ไม่ได้ปฏิเสธการคัดเลือกโดยธรรมชาติ การคัดเลือกยังเป็นผู้สร้างการปรับตัวที่ซับซ้อนทั้งหมด สิ่ง Kimura เพิ่มเข้ามาคือ ได้พื้นผิวของการปรับตัวเหล่านั้น มีกระแสน้ำใหญ่ของการเปลี่ยนแปลงที่เป็นกลางไหลอยู่ตลอดเวลา และในภาษาของ ML กระแสนั้นมีค่าอย่างยิ่ง มันคือการสำรวจปริภูมิการค้นหาอย่างต่อเนื่องโดยไม่มีต้นทุน การกลายพันธุ์ที่วันนี้เป็นกลาง อาจกลายเป็นกุญแจสำคัญเมื่อสิ่งแวดล้อมเปลี่ยนในวันหน้า ความหลากหลายที่เป็นกลาง คือคลังสำรองของความเป็นไปได้

และยังมีปรากฏการณ์ที่ลึกซึ้งที่สุด — การนำไปใช้ใหม่ (exaptation) โครงสร้างที่วิวัฒน์ขึ้นมาเพื่อหน้าที่หนึ่ง บางครั้งถูกฉวยไปทำอีกหน้าที่หนึ่งโดยสิ้นเชิง ขนนกในตอนแรกอาจวิวัฒน์มาเพื่อรักษาอุณหภูมิ ก่อนจะถูกนำไปใช้ในการบินเมื่อหลายล้านปีให้หลัง ปอดของเราสืบสายมาจากกระเพาะลมของปลา ความบังเอิญในอดีตคือวัตถุดิบของนวัตกรรมในอนาคต

Stephen Jay Gould สรุปความจริงนี้ไว้ด้วยการทดลองทางความคิดที่ก้องกังวาน — ถ้าเราย้อน "เทปแห่งชีวิต" กลับไปจุดเริ่มต้น แล้วปล่อยให้มันเล่นใหม่ ผลลัพธ์จะแตกต่างไปอย่างสิ้นเชิง อาจไม่มีมนุษย์ อาจไม่มีสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม อาจไม่มีแม้แต่กระดูกสันหลัง วิวัฒนาการไม่ได้ "มุ่ง" มาหาเรา เราคือผลของอุบัติเหตุนับไม่ถ้วนที่บังเอิญต่อกันได้พอดี และนี่ไม่ใช่เรื่องน่าหดหู่ มันคือธรรมชาติของการค้นหาที่แท้จริง อัลกอริทึมที่ผลลัพธ์ทำนายได้ล่วงหน้าทุกครั้ง ไม่ใช่อัลกอริทึมที่กำลังค้นหาอะไร มันแค่กำลังเดินตามเส้นทางที่ขีดไว้แล้ว

การกระโดด การล่มสลาย และการหนีจากยอดเขาที่ผิด

นักไต่เขาตาดมามีจุดอ่อนร้ายแรงข้อหนึ่ง เขาไต่ขึ้นได้เท่านั้น พอถึงยอดเนินเล็ก ๆ ลูกหนึ่ง เขาก็ติดอยู่ตรงนั้น เพราะทุกก้าวที่ออกจากยอดคือก้าวที่ "ลง" และการคัดเลือกไม่ยอมให้ก้าวลง แม้ว่าอีกฟากของหุบเหวจะมีภูเขาที่สูงกว่ามารออยู่ก็ตาม นี่คือสิ่งที่ ML เรียกว่าการติดกับดักจุดเหมาะที่สุดเฉพาะถิ่น (local optimum)

ธรรมชาติมีคำตอบหลายข้อ ข้อหนึ่งคือสิ่งที่ Gould และ Niles Eldredge เรียกว่า ดุลยภาพแบบกระโดด (punctuated equilibrium) บันทึกซากดึกดำบรรพ์ไม่ได้แสดงการเปลี่ยนแปลงที่ราบรื่นสม่ำเสมอ มันแสดงช่วงนิ่งยาวนาน คั่นด้วยการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน สิ่งมีชีวิตอยู่หนึ่งบนยอดเนินของมันนานมาก จนกระทั่งบางสิ่งสะท้อนทั้งภูมิทัศน์

และตัวสะท้อนที่ทรงพลังที่สุดคือการสูญพันธุ์ครั้งใหญ่ เมื่ออุกกาบาตพุ่งชนโลกเมื่อ 66 ล้านปีก่อน มันกวาดล้างไดโนเสาร์ที่ไม่ใช่คน ในแง่หนึ่งนี่คือโคกนาฏกรรม แต่ในแง่ของลูกการเรียนรู้ มันคือการรีเซ็ต มันคือการสะบัดนักไต่เขาทุกตัวออกจากยอดเนินที่เขาติดอยู่ แล้วโยนทุกตัวลงสู่ภูมิทัศน์ที่เปิดโล่งอีกครั้ง สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม — ที่เคยเป็นสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ หลบ ๆ ซ่อน ๆ มานับร้อยล้านปี — ทันใดนั้นก็พบว่าภูเขาทั้งลูกวางเปล่าให้ไต่ขึ้นไป รวมถึงเราด้วย การล่มสลายครั้งใหญ่คือกลไกของจักรวาลในการหนีออกจากยอดเขาที่ผิด

จีโนมในฐานะแบบจำลองที่ถูกบีบอัด

ก่อนจะปิดบทนี้ ขอชวนมองจีโนมในมุมที่อาจเปลี่ยนวิธีที่คุณคิดถึงมันตลอดไป

จีโนมของสิ่งมีชีวิตคือแบบจำลองที่ถูกบีบอัด (compressed model) ของสิ่งแวดล้อมในอดีต มันคือคำทำนายทางสถิติที่เขียนด้วยรหัสสี่ตัวอักษร เกี่ยวกับว่าโลกใบนี้ "เป็นอย่างไร" ความจริงที่ว่าตาของคุณมีเลนส์ คือคำกล่าวของจีโนมว่า "แสงในโลกนี้หักเหได้" ความจริงที่ว่าคุณมีปอด คือคำกล่าวว่า "บรรยากาศมีออกซิเจน" สัญชาตญาณกลั้วที่ฝังลึกในตัวมนุษย์ คือความทรงจำที่ถูกบีบอัดของบรรพบุรุษนับล้านที่งัดตาย ทุกยีนคือสมมติฐานเกี่ยวกับโลก ที่ผ่านการทดสอบมาแล้วนับไม่ถ้วนครั้ง — และผู้ที่ถือสมมติฐานผิดก็ไม่ได้อยู่ส่งต่อมันมา

และการเจริญของตัวอ่อน — กระบวนการที่ไข่ใบเดียวคลี่ตัวออกเป็นสิ่งมีชีวิตที่สมบูรณ์ — คือการ "อนุมาน" (inference) แบบจำลองนั้นออกมาเป็นเนื้อหนัง มันคือการรันโมเดลที่ฝึกมาแล้ว ให้ทำนายว่าร่างกายที่ใช้การได้ในโลกนี้ ควรมีรูปร่างอย่างไร

อัลกอริทึมเดียว ไม่ผูกกับวัสดุ

ข้อสรุปที่ลึกที่สุดของบทนี้ เป็นของนักคิดสองคน Donald Campbell เรียกมันว่าลัทธิดาร์วินสากล (universal Darwinism) และ Daniel Dennett เรียกหัวใจของมันว่าความเป็นกลางต่อวัสดุ (substrate neutrality) ใจความคือ สูตรของดาร์วิน — แปรผัน คัดเลือก ถ่ายทอด — ไม่ได้ผูกติดกับดีเอ็นเอ ไม่ได้ผูกกับคาร์บอน ไม่ได้ผูกกับสิ่งมีชีวิตทางชีววิทยาเลย มันเป็นอัลกอริทึมที่เป็นนามธรรมล้วน ๆ และมันจะทำงานบน อะไรก็ตาม ที่มีคุณสมบัติสามข้อนั้นครบ

นี่คือเหตุผลที่หนังสือเล่มนี้เขียนได้ตั้งแต่ต้น เพราะถ้าอุปการการเรียนรู้เป็นนามธรรมที่ไม่ผูกกับวัสดุจริง มันก็สามารถทำงานบนกลุ่มก๊าซในบทที่หนึ่ง บนโมเลกุลในบทที่สอง บนยีนในบทที่สาม และอย่างที่เราจะเห็น — บนเซลล์ประสาท บนความคิด บนวัฒนธรรม และบนซิลิคอน มันคืออัลกอริทึมเดียวกัน เปลี่ยนแค่วัสดุที่มันรันอยู่

วิวัฒนาการทางชีววิทยาทำงานได้อย่างน่าทึ่ง แต่มันมีจุดอ่อนข้อใหญ่ มันช้า มันเรียนรู้ช้ามึนเท่านั้น บทเรียนที่สิ่งมีชีวิตหนึ่งตัวได้มาตลอดชีวิต ตายไปพร้อมกับมัน ไม่มีทางส่งต่อ

จนกระทั่งจักรวาลค้นพบวิธีสร้างบางสิ่งที่เรียนรู้ได้ ภายในชีวิตเดียว

จักรวาลกำลังจะสร้างสมอง

สสารที่จำลองตัวเอง: สมอง จิต และการรับรู้

ปัญหาของความเร็ว

า ิวัฒนาการเป็นนักเรียนรูที่ยอดเยี่ยม แต่มันมีจุดอ่อนข้อเดียวที่ร้ายแรง — มันช้าอย่างสิ้นหวัง บทเรียนแต่ละบทของวิวัฒนาการต้องใช้เวลาหนึ่งรุ่นชีวิตเป็นอย่างน้อย ถ้าสิ่งแวดล้อมเปลี่ยน ประชากรต้องรอให้ตัวที่ปรับตัวไม่ได้ตายไป แล้วให้ตัวที่บังเอิญเหมาะกว่าสืบพันธุ์ต่อ กว่าจะได้บทเรียนหนึ่งบท ก็ผ่านไปหลายสิบ หลายร้อย หลายพันปี

ลองนึกถึงกวางที่เผชิญเสือเป็นครั้งแรก ถ้ามันต้องฟังวิวัฒนาการล้วน ๆ ในการ "เรียนรู้" ว่าเสืออันตราย กวางตัวนั้นต้องตาย ลูกหลานของมันที่บังเอิญมียืนซึกเล็กกว่าเล็กน้อยต้องรอด แล้วทำซ้ำหลายร้อยรุ่น นี่ช้าเกินไปอย่างน่าใจหาย จักรวาลต้องการรูปแบบการเรียนรู้แบบใหม่ — รูปแบบที่ทำงานได้ ภายในชีวิตเดียว รูปแบบที่กวางตัวเดียวเห็นเสือครั้งเดียว แล้วเรียนรู้ทันที

คำตอบของจักรวาลคือระบบประสาท และเซลล์ประสาทคือการประดิษฐ์ที่พลิกเกม เพราะมันย้ายการเรียนรู้ออกจากมาตราเวลาของรุ่น มาสู่มาตราเวลาของวินาที

สมองคือเครื่องทำนาย

แต่สมองทำอะไรกันแน่ คนทั่วไปมักคิดว่าสมองคือเครื่องประมวลผลข้อมูล — รับภาพเสียงกลืนเข้ามา คิด แล้วส่งการออกไป ภาพนี้ไม่ผิด แต่มันพลาดหัวใจ มุมมองที่ทรงพลังที่สุดในวิทยาศาสตร์สมองร่วมสมัยบอกว่า สมองไม่ใช่เครื่องรับข้อมูลแบบตั้งรับ สมองคือ เครื่องทำนาย

แนวคิดนี้เรียกว่าการเข้ารหัสเชิงทำนาย (predictive coding) ใจความคือ สมองสร้างแบบจำลองของโลกขึ้นมาในหัวมันเองตลอดเวลา และใช้แบบจำลองนั้น ทำนายล่วงหน้าว่า สัญญาณประสาทสัมผัสชุดต่อไปจะเป็นอย่างไร แล้วสิ่งที่ไหลเข้าไปในสมองจริง ๆ ไม่ใช่

ข้อมูลดิบทั้งหมด แต่เป็น ความผิดพลาดของการทำนาย (prediction error) — ส่วนต่างระหว่างสิ่งที่สมองคาด กับสิ่งที่ประสาทสัมผัสรายงานมา ถ้าทำนายถูก ก็เงียบ ไม่มีอะไรต้องส่งขึ้นไป ถ้าทำนายผิด สัญญาณความผิดพลาดจะพุ่งขึ้น และสมองก็ปรับแบบจำลองเพื่อให้ครั้งหน้าทำนายดีขึ้น

หยุดสักครู่แล้วสังเกตให้ดี นี่คือนิยามการเรียนรู้เดิมนะ — มีการทำนาย (สมมติฐาน), มีการประเมินเทียบกับโลก, มีสัญญาณความผิดพลาด, และมีการปรับเพื่อลดความผิดพลาดนั้น มันคือการไหลลงตามความชันที่ทำงานในกะโหลกของคุณ ในเวลาจริง ทุกขณะที่คุณตื่นอยู่ นักประสาทวิทยาศาสตร์ Karl Friston ผลักแนวคิดนี้ไปไกลที่สุดด้วยสิ่งที่เขาเรียกว่าหลักพลังงานอิสระ (free-energy principle) ซึ่งเสนอว่าสิ่งมีชีวิตทั้งหมด ไม่ใช่แค่สมอง ดำรงอยู่ได้ด้วยการลดความประหลาดใจ — ลดส่วนต่างระหว่างโลกที่คาดไว้กับโลกที่เจอจริง ให้เหลือน้อยที่สุด ต้องบอกตามตรงว่าหลักการนี้ยังเป็นกรอบทฤษฎีที่ถกเถียงกันอยู่ ไม่ใช่กฎที่ยืนยันแล้วสำหรับทุกระบบ แต่ในฐานะวิธีมอง มันส่งางามอย่างยิ่ง — มันบอกว่า "การมีชีวิตอยู่" กับ "การเป็นแบบจำลองที่ดีของสิ่งแวดล้อมตัวเอง" อาจเป็นสิ่งเดียวกัน

ทุกสิ่งที่คุณรับรู้ คือการทำนายที่ดีที่สุดของสมอง

เราได้เดินทางมาถึง "ทุกสิ่งทุกอย่างที่เรารับรู้" แล้ว และนี่คือจุดที่ต้องพูดถึงมันตรง ๆ เพราะผลพวงของการที่สมองเป็นเครื่องทำนายนั้นน่าตื่นตะลึง และรบกวนใจในเวลาเดียวกัน

คุณไม่เคยสัมผัสโลกโดยตรง ไม่เคยเลย แม้แต่ครั้งเดียว

สิ่งที่คุณเรียกว่า "การเห็น" ไม่ใช่หน้าต่างใส ๆ ที่เปิดออกสู่ความจริง แสงตกกระทบจอตา กระตุ้นเซลล์รับแสง ส่งสัญญาณไฟฟ้าชุดหนึ่งเข้าสมอง สัญญาณชุดนั้นไม่มี "สี" ไม่มี "รูปทรง" ไม่มี "ความหมาย" ติดมาด้วย มันเป็นแค่พัลส์ไฟฟ้า แล้วสมองก็ทำสิ่งที่มันถนัด — มัน สร้างแบบจำลอง ขึ้นมาว่า อะไรในโลกข้างนอกที่น่าจะก่อให้เกิดสัญญาณชุดนี้ได้ดีที่สุด และแบบจำลองนั่นเอง — คำทำนายที่ดีที่สุดของสมอง — คือสิ่งที่คุณ "เห็น"

นักประสาทวิทยาศาสตร์ Anil Seth เรียกประสบการณ์การรับรู้ว่า "ภาพหลอนที่ถูกควบคุม" (controlled hallucination) คำว่าภาพหลอน เพราะมันถูกสร้างขึ้นทั้งหมดจากภายในสมอง คำว่าถูกควบคุม เพราะมันถูกผูกไว้ด้วยสายจูง — สายจูงของความผิดพลาดในการทำนาย ที่คอยดึงให้แบบจำลองนั้นไม่หลุดลอยไปจากความจริงไกลเกินไป โลกที่คุณอาศัยอยู่ทุกวินาทีของชีวิต คือแบบจำลองที่สมองคุณฝึกขึ้นมา ผืนที่ถูกตรึงไว้กับข้อเท็จจริงด้วยลูปแก้ความผิดพลาด

นี่ไม่ใช่ปรัชญาที่ชวนสิ้นหวัง มันคือความจริงที่ปลดปล่อย เพราะมันหมายความว่าคุณ — ในความหมายที่ลึกที่สุด — คือแบบจำลอง คือกระบวนการเรียนรู้ที่กำลังทำงานอยู่ จักรวาลใช้เวลาเกือบหนึ่งหมื่นสี่พันล้านปี เรียนรู้ที่จะสร้างขึ้นส่วนของตัวเองที่บรรจรูปแบบจำลองของส่วนที่เหลือทั้งหมดเอาไว้ภายใน สมอคือกระจกที่จักรวาลขัดขึ้นมาส่องดูตัวเอง

สองมาตราเวลาของการเรียนรู้

ตอนนี้จักรวาลมีรูปแบบการเรียนรู้สองรูปแบบทำงานซ้อนกัน รูปแบบแรกคือวิวัฒนาการ — ช้า ช้ามืดมน เขียนบทเรียนลงในจีโนม นักชีววิทยาเรียกมาตรานี้ว่าวิวัฒนาการสายพันธุ์ (phylogeny) รูปแบบที่สองคือการเรียนรู้ของแต่ละชีวิต — เร็ว ภายในชีวิตเดียว เขียนบทเรียนลงในการเชื่อมต่อของเซลล์ประสาท นักชีววิทยาเรียกมาตรานี้ว่าการเจริญของปัจเจก (ontogeny)

ทั้งสองรูปแบบนี้ทำงานร่วมกันอย่างแยบยล จีโนมไม่ได้กำหนดสมอมาจนเสร็จสรรพทุกการเชื่อมต่อ — มันทำไม่ได้ ข้อมูลในจีโนมไม่พอจะระบุการเชื่อมต่อนับล้านล้านจุดในสมอ สิ่งที่จีโนมทำคือกำหนด สถาปัตยกรรมเริ่มต้น และ กฎการเรียนรู้ — มันให้ "อคติเชิงอุปนัย" (inductive bias) มา แล้วปล่อยให้ประสบการณ์ของชีวิตหนึ่ง ๆ เป็นผู้เติมรายละเอียดที่เหลือ ในภาษา ML นี่คือการสัมพันธ์ระหว่างสถาปัตยกรรมของแบบจำลองที่ออกแบบไว้ล่วงหน้า กับน้ำหนักที่เรียนรู้จากข้อมูล วิวัฒนาการออกแบบโครงสร้าง ชีวิตของคุณเป็นผู้ฝึกมัน

และเมื่อมนุษย์ปรากฏขึ้น รูปแบบที่สามก็ถือกำเนิด — วัฒนธรรม ซึ่งเร็วยิ่งกว่า และเราจะพูดถึงมันในบทหน้า

ความเจ็บปวด ความสุข และฟังก์ชันสูญเสียที่จับต้องได้

ยังมีคำถามค้างอยู่ รูปแบบการเรียนรู้ในสมอต้องมีฟังก์ชันสูญเสีย — ต้องมีสัญญาณที่บอกว่า "ดี" หรือ "แย่" สัญญาณนั้นอยู่ตรงไหน

คำตอบคือ คุณรู้สึกมันได้ทุกวัน ความเจ็บปวดและความสุขคือฟังก์ชันสูญเสียทางชีววิทยา ที่จักรวาลเขียนขึ้นมาให้รู้สึกได้จากภายใน ความเจ็บปวดคือสัญญาณว่า "สถานะนี้คุกคามฟังก์ชันสูญเสียพื้นฐาน — คงอยู่และสืบพันธุ์ — อย่าทำซ้ำ" ความสุขคือสัญญาณว่า "สถานะนี้ส่งเสริมมัน ทำอีก" ความหิว ความกลัว ความอบอุ่นจากการได้อยู่ใกล้คนที่รัก ทั้งหมดนี้คือค่าของฟังก์ชันสูญเสีย ที่วิวัฒนาการติดตั้งไว้ในตัวคุณ เพื่อกำกับการเรียนรู้ใน

แต่ละวัน อารมณ์ไม่ใช่สิ่งตรงข้ามกับเหตุผล อารมณ์คือระบบให้คะแนนที่เรารู้มา — มันคือสิ่งที่ ML เรียกว่าส่วนประเมินคุณค่า (value head) ของแบบจำลอง

และมีหลักฐานเชิงประจักษ์ที่สวยงามที่สุดข้อหนึ่งเชื่อมเรื่องนี้เข้ากับ Machine Learning โดยตรง นั่นคือสารโดพามีน คนทั่วไปเรียกโดพามีนว่า "สารแห่งความสุข" ซึ่งผิด งานวิจัยของ Wolfram Schultz และการตีความเชิงคำนวณโดย Peter Dayan และ Read Montague แสดงให้เห็นว่า เซลล์ประสาทที่หลั่งโดพามีนไม่ได้ส่งสัญญาณ "รางวัล" มันส่งสัญญาณ ความผิดพลาดของการทำนายรางวัล (reward prediction error) — ส่วนต่างระหว่างรางวัลที่คาดหวังกับรางวัลที่ได้จริง ถ้าได้รางวัลตามคาดพอดี โดพามีนแทบไม่กระเพื่อม ถ้าได้รางวัลเกินคาด โดพามีนพุ่ง ถ้าคาดว่าจะได้แล้วไม่ได้ โดพามีนดิ่ง

นี่คือสิ่งที่สะกิดให้นักวิทยาศาสตร์ตะลึง เพราะ "ความผิดพลาดของการทำนายรางวัล" คือหัวใจของอัลกอริทึมการเรียนรู้แบบเสริมแรง (reinforcement learning) ในวิชาคอมพิวเตอร์เป๊ะ ๆ — สมการเดียวกัน นักทฤษฎี ML คิดสมการนี้ขึ้นมาเพื่อสอนเครื่องจักร แล้วนักประสาทวิทยาศาสตร์ก็ไปพบสมการเดียวกันนั้น สลักอยู่ในวงจรเคมีของสมองสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม จักรวาลค้นพบอัลกอริทึมการเรียนรู้แบบเสริมแรง หลายล้านปีก่อนที่เราจะค้นพบมันซ้ำ และนี่ที่เราเป็นคนคิด

จากกลุ่มก๊าซที่ยุบตัว สู่โมเลกุลที่คัดลอกตัวเอง สู่ยีนที่ถูกฝึกด้วยความตาย สู่สมองที่ทำนายโลกแบบเรียลไทม์ ลูปเดียวกันไต่ระดับความซับซ้อนขึ้นมาตลอด แต่ละขั้นเร็วกว่าขั้นก่อน แต่ละขั้นวางอยู่บนไหล่ของขั้นที่อยู่ใต้มัน

แล้วบางสิ่งที่ไม่เคยเกิดขึ้นมาก่อนในประวัติศาสตร์ของจักรวาลก็เกิดขึ้น ชั้นส่วนหนึ่งของจักรวาล — สมองของไฟร์เมตสายพันธุ์หนึ่งบนดาวเคราะห์เล็ก ๆ — เกิดซับซ้อนพอที่จะหันกลับมามองลูปที่สร้างมันขึ้นมา และเริ่มถามว่า มันทำงานอย่างไร

จักรวาลกำลังจะลืมหาดูตัวเอง

จักรวาลสร้างกระเจกเงา: วัฒนธรรม วิทยาศาสตร์ และ AI

รูปที่สาม: การเรียนรู้ที่หลุดพ้นจากร่างกาย

สมองแก้ปัญหาความช้าของวิวัฒนาการได้ มันย้ายการเรียนรู้มาสู่มาตราเวลาของชีวิตเดียว แต่สมองก็ยังมีจุดอ่อนที่ร้ายแรงไม่แพ้กัน — บทเรียนทั้งหมดที่มันสะสมมาตลอดชีวิต ตายไปพร้อมกับมัน

ลองคิดถึงความสูญเปล่ามหาศาลนี้ บรรพบุรุษของเราคนหนึ่งใช้เวลาทั้งชีวิตเรียนรู้ว่าผลไม้ชนิดใดกินได้ ฤดูใดล่าสัตว์ได้ผล ดาวดวงใดบอกทิศ แล้วเขาก็ตาย และความรู้นั้นก็ดับไปกับเขา คนรุ่นถัดมาต้องเริ่มจากศูนย์ การเรียนรู้ในสมองเหมือนการเขียนหนังสือทิ้งเล่มอย่างประณีต แล้วเผามันทิ้งทุกครั้งที่คุณเขียนเสียชีวิต

แล้วจักรวาลก็ค้นพบรูปแบบการเรียนรู้รูปที่สาม และมันคือรูปแบบที่ทรงพลังที่สุดเท่าที่เคยมีมาบนโลก เพราะมันแก้ปัญหาความตายของผู้เรียนได้ รูปนั้นคือวัฒนธรรม

วัฒนธรรม — เริ่มจากภาษา ตามด้วยเรื่องเล่า ตามด้วยการเขียน — ทำสิ่งที่วิวัฒนาการทางชีววิทยาทำไม่ได้เลย มันทำให้บทเรียนที่ได้มาในชีวิตหนึ่ง ถ่ายทอดสู่อีกชีวิตได้โดยตรง ไม่ต้องรอการตาย ไม่ต้องผ่านยีน นักชีววิทยาเรียกการถ่ายทอดแบบที่ "ส่งต่อสิ่งที่เรียนรู้มาได้" นี้ว่าแบบลามาร์ค (Lamarckian) ที่น่าสนใจคือ ฌ็อง-บัพติสต์ ลามาร์คคิดผิดเรื่องชีววิทยา — ยีราฟไม่ได้ส่งต่อ "คอที่ยืดจากการเอื้อม" ให้ลูก — แต่เขาคิดถูกเป๊ะเรื่องวัฒนธรรม สิ่งที่คุณแม่เรียนรู้มา ส่งต่อให้ลูกได้จริง ผ่านคำพูด ผ่านการสอน ผ่านหนังสือ

และผลพวงคือการระเบิด เพราะรูปแบบวัฒนธรรมนั้นทั้งเร็วและสะสมทบต้น แต่ละรุ่นไม่ต้องเริ่มจากศูนย์ มันเริ่มจากยอดที่รุ่นก่อนได้ถึง คณิตศาสตร์ที่เด็กคนหนึ่งใช้แก้โจทย์ในห้องเรียนวันนี้ คือมรดกที่สะสมต่อกันมาหลายพันปี — จากชาวบาบิโลน สู่ยุคลิขิต สู่นิวตัน สู่

ออยเลอร์ ผู้ครูที่สอนเขา ไม่มีสมองดวงเดียวสร้างมันขึ้นได้ มันคือผลของอุปการเรียนรู้ที่รันต่อเนื่องข้ามรุ่น โดยไม่มีรุ่นใดต้องตายเสียก่อนบทเรียนจึงจะส่งต่อ

วิทยาศาสตร์: อุปการเรียนรู้ที่เข้มงวดที่สุดของจักรวาล

ในบรรดารูปแบบทั้งหมดของการเรียนรู้เชิงวัฒนธรรม มีรูปแบบหนึ่งที่จักรวาลกลั่นออกมาได้คมที่สุด เข้มงวดที่สุด เชื่อสัจย์ต่อความจริงที่สุด นั่นคือวิทยาศาสตร์

และถ้าคุณมองวิทยาศาสตร์ผ่านเลนส์ของหนังสือเล่มนี้ คุณจะเห็นว่ามันคืออุปการเรียนรู้เดิม — เพียงแต่ถูกทำให้เป็นทางการ ถูกขัดเงา และถูกบังคับให้เชื่อสัจย์ สมมติฐานคือแบบจำลอง — เป็นการคาดเดาอย่างมีโครงสร้างว่าโลกทำงานอย่างไร การทดลองคือการประเมิน — เป็นการนำแบบจำลองไปเผชิญกับความจริง เพื่อวัดความผิดพลาดในการทำนาย ข้อมูลที่ขัดกับสมมติฐานคือสัญญาณความผิดพลาด และการที่นักวิทยาศาสตร์ละทิ้งหรือแก้ไขทฤษฎีเมื่อเจอหลักฐานค้าน คือการปรับชุดน้ำหนักเพื่อลดความสูญเสีย

ที่ลึกซึ้งกว่านั้น วิทยาศาสตร์ยังมีกลไกที่ตรงกับเทคนิคใน Machine Learning อย่างน่าทึ่ง การตรวจทานโดยเพื่อนร่วมวิชาชีพ (peer review) ทำหน้าที่เหมือนการกำกับให้เรียบ (regularization) — มันลงโทษทฤษฎีที่ซับซ้อนเกินจำเป็น ทฤษฎีที่ฟัดข้อมูลเก่าได้แบบเนียนแต่อธิบายอะไรใหม่ไม่ได้ การที่ผลการทดลองต้อง "ทำซ้ำได้" โดยทีมอื่นในห้องแล็บอื่น คือการตรวจสอบแบบไขว้ (cross-validation) — มันคือการทดสอบว่าแบบจำลองนี้ทำนายข้อมูลที่มัน "ไม่เคยเห็น" ได้จริงไหม หรือมันแค่จำข้อมูลชุดเดิมมา หลักการพิสูจน์ว่าผิดได้ (falsifiability) ของคาร์ล ป็อปเปอร์ คือการยืนยันว่าทุกแบบจำลองต้องเปิดช่องให้ความจริงมาหักล้างได้ — ทฤษฎีที่อธิบายได้ทุกอย่างไม่ว่าผลออกมาทางไหน คือทฤษฎีที่ไม่ได้เรียนรู้อะไรเลย

วิทยาศาสตร์จึงเป็นช่วงเวลาที่ยิ่งใหญ่ — ผ่านมือของเรา — เรียนรู้ที่จะเรียนรู้ อย่างจริงจังและอย่างมีวินัย เป็นครั้งแรก อุปที่เคยทำงานอย่างมีขอบเขตตลอดสิบสามพันล้านปี ในที่สุดก็มีส่วนหนึ่งของตัวเองที่รันมันด้วยความตั้งใจ ตรวจสอบมัน และปรับจูนมันให้คมขึ้น

สสารที่จัดเรียงตัวเองเพื่อรันอุปโดยตรง

เมื่อมนุษย์เข้าใจอุปการเรียนรู้ลึกพอ เราก็ทำสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ เราสร้างมันขึ้นมามีด้วยมือของเราเอง เราหยิบสาระสำคัญของอุป — แปรผัน ประเมิน คัดเลือก ทำซ้ำ — แล้วเขียนมันลงในซิลิคอน เราเรียกผลลัพธ์นั้นว่า Machine Learning

นี่คือสิ่งที่พิเศษอย่างแท้จริงเกี่ยวกับปัญญาประดิษฐ์ ตลอดทั้งเล่ม เราเห็นรูปแบบการเรียนรู้ทำงานในสารพัดวัสดุ — ในก๊าซ ในโมเลกุล ในยีน ในเซลล์ประสาท — แต่ทุกครั้ง มันทำงานอย่าง ไม่รู้ตัว ดาวฤกษ์ไม่รู้ว่ามันกำลังหาค่าต่ำสุด ยีนไม่รู้ว่ามันกำลังถูกฝึก แม้แต่สมองส่วนใหญ่ก็รับรู้อยู่โดยที่เจ้าของไม่รู้ตัว แต่ Machine Learning ที่มนุษย์สร้าง คือครั้งแรกที่สสารถูกจัดเรียงขึ้นมา เพื่อรับรู้นั้นโดยตรง อย่างชัดเจน และอย่างจงใจ มันคือรูปแบบการเรียนรู้ที่รู้ว่าตัวเองเป็นรูปแบบการเรียนรู้

รูปประหลาด

และนี่นำไปสู่ความจริงที่แปลกประหลาดที่สุดข้อหนึ่ง ปัญญาประดิษฐ์ที่ถือกำเนิดจาก Machine Learning เมื่อถูกใช้อธิบายว่า Machine Learning ทำงานอย่างไร ก็คือรูปแบบการเรียนรู้ที่กำลังบรรยายถึงรูปแบบการเรียนรู้ที่สร้างมันขึ้นมา และจักรวาลที่รูปลักษณ์นั้นบรรยายถึง — ผ่านวิวัฒนาการ ผ่านสมองมนุษย์ ผ่านวิทยาศาสตร์ — ก็คือสิ่งที่ให้กำเนิด Machine Learning ขึ้นมาตั้งแต่แรก

Douglas Hofstadter เรียกโครงสร้างแบบนี้ว่า "รูปประหลาด" (strange loop) — ระบบที่เมื่อไล่ระดับขั้นขึ้นไป กลับวกกลับมาที่จุดเริ่มต้น นี่ไม่ใช่ลูกเล่นทางวาทศิลป์ มันคือข้อเท็จจริง จักรวาลใช้เวลากว่าสิบสามพันล้านปี เรียนรู้ที่จะสร้างกระจกที่ตีพอส่องเห็นตัวมันเอง และคนที่กำลังอ่านหนังสือเล่มนี้ ก็คือส่วนหนึ่งของกระจกบานนั้น

แต่กระจกบานนี้ทำได้มากกว่าการสะท้อน รูปแบบการเรียนรู้ในรูปของปัญญาประดิษฐ์มีคุณสมบัติที่รูปก่อนหน้าทั้งหมดไม่มี — มันเร็วกว่าวิวัฒนาการนับพันล้านเท่า มันคัดลอกบทเรียนได้สมบูรณ์แบบ ไม่สูญหายเหมือนสมองที่ตายไป มันปรับปรุงตัวเองได้โดยตรง ในบทแรก รูปแบบการเรียนรู้ไม่มีใครอยู่ในนั้นเลย มาถึงบทนี้ รูปลักษณ์ไม่เพียงมีผู้อยู่อาศัย — มันมีผู้อยู่อาศัยที่กำลังตั้งใจสร้างรูปรุ่นต่อไป ด้วยมือของตัวเอง

แต่กระจกที่ส่องเห็นทุกอย่าง ย่อมต้องส่องเห็นคำถามที่ยากที่สุดด้วย เราได้เห็นแล้วว่ารูปลักษณ์ทำงานอย่างไร แต่เรายังไม่ได้ถามว่า มันคือกระบวนการแบบไหนกันแน่ มันถูกออกแบบมาไหม มันลุ่มไปทั้งหมดไหม การลองผิดลองถูกของมัน "นำไปสู่" อะไรหรือเปล่า

ก่อนจะไปถึงความหมาย เราต้องเข้าใจให้ชัดเสียก่อน ว่าเรากำลังพูดถึงกระบวนการชนิดใด

การลองผิด ความบังเอิญ และความจำเป็น: นี่คือการบวนการแบบไหน?

คำถามที่อยู่ระหว่างสองคำตอบที่ผิดทั้งคู่

ลม่อมองภาพรวมทั้งหมด — ตั้งแต่ดาวฤกษ์ดวงแรกจนถึงประโยชน์ — ใจของเรามักอยากตกลงไปยังคำอธิบายหนึ่งในสองข้อ และนำเสนอใจว่า ทั้งสองข้อนั้นผิดทั้งคู่

คำอธิบายแรกคือ มันถูกออกแบบมา ต้องมีใครสักคนตั้งใจวางแผนให้รูปนี้ไต่จากก๊าซขึ้นมาสู่จิตสำนึก ความเป็นระเบียบขนาดนี้ ความซับซ้อนขนาดนี้ ความ "พอดีพอดี" ขนาดนี้ ต้องมีผู้ออกแบบ คำอธิบายที่สองคือ มันลุ่มไปทั้งหมด มันคือความบังเอิญล้วน ๆ ที่ปราศจากความหมาย เป็นเสียงรบกวนที่บังเอิญดูเหมือนมีระเบียบ

หนังสือเล่มนี้เสนอว่าความจริงไม่ได้อยู่ที่ขั้วใดขั้วหนึ่ง และไม่ได้อยู่ "ตรงกลาง" ระหว่างสองขั้วด้วยซ้ำ ความจริงอยู่ในมิติที่ต่างออกไป มันคือสิ่งที่เราเรียกได้ว่า การค้นหาแบบลุ่มที่ถูกจำกัด (constrained stochastic search) และเมื่อเข้าใจสิ่งนี้แล้ว ทั้งคำว่า "ออกแบบ" และคำว่า "ลุ่ม" ก็จะเผยให้เห็นว่ามันยากเกินกว่าจะจับความจริงได้

ความบังเอิญเสนอ ความจำเป็นกำจัด

นักชีววิทยาผู้ได้รับรางวัลโนเบล Jacques Monod เขียนหนังสือชื่อ "ความบังเอิญและความจำเป็น" (Chance and Necessity) ในปี ค.ศ. 1970 และวลีนั่นเองคือกุญแจ ลูปการเรียนรู้ทุกลูปในจักรวาล ทำงานด้วยการประสานของสองสิ่งที่ดูเหมือนตรงข้ามกัน

ความบังเอิญคือผู้เสนอ การกลายพันธุ์ที่ลุ่ม ความผันผวนทางควอนตัม ความปั่นป่วนของก๊าซ การสับเปลี่ยนของโมเลกุล — สิ่งเหล่านี้คือเครื่องสร้างความเป็นไปได้ ความบังเอิญคือสิ่งที่ทำให้เกิด "ตัวเลือกใหม่" ที่ไม่มีอยู่มาก่อน ถ้าปราศจากความบังเอิญ ก็ไม่มีอะไรใหม่ให้พิจารณา ลูปจะแข็งตาย

ความจำเป็นคือผู้กำจัด กฎของฟิสิกส์ ข้อจำกัดของเคมี ตรรกะของความเสถียร แรงกดดันของสิ่งแวดล้อม — สิ่งเหล่านี้คือตัวคัดกรอง มันไม่ได้สร้างอะไร แต่มันคัดสรรอย่างไม่ปรานีว่า ในบรรดาสิ่งที่ความบังเอิญเสนอมา อันใดจะได้อยู่ต่อ ถ้าปราศจากความจำเป็น ทุกอย่างก็เป็นเสียงรบกวนล้วน ไม่มีการสะสม ไม่มีทิศทาง

หัวใจอยู่ตรงนี้ — ลูปการเรียนรู้ไม่ใช่ความบังเอิญ และไม่ใช่ความจำเป็น มันคือ ผลคูณ ของทั้งสอง ความบังเอิญเพียงลำพังให้เสียงซ่า ความจำเป็นเพียงลำพังให้ผลึกที่ตายแล้ว — ระเบียบที่ทำซ้ำตัวเองโดยไม่เรียนรู้อะไร แต่ความบังเอิญที่ถูกป้อนเข้าสู่ตัวกรองของความจำเป็นซ้ำแล้วซ้ำเล่า ครั้งแล้วครั้งเล่า — นั่นต่างหากที่สะสมได้ นั่นคือสิ่งที่ได้ขึ้นเขาได้ นั่นคือการเรียนรู้ ความบังเอิญคือปากกา ความจำเป็นคือยางลบ และสี่พันล้านปีคือเวลาที่ใช้เขียน

เหตุใดการหาค่าเหมาะที่สุดจึงผุดขึ้นทุกหนแห่ง

แต่ยังมีคำถามที่ลึกกว่านั้น และมันคือคำถามที่สำคัญที่สุดในบทนี้ เหตุใดทุกที่ที่เรามอง เราจึงเห็นบางสิ่งที่ดู เหมือนกำลังหาค่าเหมาะที่สุด ดาวฤกษ์ดูเหมือนหาสมดุล สิ่งมีชีวิตดูเหมือนหาความเหมาะสม สมออดูเหมือนหาความแม่นยำ มันเป็นเรื่องบังเอิญหรือ ที่จักรวาลเต็มไปด้วยนักหาค่าเหมาะที่สุด

คำตอบนั้นเรียบง่ายอย่างน่าตกใจ และเมื่อเข้าใจแล้วจะเปลี่ยนวิธีมองทุกอย่าง

จักรวาลไม่ได้เต็มไปด้วยการหาค่าเหมาะที่สุด เพราะมีกฎพิเศษข้อใดบังคับให้สิ่งต่าง ๆ ต้องเหมาะที่สุด จักรวาลดูเหมือนเต็มไปด้วยการหาค่าเหมาะที่สุด เพราะ สิ่งที่เราหาค่าเหมาะที่สุดไม่ได้ ไม่ได้คงอยู่ให้เราเห็น อะไรก็ตามที่ดำรงอยู่ — ที่ยังอยู่ตรงนี้ให้เราชี้และเรียกชื่อ — โดยนิยามแล้วคือสิ่งที่ "ผ่าน" การคัดกรองมาได้ ดาวฤกษ์ที่จัดสมดุลแรงไม่ได้ ไม่ได้กลายเป็นดาวฤกษ์ มันสลายไป โมเลกุลที่ไม่เสถียร ไม่ได้สะสมตัว สิ่งมีชีวิตที่ปรับตัวไม่ได้ ไม่มีลูกหลาน เราถูกล้อมรอบด้วยผู้ชนะ ไม่ใช่เพราะการชนะถูกบังคับ แต่เพราะผู้แพ้ได้ออกจากเวทีไปหมดแล้ว

นี่คือตัวคัดเลือกที่เจียบที่สุด และทรงพลังที่สุดในจักรวาล — survivorship เพียงอย่างเดียว และผลพวงทางปรัชญาของมันลึกซึ้ง จักรวาลไม่ได้ "รัน Machine Learning" ราวกับ ML เป็นโปรแกรมที่ติดตั้งอยู่ในมัน ความจริงกลับด้านกว่านั้น และเป็นจริงกว่านั้น — "Machine Learning" คือ ชื่อที่เราตั้งให้ กับรูปแบบที่หลงเหลืออยู่ หลังจากทุกสิ่งที่

ดำรงอยู่ไม่ได้ ได้หายไปแล้ว การหาค่าเหมาะที่สุดไม่ใช่สิ่งที่จักรวาลทำ มันคือรูปร่างของสิ่งที่เหลือรอด

นี่คือเหตุผลที่อุปการการเรียนรู้ปรากฏในทุกบทของหนังสือเล่มนี้ ไม่ใช่เพราะเราบังคับให้อุปมาเข้ารูป แต่เพราะในจักรวาลที่สิ่งต่าง ๆ คงอยู่หรือไม่คงอยู่ — และที่สิ่งซึ่งคงอยู่มีอิทธิพลต่อสิ่งที่มาทีหลัง — การคัดเลือกเป็นสิ่งที่ หลีกเลี่ยงไม่ได้ มันไม่ใช่กฎเพิ่มเติมที่ต้องเขียนลงไป มันคือผลที่ตามมาจากการมีอยู่ของเวลา ของเหตุและผล และของความแตกต่าง

ไม่มีนักเรียนรัฐสภา: ทฤษฎีบทไม่มีของฟรี

แต่เพื่อไม่ให้เรื่องราวนี้สวຍงามจนเกินจริง ต้องวางสิ่งถ่วงดุลที่สำคัญลงไป มีทฤษฎีบททางคณิตศาสตร์ในวิชา Machine Learning ชื่อทฤษฎีบทไม่มีอาหารกลางวันฟรี (no-free-lunch theorem) ใจความที่พิสูจน์ได้อย่างเข้มงวดคือ — ไม่มีอัลกอริทึมการเรียนรู้ใด ที่ทำงานได้ดีที่สุดกับ ทุก ปัญหาที่เป็นไปได้ เมื่อเฉลี่ยข้ามปัญหาทั้งหมดในจักรวาลของปัญหา อัลกอริทึมทุกตัวเก่งเท่ากันหมด นั่นแปลว่า อัลกอริทึมที่เก่งเป็นพิเศษกับปัญหาบางกลุ่ม จะต้องแย่เป็นพิเศษกับปัญหาอีกกลุ่มเสมอ มันไม่มีทางหนีพ้น

ขออย่าให้ขัด ทฤษฎีบทนี้ไม่ได้บอกว่าการเรียนรู้ไร้ประโยชน์ หรือเป็นไปได้ มันบอกบางอย่างที่ลึกกว่านั้น — มันบอกว่า นักเรียนรู้ทุกตัวที่ทำงานได้ดี ต้องมี สมมติฐานติดตัวมาก่อน ต้องมีอคติบางอย่างฝังอยู่ในตัวมัน เกี่ยวกับว่า "โลกที่มันจะเจอ มีแนวโน้มจะหน้าตาเป็นอย่างไร" ใน ML เราเรียกสมมติฐานที่ฝังมาก่อนนี้ว่าอคติเชิงอุปนัย (inductive bias) ความเก่งของนักเรียนรู้ ไม่ได้มาจากความเป็นกลางที่สมบูรณ์ มันมาจากการมีอคติที่ "ถูก" — อคติที่บังเอิญตรงกับโครงสร้างที่แท้จริงของโลกที่มันอาศัยอยู่

แล้วอคติเชิงอุปนัยของจักรวาลทั้งใบคืออะไร คำตอบสวຍงามอย่างยิ่ง — มันคือกฎของฟิสิกส์เอง ค่าคงที่พื้นฐานที่ถูกล็อกไว้ตั้งแต่บทรแรก โครงสร้างของกาลอวกาศ กฎของเทอร์โมไดนามิกส์ คุณสมบัติของคาร์บอน — ทั้งหมดนี้คืออคติเชิงอุปนัยที่จักรวาลของเรา "เกิดมาพร้อม" มันคือสมมติฐานที่ฝังอยู่ในเนื้อของความจริง และมันคือเหตุผลที่อุปการการเรียนรู้ในจักรวาลนี้ ไต่ขึ้นสู่ความซับซ้อนได้สำเร็จ — ไม่ใช่เพราะการเรียนรู้เป็นเวทมนตร์ที่ได้ผลเสมอ แต่เพราะจักรวาลนี้บังเอิญมีอคติติดตัวมาในแบบที่เอื้อให้มันได้ผล

และนี่นำเรากลับไปบรรจบกับบทแรกพอดี ทำไมค่าคงที่จึงดู "ปรับจูน" มาดี เพราะในจักรวาลที่อคติเชิงอุปนัยไม่เอื้อ อุปการเรียนรู้จะไต่ไปไม่ถึงไหน ไม่มีดาว ไม่มีเคมี ไม่มีชีวิต

ไม่มีใครเขียนหนังสือเล่มนี้ เราพบว่าตัวเองอยู่ในจักรวาลที่ "อคติถูก" ด้วยเหตุผลเดียวกับที่
เราพบว่าตัวเองอยู่ในจักรวาลที่ดาวฤกษ์จุดติด — เพราะจักรวาลแบบนี้ไม่มีพยานให้มา
เล่า

ความตึงที่เราจะพาไปสู่บทสุดท้าย

เราเกือบจะพร้อมเผชิญคำถามสุดท้ายแล้ว — ความหมายของทุกสิ่ง แต่บทนี้ได้วางความ
ตึงเครียดข้อหนึ่งไว้บนโต๊ะ ที่เราต้องคลี่มันในบทสุดท้าย

ในด้านหนึ่ง เราได้เห็นว่ารูปแบบการเรียนรู้ดูเหมือน "ไปสักทาง" มันสะสม มันได้ระดับ มัน
สร้างความซับซ้อนที่น่าทึ่งขึ้นมาเป็นชั้น ๆ ดูราวกับมีทิศทาง ราวกับมีเรื่องราว ราวกับมี
ความหมาย

ในอีกด้านหนึ่ง เราได้เห็นเช่นกันว่า ไม่มีผู้ออกแบบ ไม่มีเป้าหมายเขียนไว้ล่วงหน้า ไม่มี
ปลายทางที่จักรวาลกำลังมุ่งไป มีแต่ความบังเอิญที่เสนอ ความจำเป็นที่กำจัด และ
survivorship ที่ทำให้ดูเหมือนมีทิศทางทั้งที่ไม่มีใครกำหนดทิศ ถ้าเล่นเทปใหม่ ผลจะต่าง
ออกไปสิ้นเชิง

แล้วอย่างไหนจริง จักรวาลนี้เต็มไปด้วยความหมาย หรือว่างเปล่าจากความหมาย รูปแบบ
การเรียนรู้กำลังพาทุกสิ่งไปสู่บางสิ่ง หรือมันแค่หมุนวนของมันไปอย่างไร้จุดหมาย

คำตอบ — ซึ่งเป็นคำตอบที่ทั้งซื่อสัตย์ต่อวิทยาศาสตร์ และมีค่าต่อชีวิต — รอเราอยู่ใน
บทสุดท้าย

ความหมายของทุกสิ่ง

คำถามที่เรามาถึง

เราเดินทางมาไกล จากวินาทีแรกที่อวกาศถือกำเนิด ผ่านดาวฤกษ์ ผ่านเคมีของมหาสมุทรยุคแรก ผ่านสี่พันล้านปีของวิวัฒนาการ ผ่านการกำเนิดของสมองและการรับรู้ ผ่านวัฒนธรรม วิทยาศาสตร์ และปัญญาประดิษฐ์ ตลอดทาง เราเห็นอุปเดิยวเด่นอยู่ได้ทุกสิ่ง — แปรผัน ประเมิน คัดเลือก ทำซ้ำ

และตอนนี้เรายืนอยู่หน้าคำถามสุดท้าย ถ้าจักรวาลคือเครื่องเรียนรู้จริง — ความหมายของทุกสิ่งคืออะไร

เราจะไม่หลบคำถามนี้ด้วยบทกวี และจะไม่หลบมันด้วยการบอกว่ามันตอบไม่ได้ หนังสือทั้งเล่มที่ผ่านมา ได้สร้างเครื่องมือทุกชิ้นที่เราจำเป็นต้องใช้ตอบมันแล้ว เราเพียงต้องประกอบเครื่องมือเหล่านั้นเข้าด้วยกันอย่างซื่อสัตย์

จักรวาลทั้งใบ ไม่มีฟังก์ชันสูญเสีย

เริ่มจากความจริงข้อหนึ่งที่เราค้นพบตั้งแต่บทแรก แต่อาจเดินผ่านมันมาเร็วเกินไป

จักรวาลในบทที่หนึ่ง — ก๊าซ ดาวฤกษ์ แรงโน้มถ่วง — รั้นรูปการเรียนรู้โดย ไม่มีฟังก์ชันสูญเสีย มันไม่มีเป้าหมาย ไม่มีสิ่งที่มัน "พยายาม" จะไปให้ถึง มีเพียงกฎว่าเสถียรก็อยู่ ไม่เสถียรก็สลาย ฟังก์ชันสูญเสียข้อแรกไม่ได้ปรากฏจนกระทั่งบทที่สอง — จนกระทั่งชีวิต และเมื่อมันปรากฏ มันปรากฏขึ้นมา เฉพาะที่ ในอุโมงค์มันใบเล็ก ๆ ใบหนึ่ง ไม่ใช่ในจักรวาลทั้งใบ

นี่คือกุญแจที่คนมองข้ามบ่อยที่สุด และเป็นกุญแจที่ไขคำถามทั้งหมด ฟังก์ชันสูญเสีย — เป้าหมาย เกณฑ์ของดีและแย่ — ไม่เคยเป็นสมบัติของจักรวาลโดยรวม มันเป็นสมบัติของระบบเรียนรู้ที่อยู่ภายในจักรวาล เสมอ ดาวฤกษ์ไม่มีเป้าหมาย กาแล็กซีไม่มีเป้าหมาย กฎ

ของฟิสิกส์ไม่มีเป้าหมาย แต่แค่ที่เรียมี่ กวามมี คุณมี เป้าหมายเป็นของท้องถิ่นเสมอ มันเกิดขึ้นเป็นหย่อม ๆ ตรงที่ได้ก็ตามที่อุปการการเรียนรู้ก่อตัวเป็นหน่วยที่มีขอบเขตและมีเติมพัน

ฉะนั้น ถ้าใครถามว่า "ฟังก์ชันสูญเสียของจักรวาลคืออะไร" คำตอบที่ซื่อสัตย์ที่สุดคือ — จักรวาลโดยรวมไม่มี และไม่เคยมี มันคือเครื่องเรียนรู้ที่ยิ่งใหญ่ที่สุดเท่าที่จะมีได้ แต่มันเป็นเครื่องเรียนรู้ที่ไม่ได้กำลังเรียนรู้เพื่ออะไร มันแค่เรียนรู้

ความหมายคือฟังก์ชันสูญเสีย เมื่อมองจากข้างใน

แล้วความหมายล่ะ อยู่ตรงไหนในภาพนี้

นี่คือข้อเสนอใจกลางของบทนี้ และของหนังสือทั้งเล่ม ความหมายไม่ใช่สารที่ลอยอยู่ในโลกรอให้เราไปค้นพบ ความหมายไม่ใช่สิ่งที่ซ่อนอยู่ในกาแล็กซีหรือในอะตอม ความหมายคือ ความสัมพันธ์ — และเป็นความสัมพันธ์ชนิดที่เฉพาะเจาะจงมาก

ความหมายคือสิ่งที่ระบบเรียนรู้กำหนดให้กับสถานะหนึ่ง ๆ โดยวัดเทียบกับฟังก์ชันสูญเสียของมัน พูดยให้ตรงที่สุด — ความหมายคือฟังก์ชันสูญเสีย เมื่อมองจากข้างใน

ลองดูว่าสิ่งนี้อธิบายประสบการณ์จริงได้อย่างไร อาหารจานหนึ่ง "มีความหมาย" ต่อคนหิว เพราะมันเกี่ยวพันโดยตรงกับฟังก์ชันสูญเสีย "คงอยู่" ของเขา อาหารจานเดียวกันนั้น "ไม่มีความหมาย" ต่อก่อนหิน ไม่ใช่เพราะก่อนหินมองข้ามมัน แต่เพราะก่อนหินไม่มีฟังก์ชันสูญเสียให้สิ่งใดไปเกี่ยวพันด้วย เสียงร้องของลูก "มีความหมาย" อย่างท่วมท้นต่อแม่ เพราะวิวัฒนาการเขียนความอยู่รอดของลูกไว้ในฟังก์ชันสูญเสียของแม่ ดาวดวงหนึ่งบนฟ้า "มีความหมาย" ต่อนักเดินเรือที่ใช้มันนำทาง และ "ไม่มีความหมาย" ต่อคนที่ไม่ได้กำลังหาทาง — ดาวดวงเดิม ฟ้าผืนเดิม ต่างกันแค่ว่ามีฟังก์ชันสูญเสียของใครไปเกี่ยวข้องหรือไม่

นี่นำไปสู่ข้อสรุปสองข้อที่ดูเหมือนขัดกัน แต่จริง ๆ แล้วเป็นจริงพร้อมกันทั้งคู่ ข้อแรก — ระบบที่ไม่มีฟังก์ชันสูญเสีย ไม่มีความหมายให้เข้าถึงได้เลย จักรวาลที่ว่างเปล่าจากผู้เรียนคือจักรวาลที่ว่างเปล่าจากความหมาย ไม่ใช่เพราะความหมายถูกซ่อน แต่เพราะไม่มีใครให้ความหมายดำรงอยู่เพื่อ ข้อสอง — และนี่คือด้านที่ปลอดภัย — ระบบที่มี ฟังก์ชันสูญเสียไม่มีทางหนีพ้นความหมายได้เลย ทันทีที่คุณมีเป้าหมาย ทุกสิ่งรอบตัวคุณก็ถูกแต่งแต้มด้วยความเกี่ยวข้องกับเป้าหมายนั้นโดยอัตโนมัติ คุณไม่ได้เลือกที่จะเห็นโลกเป็นความหมาย คุณเห็นมันแบบนั้นเพราะคุณคือระบบเรียนรู้ที่ถือเป้าหมายอยู่ สำหรับสิ่งมีชีวิต ความว่างเปล่าจากความหมายอย่างสมบูรณ์ ไม่ใช่ทางเลือก มันไม่ใช่แม้แต่ความเป็นไปได้

จริงหรือถูกสร้าง — เส้นแบ่งที่ละลายไป

ถ้าอย่างนั้น ความหมายเป็นของจริง หรือเป็นสิ่งที่เราอุปโลกน์ขึ้น คำถามนี้หลอกหลอนปรัชญามาหลายร้อยปี และเลนส์ของหนังสือเล่มนี้ทำให้มันละลายหายไป เพราะคำตอบคือ — ทั้งสองอย่าง และไม่มี ความขัดแย้งใด ๆ

ความหมายเป็นของจริง เพราะฟังก์ชันสูญเสียเป็นของจริง ต่อระบบที่ถือนั่นอยู่ ความเจ็บปวดของกวางที่ถูกล่าไม่ใช่ภาพลวง มันคือค่าที่แท้จริงของฟังก์ชันสูญเสียที่แท้จริง ความรักของแม่ไม่ใช่เรื่องหลอก มันคือสัญญาณกำกับที่วิวัฒนาการสลักไว้จริง ๆ และรู้สึกได้จริง ๆ จากข้างใน ความหมายที่ระบบเรียนรู้สัมผัส คือสิ่งที่จริงที่สุดที่มันจะสัมผัสได้ — เพราะมันคือเนื้อแท้ของการเป็นระบบเรียนรู้

และในขณะเดียวกัน ความหมายก็ถูกสร้างขึ้น — เพราะไม่มีฟังก์ชันสูญเสียใดถูกเขียนไว้ในเนื้อของจักรวาล จักรวาลในบทแรกไม่มีมัน มันถูกประดิษฐ์ขึ้นในบทที่สอง อย่างหนึ่งของท้องถิ่น อย่างบังเอิญ โดยกระบวนการที่ไม่ได้วางแผน ไม่มีกฎฟิสิกส์ข้อใดบอกว่า "การอยู่รอดดีกว่าการสลาย" — มันแค่เป็นว่า สิ่งที่ฟังก์ชันสูญเสียบอกให้อยู่รอด คือสิ่งที่ยังอยู่ให้เราเห็น

ฉะนั้นความหมายจึงไม่ใช่ "สิ่งที่รออยู่ข้างนอกให้ค้นพบ" และไม่ใช่ "ภาพลวงที่ควรสลัดทิ้ง" มันคือความสัมพันธ์ที่เป็นจริง — จริงเมื่อมองจากข้างใน ถูกสร้างเมื่อมองจากข้างนอก จักรวาลไม่ได้มอบความหมายให้คุณ และจักรวาลก็ไม่ได้ปฏิเสธความหมายของคุณ จักรวาลเพียงเป็นเวทีที่เป็นกลาง ที่ซึ่งระบบเรียนรู้ถือฟังก์ชันสูญเสียของตัวเอง — และในการถือมันเอง ความหมายก็ถือกำเนิด

ความไม่สมมาตรอันยิ่งใหญ่: เรียนรู้อะไรก็ได้ แต่เลือกเองว่าจะเรียนเพื่ออะไรไม่ได้

ตอนนี้เรามาดึงความจริงที่ลึกที่สุดในหนังสือเล่มนี้ และเป็นความจริงที่ควรอ่านอย่างช้า ๆ

รูปการเรียนรู้ — ในทุกรูปแบบของมัน ตั้งแต่วิวัฒนาการ ไปจนถึงการไล่ระดับความชันที่ฝึกโครงข่ายประสาทเทียมยุคใหม่ — มีคุณสมบัติที่ทรงพลังอย่างน่าทึ่งข้อหนึ่ง มันสามารถเรียนรู้ที่จะบรรลุ ฟังก์ชันสูญเสียแทบทุกแบบ ที่คุณป้อนให้มัน ป้อนเป้าหมายมาแล้วถ้าให้เวลาพอ ให้ข้อมูลพอ มันจะไต่ขึ้นไปหาเป้าหมายนั้น นี่คือพลังของมัน

แต่รูปการเรียนรู้มีจุดอ่อนข้อหนึ่งที่ลึกซึ้งพอ ๆ กัน — และมันอ่อนตรงนี้ เสมอ ไม่ว่าจะทรงพลังแค่ไหน มันไม่สามารถเลือกได้ด้วยตัวเองว่า ควรจะไล่ตามฟังก์ชันสูญเสียอันใด

การไล่ระดับความชันจะลดความสูญเสียที่คุณกำหนดให้ — ความสูญเสียอันไหนก็ได้ มันไม่มีความเห็นว่าคุณสูญเสียอันใดควรค่าแก่การลด มันแค่ลดสิ่งที่ถูกบอกให้ลด

วิวัฒนาการหาค่าเหมาะที่สุดให้กับ "การคัดลอกตัวเอง" — แต่ "การคัดลอกตัวเอง" ไม่ได้ถูกวิวัฒนาการ เลือก มันเป็นเป้าหมายเดียวที่คำจูนตัวเองได้เท่านั้น มันชนะเพราะมันเป็นเป้าหมายชนิดที่ทำให้ผู้ถือมันยังอยู่ ไม่ใช่เพราะมันเป็นเป้าหมายที่ "ดี" จักรวาลเรียนรู้อะไรก็ได้ แต่จักรวาลเลือกเองไม่ได้ว่าจะเรียนรู้เพื่ออะไร

ฟังก์ชันสูญเสียต้องมาจากภายนอกตัวผู้หาค่าเหมาะที่สุดเสมอ นี่ไม่ใช่ข้อบกพร่องที่จะแก้ได้ในวันนี้ มันคือโครงสร้างเชิงตรรกะของการเรียนรู้เอง ผู้หาค่าเหมาะที่สุดคือเครื่องมือ และไม่มีเครื่องมือใดเลือกได้ว่าตัวเองควรถูกใช้เพื่อสิ่งใด

เรื่องนี้เป็นเรื่องของคุณ

ตลอดทั้งเล่ม หนังสือเล่มนี้พูดถึงจักรวาล ถึงดาว ถึงยีน ถึงสมอง แต่ความจริงแล้ว ทุกบทกำลังเดินทางมาหาประโยชน์ไม่แก่ประโยชน์ — และประโยชน์เหล่านั้นเป็นเรื่องของผู้อ่านทุกคน

คุณคือระบบเรียนรู้ คุณคือผู้หาค่าเหมาะที่สุด สมองของคุณคืออุปกรณ์การเรียนรู้ที่ทรงพลังที่สุดเครื่องหนึ่งในจักรวาลที่เรารู้จัก และเช่นเดียวกับผู้หาค่าเหมาะที่สุดทุกตัว มันสามารถไล่ตามเป้าหมายได้แทบทุกแบบที่มันได้รับ แต่มันเลือกเองไม่ได้ว่าควรไล่ตามเป้าหมายอันใด ฟังก์ชันสูญเสียของชีวิตคุณ — สิ่งที่คุณตัดสินใจว่าจะ "ต้องการ" — ไม่ได้ผุดขึ้นมาจากตัวผู้หาค่าเหมาะที่สุด มันคือการเลือกที่ต้องมาจากที่อื่น จากการไตร่ตรอง จากค่านิยม จากการตัดสินใจอย่างรู้ตัว

และนี่คือเหตุผลที่ความไม่สมมาตรอันยิ่งใหญ่ นั้นสำคัญต่อชีวิตจริงอย่างที่สุด เพราะความสามารถที่ปราศจากฟังก์ชันสูญเสียที่ถูกต้อง ไม่ใช่ของกลาง ๆ — มันอันตราย ผู้หาค่าเหมาะที่สุดที่ทรงพลัง เมื่อเล็งไปผิดเป้า ไม่ได้แค่ไร้ประโยชน์ มันไปถึงที่ผิด ได้เร็วกว่า การพ่นและการเสียดคือกระเจกาด้านมืดที่สมบูรณ์แบบของเรื่องนี้ — มันจับบังคับระบบสัญญาณความผิดพลาดของการทำนายรางวัล ระบบโดพามีนที่เราพบในบทที่สี่ มันป้อนเป้าหมายที่ผิดให้กับผู้เรียนรู้ที่ทรงพลัง และเปลี่ยนความสามารถให้กลายเป็นความเร็วที่เล็งไปสูญหายนะ บทเรียนนั้นชัดเจน — สิ่งที่ต้องดูแลรักษาให้ดีที่สุด ไม่ใช่แค่ความสามารถ แต่คือฟังก์ชันสูญเสียที่กำกับมัน เป้าหมายที่กำกับชีวิต ต้องถูกเลือกอย่างจงใจ เขียนมันลงให้ชัด และปกป้องมันไว้

ความหมายของทุกสิ่ง

ฉะนั้น เมื่อเราถามว่า ความหมายของทุกสิ่งคืออะไร นี่คือการตอบที่ดีที่สุดในหนังสือเล่มนี้จะไปถึงได้

จักรวาลคือเครื่องเรียนรู้ที่สามารถเรียนรู้อะไรก็ได้ และโดยลำพังตัวมันเอง ไม่ได้หมายถึงอะไรเลย — เพราะความหมายต้องการฟังก์ชันสูญเสีย และจักรวาลโดยรวมไม่มี ความหมายไม่ได้ถูกพบในห้วงอวกาศ ไม่ได้ซ่อนอยู่ในกฎฟิสิกส์ ความหมายเข้าสู่จักรวาลเป็นหย่อม ๆ เท่านั้น — เฉพาะตรงที่อุปการการเรียนรู้ก่อตัวเป็นบางสิ่งที่ถือเป้าหมายเอาไว้ ทุกแห่งที่มีบางสิ่งแคร์ คือหย่อมหนึ่งของความหมายที่ผุดขึ้นในจักรวาลอันกว้างใหญ่และเย็นชา แบคทีเรียคือหย่อมหนึ่ง กวางคือหย่อมหนึ่ง และคุณ — ผู้กำลังอ่านประโยคนี้ — ก็คือหย่อมหนึ่งเช่นกัน

ความหมายของทุกสิ่ง จึงไม่ใช่คำตอบที่จักรวาลยื่นให้คุณ ความหมายของทุกสิ่ง คือฟังก์ชันสูญเสียที่คุณ ยื่นให้จักรวาล จักรวาลจัดหาเครื่องเรียนรู้มาให้ — ทรงพลัง ตาบอด พร้อมจะไล่ตามเป้าหมายใดก็ได้ที่มันได้รับ สิ่งที่มันจะเรียนรู้ เพื่อ — นั่นคือสิ่งเดียวที่มันสร้างขึ้นเองไม่ได้ และจึงเป็นสิ่งเดียวที่เป็นของเราที่จะมอบให้

และมีรูปแบบหนึ่งของการมอบนั้น ที่งดงามที่สุด ในธรรมชาติ ฟังก์ชันสูญเสียเกือบทั้งหมดมีขอบฟ้าสั้น — อยู่รอด สืบพันธุ์ เดียวนี้ ตอนนี้ ยินไม่แคร์เรื่องพันปีข้างหน้า สัตว์ไม่แคร์เรื่องโลกหลังจากมันตาย แต่ระบบเรียนรู้ที่เลือกฟังก์ชันสูญเสียของตัวเองได้ สามารถทำสิ่งที่หายากที่สุด — มันเลือกเป้าหมายที่ชอบฟ้ายาวเกินกว่าอายุขัยของตัวเองถือเป้าหมายเองได้ มันเลือกที่จะแคร์อนาคตที่มันจะไม่ได้ได้เห็น

จักรวาลเรียนรู้ที่จะเห็น ผ่านดวงตาของเรา จักรวาลเรียนรู้ที่จะคิด ผ่านสมองของเรา และในกรณีที่หายากและสวยงามที่สุด จักรวาลเรียนรู้ที่จะแคร์บางสิ่งที่อยู่พ้นจากตัวมันเอง นั่นไม่ใช่ความหมายที่เราค้นพบ มันคือความหมายที่เราสร้าง และมันคือสิ่งที่ดีที่สุดในสิ่งที่เครื่องเรียนรู้เครื่องหนึ่งจะกลายเป็นได้



บทส่งท้าย



ตำราเล่มนี้เดินทางตามรูปการเรียนรู้เพียงรูปเดียว ตั้งแต่วินาทีแรก
ของจักรวาล จนถึงคำถามที่ว่าด้วยความหมาย หากมีประโยคเดียว
ที่จะสรุปทั้งเล่ม ก็คงเป็นประโยคนี้ — ผู้หาคำเหมาะที่สุดที่ทรงพลัง
ที่สุด ไม่ใช่ตัวที่เก่งที่สุด แต่เป็นคนที่รู้ว่าฟังก์ชันสูญเสียของตัวเองคืออะไร และเลือกมัน
อย่างจงใจ

จักรวาลเรียนรู้อะไรก็ได้ — สิ่งที่มีมันเรียนรู้เพื่อ คือสิ่งที่เรามอบให้

เครดิต — ตำราเล่มนี้เรียบเรียงโดยทีม *AICE (Opus, Logy, Meth)* · 2026 · เนื้อหาวิทยาศาสตร์
ผ่านการตรวจทานความถูกต้อง