

บทความปริทัศน์ (Review Article)

วิวัฒนาการแผนที่ดินดิจิทัลในโลกกำลังเปลี่ยนแปลง

ภคิชา ไชยแก้ว*

Evolution of digital soil mapping in a changing world

Pasicha Chaikaew*

Department of Environmental Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok 10330

* Correspondence to: pasicha.c@chula.ac.th

Naresuan Phayao J. 2017;10(2):57-64.

บทคัดย่อ

นักวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับดินให้คำจำกัดความปัจจัยก่อรูปดินเพื่ออธิบายความคล้ายคลึงและความไม่คล้ายคลึงของดิน สมมุติฐานของ Dokuchaev และ Jenny ก่อรูปความเป็นเหตุเป็นผลสำหรับการทำแผนที่ดินดิจิทัล และพัฒนาจนเป็นรูปแบบการทำแผนที่ดินดิจิทัลสมัยใหม่ วัตถุประสงค์ของการทำแผนที่ดินและแบบจำลองคือเพื่อเข้าใจรูปแบบเชิงพื้นที่ นำไปสู่การก่อรูปความรู้และเพื่อทำนายความสัมพันธ์ระหว่างดินกับระบบนิเวศในวิธีการที่มีความหมาย การทำแผนที่ดินดิจิทัลเพื่อการทำนายผูกพันหลายมิติข้ามตลอดระหว่างสาขาวิชา และอิงกับการวิเคราะห์ลักษณะเชิงปริมาณการกระจายตามพื้นที่ของตัวทำนายเกี่ยวกับดิน การวิเคราะห์เช่นนั้นเกี่ยวข้องกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และทางสถิติหลากหลาย ประเทศไทยพัฒนาเทคนิคการสำรวจดินเพื่อสร้างสรรค์แผนที่ดินทั่วไปของตนเองตั้งแต่สมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 พลวัตของดินและการก่อกวนด้วยน้ำมือมนุษย์กระตุ้นเรียกหาการพัฒนาการทำแผนที่ดินอิงเทคโนโลยีของประเทศ เพื่อลดผลกระทบและเตรียมความพร้อมประเด็นต่อเนื่องเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมของโลก จึงจำเป็นต้องพัฒนาแผนที่ดินดิจิทัลทั้งแนวนราบและแนวตั้ง

คำสำคัญ: ทำแผนที่ดินดิจิทัล วิวัฒนาการ ใช้ประโยชน์

Abstract

Soil scientists have defined soil-forming factors to explain the similarity and dissimilarity of soils. The hypotheses of Dokuchaev and Jenny forms a fundamental scientific rationale for digital soil mapping (DSM) and has been developed to modern DSM models. Purposes of soil mapping and modeling are to understand spatial patterns leading to knowledge formation and to interpret relationships between soil-and ecosystems in a meaningful manner. Predictive DSM engages multi-dimension across interdisciplinary fields and it is based on analyses of spatially distributed quantitative characteristics of soil-related predictors. Such analyses involve various mathematical and statistical models. Thailand has developed soil survey techniques to create its own general soil maps since the World War II. Soil dynamics and anthropogenic perturbations stimulate a call for technology-based soil mapping development in this nation. To overcome ongoing global environmental issues, such as global climate change, and unforeseen adverse effects on the environment, horizontal and vertical growths of DSM are needed in the future.

Keywords: Digital soil mapping, evolution, application

บทนำ

ช่วงปฏิวัติอุตสาหกรรมเป็นจุดเปลี่ยนสำคัญของประวัติศาสตร์โลก การเปลี่ยนแปลงด้านเกษตรกรรม การผลิต เศรษฐกิจ การคมนาคม และเทคโนโลยี ส่งผลกระทบต่อปัญหาการดำเนินชีวิต ตั้งแต่ระดับท้องถิ่น สู่ภูมิภาค จนถึงระดับโลก ยกตัวอย่าง การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ความมั่นคงทางอาหาร พลังงาน การพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม ประเด็นทั้งหลายเชื่อมโยงกับการเปลี่ยนแปลงของทรัพยากรดิน อันมีแร่ธาตุสำคัญและก่อประโยชน์มากมายมหาศาลต่อมนุษย์และสิ่งมีชีวิตไม่ได้อย่าไปกว่าทรัพยากรธรรมชาติอื่น นอกจากดินเกี่ยวข้องกับปัจจัยสี่ ดินยังสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช ความสำคัญด้านการเมือง เศรษฐกิจและสังคม โดยเฉพาะประเทศเกษตรกรรม หากปราศจากการอนุรักษ์บำรุงดิน เมื่อดินอุดมสมบูรณ์น้อยลงย่อมส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจโดยรวม

แผนที่ดินเป็นกุญแจสำคัญและนำมาใช้วางแผนการใช้ประโยชน์ทรัพยากรดิน ในอดีตครั้งเทคโนโลยียังต้องการแผนที่ต้องอาศัยทักษะความรู้จากผู้เชี่ยวชาญ การลงมือทดลอง และการสำรวจ (ใช้เวลา แรงงาน และค่าใช้จ่ายจำนวนมาก) สำหรับการวาดแผนที่ด้วยมือเป็นเหตุเกิดคำถามเกี่ยวกับความถูกต้องเที่ยงตรงของข้อมูล ขณะที่ปัจจุบันใช้เทคโนโลยีทำแผนที่เพื่อการเกษตรเพื่อลดต้นทุน (คน เวลา และเงิน) เพิ่มความแม่นยำของข้อมูล ต่อมานำความรู้ด้านทฤษฎีดินและเทคนิคการทำแผนที่ (ข้อมูล) ดินดิจิทัล (digital soil mapping – DSM) ใช้ประโยชน์ร่วมกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และทางสถิติ เพื่อศึกษาภาพรวมของการเปลี่ยนแปลงด้านสิ่งแวดล้อม เตรียมพร้อมรับมือกับการปรับตัวต่อปัญหาในระดับต่างๆ

ก้าวสู่แนวคิดแผนที่ดินดิจิทัล

ปีพ.ศ. 2429 Vasily Dokuchaev นักวิทยาศาสตร์ชาวรัสเซียผู้ศึกษาค้นคว้าการกำเนิดของดิน และปัจจัยควบคุมดิน เสนอสมมติฐานของปัจจัยเกี่ยวข้องกับดินประกอบด้วย 1) โครงสร้างธรรมชาติ

ของหินต้นกำเนิด 2) สภาพภูมิอากาศ 3) สภาพพืชพรรณ 4) ระยะเวลาการเกิดสภาพภูมิประเทศ และ 5) สภาพภูมิประเทศ หากตำแหน่งของพื้นโลกไม่มีปัจจัยร่วมเหมือนกันตั้งแต่สองปัจจัยขึ้นไป ลักษณะดินมีแนวโน้มคล้ายกัน แม้อยู่ต่างตำแหน่งกัน นอกจากนี้ปัจจัยเกี่ยวข้องกับดินสามารถทำนายลักษณะของดิน [1] วิวัฒนาการต่อยอดความคิดนี้เกิดระหว่างพ.ศ. 2442 ถึง 2484

Hans Jenny อธิบายการเกิดและการพัฒนาของดินประกอบด้วย สภาพภูมิอากาศ (climate, cl) ปัจจัยทางชีวภาพ (biotic factor, o) ความต่างของระดับพื้นที่หรือสภาพภูมิประเทศ (relief หรือ topography, r) วัสดุต้นกำเนิดดิน (parent material, p) และระยะเวลา (time, t) ปัจจัยทั้งหมดนี้ถูกเรียกว่าแบบจำลองปัจจัยสภาพแวดล้อม (state factor model) สามารถเขียนแทนด้วยสมการ $S = f(cl, o, r, p, t)$ โดย S คือ ลักษณะดินอันมีสภาพแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับปัจจัยควบคุมดิน ช่วงศตวรรษที่ 19 และ 20 การอธิบายปัจจัยควบคุมการเกิดและการพัฒนาการของดินเป็นการพรรณนามากกว่าการค้นคว้าเชิงปริมาณ อีกทั้งเน้นอธิบายดินเฉพาะตำแหน่ง (ไม่ได้ครอบคลุมทั้งพื้นที่) [2]

ช่วงต้นของศตวรรษที่ 21 McBratney และคณะ เสนอปรับปรุงสมการ $clorpt$ ร่วมกับการทำแผนที่ดินดิจิทัลเชิงปริมาณ ครอบคลุมมิติของพื้นที่และเวลา รูปแบบของสมการ $S = f(s, c, o, r, p, a, n)$ โดย S แทนชุดข้อมูลแทนคุณลักษณะของดิน (soil attributes หรือ soil classes) ซึ่งต้องการทราบปัจจัยเกี่ยวข้องประกอบด้วย คุณลักษณะของดิน (มีจริง) (soil attributes หรือ soil classes, s) สภาพภูมิอากาศ (climate, c) สิ่งมีชีวิต (organisms, o) ความต่างระดับของพื้นที่ (relief, r) วัสดุต้นกำเนิดดิน (parent material, p) ระยะเวลาการพัฒนาดิน (age, a) และตำแหน่งของดิน (spatial location, n) โดยสมการแสดงให้เห็นถึงพิกัดตำแหน่ง (coordinates, x,y) ของคุณลักษณะดินซึ่งต้องการศึกษาอย่างเห็นได้ชัด และมีเงื่อนไขเวลา (time, t) เข้ามาเกี่ยวข้อง กลุ่มนักวิชาการยอมรับสมการนี้อย่างกว้างขวาง ด้วยเป็นการพัฒนาอย่างก้าวกระโดดของการประยุกต์สมการ ร่วมกับ

ข้อมูลจากการสำรวจระยะไกล รวมถึงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ [3]

ปีพ.ศ. 2554 Grunwald และคณะ กับ Thompson และคณะ เสนอแนวคิด 2 ปัจจัยควบคุมดินและการพัฒนาของดินประกอบด้วย ปัจจัยคงที่ และปัจจัยพลวัตอันเกี่ยวข้องกับกิจกรรมของมนุษย์ แนวคิดดังกล่าวพิจารณาถึงมิติเชิงพื้นที่ระดับพิกเซล (pixel resolution, p_x) ช่วงเวลาปัจจุบัน (current time, t_c) และความลึก (depth, z) รวมปัจจัยเกี่ยวข้องทั้งหมดประกอบด้วย ข้อมูลคุณลักษณะดิน (มีข้อมูลแล้ว) (ancillary soil properties, S) สภาพภูมิประเทศ (topographic properties, T) ลักษณะของระบบนิเวศ (ecological properties, E) วัตถุต้นกำเนิดดิน (parent

material, P) สภาพภูมิอากาศ (atmospheric properties, A) น้ำในดิน (water properties, W) ปัจจัยทางชีวภาพ (biotic properties, B) และอิทธิพลจากกิจกรรมของมนุษย์ (human-induced forcings, H) โดยที่ $j = 0, 1, 2, \dots, n$ เป็นค่าของสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป และ $i = 0, 1, 2, \dots, m$ คือระยะเวลาโมเดลนี้ถูกเรียกว่า STEP-AWBH (พ้องเสียงกับคำว่า step up ในภาษาอังกฤษ) ทั้งนี้ปัจจัย STEP จัดอยู่กลุ่มปัจจัยคงที่ นิยามถึงการเปลี่ยนแปลงไปอย่างค่อยเป็นค่อยไป แทบสังเกตเห็นไม่ได้ภายในช่วงอายุคน และปัจจัย AWBH จัดอยู่กลุ่มปัจจัยพลวัต อันเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ดัง สมการ [4, 5]

$$SA(z, p_x, t_c) = f\left\{\sum_j^n [S_j(z, p_x, t_c), T_j(z, p_x, t_c), E_j(z, p_x, t_c), P(z, p_x, t_c)]\right\};$$

$$\int_{i=0}^m \left\{ \sum_j^n [A_j(p_x, t_i), W_j(p_x, t_i), B_j(p_x, t_i), H_j(p_x, t_i)] \right\}$$

Grunwald ยกสมการข้างต้นเป็น meta soil model หรือ แบบจำลองดินหลายมิติ โดยอธิบายว่ากรอบความคิดของ digital soil mapping มองดินเป็นเสมือนวัตถุ (object) อันนำเสนอให้อยู่ในรูปแบบของแผนที่ได้ แต่แท้จริงแล้วยังมีมุมมองต่อดินจากหลากหลายสาขาวิชาอย่างเช่น เป็นทรัพยากรมีคุณค่าควรแก่การอนุรักษ์ เป็นต้นทุนทางสิ่งแวดล้อมอันมีประโยชน์ต่อมนุษย์ภายใต้แนวคิดนิเวศบริการ กรอบแนวคิดเชื่อมโยงทรัพยากรดินเข้ากับบริบททางสังคม หรือแม้แต่กรอบความคิดทางด้านจิตวิญญาณเกี่ยวข้องกับพระแม่ธรณี ดังนั้นการรวมพิจารณาปัจจัยเหล่านี้จึงไม่เป็นการมองจากมุมหนึ่งมุมใด ส่วนการทำแผนที่ดินเพียงข้อมูลอย่างเดียวไม่อาจบอกความสัมพันธ์ของดินกับปัจจัยพลวัต ต้องอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ช่วยวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ (ระบบคอมพิวเตอร์) คำว่าข้อมูลดินดิจิทัลควรสื่อถึงแบบจำลองและการทำแผนที่ดินดิจิทัล (digital soil mapping and modeling) มากกว่าการทำแผนที่เพียงอย่างเดียว [6]

การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และทางสถิติร่วมกับแผนที่ดินดิจิทัล

การพัฒนาที่ผ่านมาสะท้อนถึงความตื่นตัวเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์ทฤษฎีวิทยาศาสตร์ทางดินร่วมกับเทคโนโลยีอย่างเห็นได้ชัด โดยทั่วไปหากแบ่งวัตถุประสงค์การใช้แบบจำลองดินเพื่อศึกษาคุณลักษณะของดิน อาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ประกอบด้วย วัตถุประสงค์เกี่ยวข้องกับการทำแผนที่เพื่อมุ่งศึกษาเกี่ยวกับการกระจายตัว หรือการสะสมเชิงพื้นที่ของคุณลักษณะดิน ส่วนวัตถุประสงค์เกี่ยวกับแบบจำลองมุ่งเน้นศึกษาปัจจัยเกี่ยวข้องของคุณลักษณะของดิน เพื่อทำให้ข้อมูลมีความหมายยิ่งขึ้น สามารถวิเคราะห์ข้อมูลการตัดสินใจอย่างเช่น ศึกษาความอ่อนไหวของดินบริเวณเสี่ยงต่อการเปลี่ยนแปลงจากสภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง การปรับตัวต่อสิ่งคาดว่าจะเกิดขึ้นจากผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงทรัพยากรดิน

ธรณีสถิติ (geostatistics) เป็นศาสตร์หนึ่งที่น่าสนใจเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ทางดิน ด้วยการประยุกต์ทางคณิตศาสตร์และทางสถิติกับธรณีวิทยา

เข้าด้วยกัน เริ่มต้นในอุตสาหกรรมเหมืองแร่ช่วงคริสต์ทศวรรษที่ 1960 เพื่อทำนายค่าความเหมาะสมของพื้นที่เกี่ยวกับการหาแร่ ธรณีสัณติเกี่ยวข้องกับระบบไม่แน่นอน (stochastic systems) หมายถึงระบบหนึ่งใดมีตัวแปรสุ่มในสมการ เป็นตัวแปรอันมีความแปรปรวนหรือความเสี่ยง ดังนั้นดินมีอัตราสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (spatial auto-correlation) มากน้อยในแต่ละพื้นที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ปรากฏแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และสถิติอันใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลายประกอบด้วย วิธีประมาณค่าช่วงแบบคริกิง (Kriging), แบบจำลองเส้นตรงทั่วไป (generalized linear models - GLM), แบบจำลองอิงโครงสร้างต้นไม้ (tree-based models), ตรรกะคลุมเครือ (fuzzy logic), และเทคนิคลูกผสม (hybrid technique) เป็นต้น

วิธีประมาณค่าช่วงแบบคริกิงเป็นวิธีประมาณค่าช่วงโดยหลักการทางสถิติ โดยใช้แบบจำลอง semi-variogram แสดงความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ เป็นขั้นตอนการทดสอบเกี่ยวกับ ข้อมูลดิน (มีจริง) เหมาะสมกับแบบจำลอง semi-variogram ไตมากที่สุด และจัดกลุ่มข้อมูลตามลักษณะความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ ร่วมกับถ่วงน้ำหนักตามความถี่แปรของข้อมูล วิธีประมาณค่าช่วงแบบคริกิง นิยมใช้อย่างกว้างขวางร่วมกับแบบจำลองชุดข้อมูลแทนคุณลักษณะของดิน (scorpan model) ยกตัวอย่าง งานวิจัยของ Ungaro และคณะ ศึกษาศักยภาพของดินชั้นบนเกี่ยวกับการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ โดยเทคนิคแบบจำลองชุดข้อมูลแทนคุณลักษณะของดิน ภายใต้เงื่อนไขข้อมูลแผนที่ชุดดินและการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณพื้นราบตอนเหนือของประเทศอิตาลี [7] Odeh และคณะ [8] ใช้ปัจจัยชุดข้อมูลแทนคุณลักษณะของดินร่วมกับวิธีประมาณค่าช่วงแบบคริกิง ทำแผนที่ (ข้อมูลคุณลักษณะ) ดินดิจิทัลบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำ ด้วยข้อมูลทุติยภูมิ (รวบรวม) เปรียบเทียบกับวิธีประมาณค่าช่วงแบบคริกิง รูปแบบต่างๆ พบว่าวิธีการถดถอยแบบคริกิง (regression kriging) ประมาณค่าแม่นยำที่สุด [9]

แบบจำลองเส้นตรงทั่วไปเป็นชื่อเรียกกลุ่มของตัวแบบเกิดจากชุดตัวแปรในคราวเดียวกันและร่วมกันได้รับการดัดแปลงรูปแบบมาจากการวิเคราะห์เชิงถดถอย เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามหลักการอันควรเป็น

และพบบ่อยเกี่ยวกับข้อมูลดิน อย่างเช่น การแจกแจงข้อมูลไม่ปกติ หรือค่าความแปรปรวนของข้อมูลไม่คงที่ Lane [10] เสนอใช้แบบจำลองเส้นตรงทั่วไปจัดการข้อมูลดิน ประโยชน์เห็นชัดเจนคือ สามารถวิเคราะห์กลุ่มข้อมูลแจกแจงแบบชี้กำลัง (exponential family) อย่างเช่น การแจกแจงแบบปกติ (Gaussian distribution), การแจกแจงแบบทวินามหรือแยกเป็นสอง (สุ่มไม่ต่อเนื่อง) (binomial distribution), การแจกแจงจำนวนครั้งของความสำเร็จ (Poisson distribution) หรือ การแจกแจงตัวแปรสุ่มแบบต่อเนื่อง (gamma distribution) นอกจากนี้ตัวแปรอิสระอาจเป็นรูปแบบตัวแปรต่อเนื่องหรือตัวแปรแบบกลุ่ม สมมติฐานของแบบจำลองเส้นตรงทั่วไปประกอบไปด้วย 1) องค์ประกอบแบบสุ่ม (random component) โดยค่าตัวแปรตามเป็นอิสระต่อกัน และแจกแจงแบบใดแบบหนึ่งกลุ่มชี้กำลัง 2) องค์ประกอบแบบเป็นระบบ (systematic component) สามารถเขียนตัวแปรเป็นสมการเชิงเส้น และ 3) ฟังก์ชันเชื่อมโยง (link function) เชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบแบบสุ่มและองค์ประกอบแบบเป็นระบบ ทั้งนี้ Webster [11] เตือนผู้ใช้แปลผลอย่างระมัดระวัง เนื่องจากข้อมูลใช้วิเคราะห์ผ่านการแปลงรูปข้อมูล (data transformation) มาก่อน

แบบจำลองอิงโครงสร้างต้นไม้หรือโครงสร้างต้นไม้เพื่อตัดสินใจ (decision trees) ต่างกับแบบจำลองเส้นตรงทั่วไป ด้วยแบบจำลองอิงโครงสร้างต้นไม้ไม่กำหนดรูปแบบการแจกแจงข้อมูล แต่ใช้ข้อมูล (มีจริง) ทำนายคุณลักษณะดิน จึงเหมาะกับข้อมูลขนาดใหญ่ (น่านาตัวแปร) มากกว่าข้อมูลขนาดเล็ก (ไม่สามารถตัดแต่งกิ่ง) การจำแนกข้อมูลขั้นพื้นฐานและพบบ่อยด้วยแบบจำลองอิงโครงสร้างต้นไม้ได้แก่ โครงสร้างต้นไม้เกี่ยวกับการแบ่งหมวดหมู่และการถดถอย (classification and regression tree - CART) คิดค้นโดย Breiman [12] โดยแบบจำลองสร้างจากขั้นตอนวิธี (algorithm) เลียนแบบโครงสร้างต้นไม้จากบนลงล่างแบบวนซ้ำ (recursive) ประกอบไปด้วยโครงสร้างต้นไม้แบบทวิภาคหรือแยกเป็นสอง กิ่งแตกเป็น 2 กิ่งแขนง เป็นการแบ่งปัญหาใหญ่เป็นปัญหาย่อยเป็นทอดๆ จนประมาณค่าหน่วยวัดที่ดีที่สุดของการ

แตกกิ่ง ส่วนการพัฒนาวิธีใหม่ของแบบจำลองอิงโครงสร้างต้นไม้ tree-based models เพื่อลดปัญหาดั้งเดิม โดยเฉพาะเรื่องการใส่ตัวแปรมากเกินไป (overfitting) วิธีการใหม่ประกอบด้วย การเพิ่มกำลัง (boosting) หมายถึง การทำนายอย่างแม่นยำโดยรวมกฎทั่วไปอิงประสบการณ์หรือการปฏิบัติมากกว่าทฤษฎี (rule of thumb) อันไม่แม่นยำแบบหยาบกับแบบปานกลาง [13] การเอามาใส่รวมกัน (bagging) หมายถึง เป็นการก่อเกิดตัวทำนายหลายฉบับมากหลาย (multiple version of predictor) และใช้เพื่อให้ได้ตัวทำนายผลรวม (aggregated predictor) [14] สุ่มโครงสร้างต้นไม้จากนานาโครงสร้างต้นไม้ (random forest) หรือการสุ่มโครงสร้างต้นไม้เพื่อตัดสินใจ (random decision tree) หมายถึง ผลรวมของตัวทำนายแบบโครงสร้างต้นไม้ ซึ่งแต่ละแบบโครงสร้างต้นไม้อาศัยการสุ่มค่าของตัวนำ (vector) อิสระแจกแจงแบบปกติในป่าของแบบโครงสร้างต้นไม้ [15]

ตรรกศาสตร์คลุมเครือก่อเกิดจากแนวคิดเกี่ยวกับความไม่แน่นอนของสิ่งหลากหลาย ผู้คนมองเห็นสิ่งเดียวกันแตกต่างกันไปอย่างเช่น นักบริหาร นักลงทุน นักวิทยาศาสตร์ มีมุมมองเกี่ยวกับปัญหาสิ่งแวดล้อมแตกต่างกัน ในปีพ.ศ. 2508 Zadeh [16] นำตรรกะบูลีน (Boolean logic) หรือการค้นหาโดยใช้ตัวดำเนินการตรรกะ (logic operation) เป็นตัวเลือกช่วยตัดสินใจ ด้วย 2 ค่าประกอบด้วย จริง/ไม่จริง ใช่/ไม่ใช่ สำหรับการวิเคราะห์ความต่อเนื่องระหว่างดินกับภูมิประเทศ (soil-landscape continuum) บ่อยครั้งไม่สามารถระบุประเภทของดินอย่างชัดเจน เนื่องจากเกี่ยวข้องกับหลากหลายปัจจัยสิ่งแวดล้อม อีกทั้งตรรกศาสตร์คลุมเครือยอมให้ดินมีค่าหรือระดับกลุ่มมากกว่าหนึ่งค่า (ตัวเลขระหว่าง 0 ถึง 1) ต่างกับแบบจำลองอิงโครงสร้างต้นไม้ ด้วยปราศจากการคำนวณค่าความแม่นยำ ถือว่าไม่ใช่วิธีการทางสถิติแบบเต็มตัว ดังนั้นตรรกศาสตร์คลุมเครือจึงความเป็นไปได้เหมาะสมกว่าตรรกะบูลีนของความน่าจะเป็น

พลวัตของดินเกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ของเงื่อนไขเวลา ความกว้างใหญ่ของพื้นที่ และกิจกรรมแต่ละสังคมมีแรงขับเคลื่อนแตกต่างกัน การทำนายคุณสมบัติของดินอาจใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

และทางสถิติมากกว่าหนึ่งแบบ หรือเทคนิคผสมเพื่อประมาณค่าและสร้างแผนที่ดินดิจิทัล

McBratney และคณะ [3] ทบทวนบทความ 68 เรื่อง เกี่ยวกับแบบจำลองชุดข้อมูลแทนคุณลักษณะของดินหรือแบบจำลองคล้ายกัน ปรากฏพบปัจจัยอิทธิพลต่อคุณลักษณะของดินและประเภทของดินลดหลั่น (ร้อยละของงานวิจัย) ดังนี้ ร้อยละ 80 ความต่างระดับของพื้นที่ (r) ร้อยละ 35 คุณลักษณะของดิน (s) ร้อยละ 25 สิ่งมีชีวิต (o) ร้อยละ 25 วัตถุต้นกำเนิดดิน (p) ร้อยละ 20 ตำแหน่งของดิน (n) และร้อยละ 5 สภาพภูมิอากาศ (c) [17-29] ส่วน Grunwald [30] ทบทวนบทความ 90 เรื่อง ปรากฏพบปัจจัยอิทธิพลดังนี้ ร้อยละ 51 คุณลักษณะของดิน (s) ร้อยละ 34 ปัจจัยทางชีวภาพ (o) ร้อยละ 24 ความต่างระดับของพื้นที่ (r) ร้อยละ 6 สภาพภูมิอากาศ (c) และร้อยละ 6 วัตถุต้นกำเนิด

การศึกษาเกี่ยวกับแผนที่ดินดิจิทัลของไทย

สองทศวรรษที่ผ่านมา มีการศึกษาเพียง 3 โครงการ [31-33] รวบรวมแบบจำลองชุดข้อมูลแทนคุณลักษณะของดิน clorpt และ scorpan ใช้ร่วมกับแบบจำลองคณิตศาสตร์และสถิติเพื่อทำนายคุณลักษณะของดิน เป็นผลงานของสถาบันภูมิสารสนเทศศาสตร์และการเฝ้าติดตามโลกนานาชาติ (International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation) ประเทศเนเธอร์แลนด์

การศึกษาแรก Udomsir [31] ใช้แบบจำลองชุดข้อมูลแทนคุณลักษณะของดิน scorpan ทำนายพื้นที่เสี่ยงของดินการสีกกร่อนของดินบริเวณดอยอ่างขาง ส่วน Desta [32] ใช้แบบจำลองแบบจำลองชุดข้อมูลแทนคุณลักษณะของดิน clorpt ประเมินและทำแผนที่ดินเค็มในจังหวัดนครราชสีมา สำหรับ Moonjun และคณะประยุกต์แบบจำลองชุดข้อมูลแทนคุณลักษณะของดิน scorpan เข้ากับโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network - ANN) กับโครงสร้างต้นไม้เพื่อตัดสินใจทำนายแผนที่กลุ่มดินย่อย (soil subgroup) ของห้วยน้ำริน จังหวัดเชียงราย

การเพิ่มพูนการทำแผนที่ดินดิจิทัลจำเป็นต้องมีผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้อง การรวบรวมจัดทำฐานข้อมูลดิน การแปลผลเพื่อใช้ประโยชน์ การข้อมูล การจัดการ

ข้อมูลให้ทันสมัย การเชื่อมโยงเป็นเครือข่าย และความร่วมมือกับนานาชาติ โดยเฉพาะประเทศก้าวหน้าด้านแผนที่ดินดิจิทัลอย่างเช่น สหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย บราซิล เยอรมนี และสาธารณรัฐประชาชนจีน

ทิศทางแผนที่ดินดิจิทัลในอนาคต

แนวโน้มการศึกษาแผนที่ดินดิจิทัลขยายตัวเพิ่มทั้งในแนวราบและแนวดิ่ง แนวราบหมายถึงการประยุกต์ใช้วิเคราะห์ความหลากหลายของมิติของดิน อย่างเช่น การประเมินคุณภาพดินและภัยคุกคามต่อดิน การประเมินความเสี่ยงของดินเสื่อมโทรม การพัฒนากลยุทธ์ในการอนุรักษ์ดิน การปรับตัวรับมือสภาพปัญหาสิ่งแวดล้อม ความมั่นคงทางอาหารและพลังงาน ส่วนแนวดิ่งเป็นการศึกษางานอย่างลึกซึ้ง การสำรวจข้อมูลระยะไกล การวิเคราะห์อนุกรมเวลา

สรุป

วิวัฒนาการของแผนที่ดินดิจิทัลผ่านการพัฒนาอย่างต่อเนื่องยาวนาน การทำแผนที่ไม่เพียงอาศัยเฉพาะชุดข้อมูลแทนคุณลักษณะของดิน แต่ยังพิจารณาถึงปัจจัยเกี่ยวข้องเกี่ยวกับพลวัตของดิน อาศัยการผสมผสานนานาเทคนิคแบบจำลองคณิตศาสตร์และทางสถิติ

เอกสารอ้างอิง

- Glinka KD. Dokuchaev's ideas in the development of pedology and cognate sciences. Academy of Sciences of the Union of the Soviet Socialist Republics. Russian Pedological Investigations. Leningrad, The academy: 1927.
- Jenny H. Factors of soil formation. New York: McGraw-Hill; 1941.
- McBratney AB, Mendonça Santos ML, Minasny B. On digital soil mapping. *Geoderma*. 2003;117(1–2):3–52.
- Grunwald S, Thompson JA, Boettinger JL. Digital soil mapping and modeling at continental scales: Finding solutions for global issues. *Soil Sci Soc Am J*. 2011;75(4):1201–13.
- Thompson JA, Roecker SM, Grunwald S, Owens PR. Digital soil mapping: Interactions with and applications for hydropedology. In: Lin HS, Bouma J, Owens P, Vepraskas M, editors. *Hydropedology - Synergistic Integration of Pedology and Hydrology*. Elsevier BV: Academic Press; 2012. p. 665–709.
- Grunwald S. Part I - Conceptualization of a Meta Soil Model. In: Arrouays D, McKenzie N, Hempel J, Richer de Forges AC, McBratney AB, editors. *Global soil map - Basis of the global spatial soil information system*. New York: CRC Press; 2014. p. 233–8.
- Ungaro F, Staffilani F, Tarocco P. Assessing and mapping topsoil organic carbon stock at regional scale: A scorpan kriging approach conditional on soil map delineations and land use. *Land Degrad Dev*. 2010;21(6):565–81.
- Odeh IOA, Crawford M, McBratney AB. Chapter 32 Digital mapping of soil attributes for regional and catchment modelling, using ancillary covariates, statistical and geostatistical techniques. In: Lagacherie P, McBratney AB and Voltz M, editors. *Developments in soil science*. Elsevier BV; 2006. p. 437–53.
- Bishop TFA, McBratney AB. A comparison of prediction methods for the creation of field-extent soil property maps. *Geoderma*. 2001;103(1–2): 149–60.
- Lane PW. Generalized linear models in soil science. *Euro J Soil Sci*. 2002;53(2):241–51.
- Webster R. Statistics to support soil research and their presentation. *Euro J Soil Sci*. 2001; 52(2):331–40.
- Breiman L, Friedman J, Sontag CJ, Olshen RA. Classification and regression trees. Chapman & Hall/CRC; 1984. 368 p.
- Freund Y, Schapire RE. A decision-theoretic generalization of on-line learning and an

- application to boosting. *J Comput Sys Sci.* 1997; 55(1):119–39.
14. Breiman L. Bagging predictors. *Mach Learn.* 1996;24(2):123–40.
 15. Breiman L. Random forests. *Mach Learn.* 2001; 45(1):5–32.
 16. Zadeh LA. Fuzzy sets. *Inform control.* 1965; 8(3):338–53.
 17. Grunwald S. Multi-criteria characterization of recent digital soil mapping and modeling approaches. *Geoderma.* 2009;152(3–4):195–207.
 18. Goovaerts P. Factorial kriging analysis: a useful tool for exploring the structure of multivariate spatial soil information. *J Soil Sci.* 1992;43(4): 597–619.
 19. Odeh IOA, McBratney AB, Chittleborough DJ. Spatial prediction of soil properties from landform attributes derived from a digital elevation model. *Geoderma.* 1994;63(3):197–214.
 20. Odeh IOA, McBratney AB, Chittleborough DJ. Further results on prediction of soil properties from terrain attributes: heterotopic cokriging and regression-kriging. *Geoderma.* 1995;67(3–4):215–26.
 21. Cook SE, Comer RJ, Grealish G, Gessler PE, Chartres CJ. A rule-based system to map soil properties. *Soil Sci Soc Am J.* 1996;60:1893–900.
 22. McKenzie NJ, Ryan PJ. Spatial prediction of soil properties using environmental correlation. *Geoderma.* 1999;89(1–2):67–94.
 23. Henderson BL, Bui EN, Moran CJ, Simon DAP. Australia-wide predictions of soil properties using decision trees. *Geoderma.* 2005;124(3–4):383–98.
 24. Malone BP, McBratney AB, Minasny B, Laslett GM. Mapping continuous depth functions of soil carbon storage and available water capacity. *Geoderma.* 2009;154(1–2):138–52.
 25. Beucher A, Österholm P, Martinkauppi A, Edén P, Fröjdö S. Artificial neural network for acid sulfate soil mapping: Application to the Sirppujoki River catchment area, south-western Finland. *J Geochem Explor.* 2013;125:46–55.
 26. Martin MP, Orton TG, Lacarce E, Meersmans J, Saby NPA, Paroissien JB, et al. Evaluation of modelling approaches for predicting the spatial distribution of soil organic carbon stocks at the national scale. *Geoderma.* 2014;223–225:97–107.
 27. Were K, Bui DT, Dick ØB, Singh BR. A comparative assessment of support vector regression, artificial neural networks, and random forests for predicting and mapping soil organic carbon stocks across an Afromontane landscape. *Ecol Ind.* 2015;52:394–403.
 28. Akumu CE, Woods M, Johnson JA, Pitt DG, Uhlig P, McMurray S. GIS-fuzzy logic technique in modeling soil depth classes: Using parts of the Clay Belt and Homepayne region in Ontario, Canada as a case study. *Geoderma.* 2016;283: 78–87.
 29. Taghizadeh-Mehrjardi R, Toomanian N, Khavanizadeh AR, Triantafyllis J. Predicting and mapping of soil particle-size fractions with adaptive neuro-fuzzy inference and ant colony optimization in central Iran. *Euro J Soil Sci.* 2016;67(6):707–25.
 30. Grunwald S. Multi-criteria characterization of recent digital soil mapping and modeling approaches. *Geoderma.* 2009;152:195–207.
 31. Udomsri S. Application of computer assisted geopedology to predictive soil mapping and its use in assessing soil erosion prone areas: A case study of Doi Ang Khang, Ang Khang Royal Agriculture Station, Thailand [Dissertation].

- Enschede, Netherlands]: International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation; 2006.
32. Desta TF. Spatial modeling and timely prediction of salinization using SAHYSMOD in GIS environment [Dissertation]. Enschede, Netherlands: International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation; 2009.
 33. Moonjun R, Farshad A, Shrestha DP, Vaiphasa C. Artificial neural network and decision tree in predictive soil mapping of Hoi Num Rin sub-watershed. In: Boettinger JL, Howell DW, Moore AC, Hartemink AE, Kienast-Brown S, editors. Digital soil mapping. New York: Springer Science & Business Media: Briding Research, Environmental Application, and Operation; 2010. p. 151–63.