โครงสร้างเชิงปริภูมิของภูมิทัศน์ กับการวิเคราะห์และการสร้างแบบจำลอง: การทบทวนทางทฤษฎี ของกระบวนการเชิงปริมาณทางภูมินิเวศวิทยา

อาจารย์ ดร.ดนัย ทายตะคุ
ภาควิชาภูมิสถาปัตยกรรม
ภ.สถ.บ. เกียรตินิยม (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)
M.L.A. (Harvard University)
Ph.D. (University of California at Berkeley)

นิเวศวิทยา เป็นสาขาวิชาหนึ่งในจำนวนที่เล็กน้อยของสาขาวิชาที่มีเนื้อหาและความสนใจในสิ่งและปรากฏการณ์ที่มนุษย์ประสบอยู่ในชีวิตประจำวันหรืออยู่รอบตัวเรา แต่ไม่เป็นการถูกต้องที่จะบอกว่าจากความคุ้นเคยกับสิ่งต่างๆและปรากฏการณ์ทั้งหลายที่เกิดขึ้นจะทำให้เราเข้าใจหรือติดตามว่าเกิดอะไรขึ้น (รวมทั้งเหตุและผลของการเกิดและผลกระทบที่ติดตามมาในภายหลัง)ได้อย่างง่ายดาย และไม่ง่ายเลยที่จะแสวงหาคำตอบของคำถามทางนิเวศวิทยาต่างๆ เนื่องด้วยจำนวนของข้อมูลที่มีอยู่อย่างมากมายรอบตัวเรา สิ่งที่ยากที่สุดก็คือทำอย่างไรเราจึงจะสามารถมองข้อมูลได้อย่างทะลุปรุโปร่งจนสามารถย่อยและสรุปข้อมูล (Allen and Hoekstra, 1992) เพื่อให้สามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ต่อไป

การย่อยและสรุปข้อมูลนั้นต้องการกรอบหรือโครง (framework) ที่จะช่วยให้การย่อยและการจัดระเบียบข้อมูลได้เป็นไปอย่างมีระบบเพื่อให้อยู่ในรูปที่สามารถเข้าใจได้และนำไปใช้ต่อไปได้ กรอบหรือโครงดังกล่าวจะช่วยให้เราสามารถสร้างระบบของการมอง การแยกแยะกลั่นกรองและการจัดระเบียบข้อมูล การสรุปประเด็น การตั้งคำถาม การตั้งสมมุติฐาน และการค้นหาวิธีการที่จะช่วยค้นหาคำตอบ การวิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูล จนกระทั่งการรวบรวมและสรุปผลจากการวิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูล เพื่อให้ได้มาซึ่งคำอธิบายที่มีความเป็นไปได้มากที่สุดในการอธิบายถึงสิ่งต่างๆ และปรากฏการณ์ทั้งหลายรอบตัวเรา

ในการทำความเข้าใจระบบนิเวศของภูมิทัศน์ จะต้องทำความเข้าใจกับระบบนิเวศของพื้นที่ดั้งเดิมและพื้นที่โดยรอบไปพร้อมๆกันเนื่องจากความสัมพันธ์และปฏิสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆ ของระบบนิเวศโดยรวม หรือเราจะกรอบระบบนิเวศทั้งหลายให้เป็นระบบเดียวกันเนื่องจากลักษณะของภูมิทัศน์ที่มีความต่อเนื่องกันก็ได้ ในการศึกษาระบบนิเวศดังกล่าว สามารถนำเอาทฤษฎีทางภูมินิเวศวิทยา (Landscape Ecology: Forman and Godron, 1986) มาเป็นกรอบในการศึกษาโดยองค์ประกอบหลักของระบบนิเวศหรือภูมิทัศน์ได้ดังนี้ :

1. โครงสร้างของระบบนิเวศหรือภูมิทัศน์

โครงสร้างของระบบนิเวศ หมายถึง ลักษณะทางกายภาพต่างๆ ที่ประกอบกันเป็นองค์ประกอบของระบบนิเวศ ซึ่งมาประกอบกันขึ้นเป็นแบบแผนทางกายภาพที่ปรากฏในภูมิทัศน์ ซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากปัจจัยต่างๆ ของระบบนิเวศหรือภูมิทัศน์ หรือปฏิสัมพันธ์และกระบวนการต่างๆที่เกิดขึ้น ตัวอย่างเช่น แบบแผนและลักษณะทางธรณีสันฐานเมือง แบบแผนขององค์ประกอบต่างๆ และการกระจายตัวขององค์ประกอบต่างๆ ประชากรและสังคมสิ่งมีชีวิต พืชพรรณ และอื่นๆ แบบแผนของกระบวนการต่างๆที่เกิดขึ้น ฯลฯ

2. บทบาทของระบบนิเวศหรือภูมิทัศน์

บทบาทของระบบนิเวศ หมายถึง กระบวนการต่างๆ และปฏิสัมพันธ์ต่างๆ ของระบบนิเวศที่เกิดขึ้นในภูมิทัศน์ และประกอบกันเป็นแบบแผนทางปฏิสัมพันธ์หรือกระบวนการที่เป็นคุณลักษณะของระบบนิเวศหรือภูมิทัศน์ ตัวอย่างเช่น การถ่ายทอดสารอาหารในห่วงโซ่อาหาร หรือสายใยอาหาร การแลกเปลี่ยนหรือถ่ายเทมวลสารในรูปต่างๆ เช่น การเคลื่อนย้ายของดิน หิน ตะกอนต่างๆ หรือ ชีวมวล การเคลื่อนย้ายหรือการอพยพของประชากร ฯลฯ

3. การเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศหรือภูมิทัศน์

การเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศ หมายถึง การเปลี่ยนแปลงทั้งระยะสั้นและระยะยาวของระบบนิเวศหรือพลวัตรของระบบนิเวศ รวมไปถึงวิวัฒนาการของระบบนิเวศ ซึ่งเป็นผลต่อพลวัตรของภูมิทัศน์และวิวัฒนาการของภูมิทัศน์ ซึ่งลักษณะดังกล่าวปรากฏให้เห็นเป็นแบบแผนของพลวัตและวิวัฒนาการที่มีที่เป็นผลมาจากปัจจัยต่างๆ ของระบบนิเวศหรือภูมิทัศน์ หรือปฏิสัมพันธ์และกระบวนการต่างๆที่เกิดขึ้น ตัวอย่างเช่น การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเมือง แบบแผนการกระจายตัว การเปลี่ยนแปลงของปริมาณและความหนาแน่น การเปลี่ยนแปลงของประชากรและสังคมสิ่งมีชีวิต พืชพันธุ์และอื่นๆ ฯลฯ

โดยการศึกษาดังกล่าวมีจุดมุ่งหมายในการทำความเข้าใจกับแบบแผน(pattern) และกระบวนการ(process) ขององค์ประกอบและปัจจัยต่างๆของระบบนิเวศหรือภูมิทัศน์ เพื่อทำการสรุปตามกรอบทางทฤษฎีดังกล่าวข้างต้น ทั้งนี้องค์ประกอบหลักของระบบนิเวศหรือภูมิทัศน์ก็เป็นผลมาจากปัจจัยต่างๆ และปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆเหล่านั้น

จากองค์ประกอบทางภูมินิเวศและปัจจัยดังกล่าว เราสามารถประเมินคุณค่าของระบบนิเวศหรือภูมิทัศน์โดยประเมินจากศักยภาพและบทบาทของระบบนิเวศหรือภูมิทัศน์ที่มีต่อสังคมมนุษย์ (Zonneveld, 1988 ; Vos and Zonneveld, 1993) ได้ดังนี้

1. บทบาทในฐานะของผู้ผลิต ซึ่งได้แก่ การเป็นแหล่งกำเนิดทรัพยากรธรรมชาติทั้งหลาย หรือความสามารถในเชิงการผลิตที่อาศัยทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่ในระบบ
2. บทบาทในฐานะที่เป็นพื้นที่รองรับความต้องการในเชิงพื้นที่ และปฏิสัมพันธ์ต่างๆที่เกิดขึ้นในระบบนิเวศ เช่น การใช้ที่ดินและการตั้งถิ่นฐาน
3. บทบาทในฐานะผู้ควบคุมให้กระบวนการต่างๆในระบบนิเวศเกิดความสมดุลตามข้อจำกัดและศักยภาพที่มีในระบบตามธรรมชาติ เพื่อระบบนิเวศให้สามารถดำรงอยู่ได้
4. บทบาทในฐานะเป็นผู้บ่งบอกสารสนเทศของระบบนิเวศถึงสถานภาพ ความเป็นไป แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลง ทิศทางของวิวัฒนาการ รวมทั้งในเชิงของสุนทรียภาพของธรรมชาติ วิทยาการ และประวัติศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับความเป็นไปของมนุษย์และความสัมพันธ์กับธรรมชาติ

การศึกษาถึงองค์ประกอบทางภูมินิเวศและปัจจัยรวมทั้งคุณค่าของระบบภูมินิเวศดังกล่าวจึงเป็นแนวทางในการทำความเข้าใจระบนิเวศของพื้นที่เพื่อนำไปสู่การศึกษาในเรื่องของการเปลี่ยนแปลงและผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงต่อไป

การศึกษาเพื่อทำความเข้าใจองค์ประกอบเชิงปริภูมิของภูมิทัศน์นั้นมีความจำเป็นในการใช้วิธีการในการวิเคราะห์ อันได้แก่ การจำแนก(recognizing) และการแสดงลักษณะเฉพาะ(characterizing) ของโครงสร้างเชิงปริภูมิของภูมิทัศน์ และรูปแบบ(pattern) ของโครงสร้างเชิงปริภูมิที่เกิดขึ้นในภูมิทัศน์

การสร้างแบบจำลองทางภูมิทัศน์และสภาพแวดล้อมในที่นี้หมายถึง การแยกแยะ การแจกแจง การทำให้อยู่ในรูปแบบที่เรียบง่าย และมีความชัดเจน ที่แสดงถึงความ

สำคัญ หน้าที่หรือบทบาท ในรูปลักษณะต่างๆ เช่น เป็นส่วนหรือตอน (compartment) หรือเป็นชั้นๆ (layer) เป็นต้น เพื่อประโยชน์ในการศึกษาทำความเข้าใจให้ถ่องแท้ในเรื่องของ องค์ประกอบ(element) โครงสร้าง(structure) ความสัมพันธ์(relationship) ปฏิสัมพันธ์ (interaction) และ รูปแบบ (pattern) ที่มีอยู่ในภูมิทัศน์และสภาพแวดล้อม รวมทั้งในเรื่องของระดับ(level) ความสำคัญ(magnitude) ชนิด(type) ระบบและองค์กร (system and organization)ของ องค์ประกอบ โครงสร้าง ความสัมพันธ์ ปฏิสัมพันธ์ หรืออีกนัยหนึ่ง แบบจำลองที่เป็นตัวแทนความเข้าใจของเราของสภาพความเป็นจริงที่เกิดขึ้น

ข้อจำกัดของแบบจำลองก็คือ แบบจำลองนั้นเป็นแบบอย่างมาจากความคิด แนวความคิด หรือความเข้าใจ ที่มีการทำให้เรียบง่ายเพื่อแสดงถึงความสำคัญตามแนวความคิดของผู้สร้างแบบจำลองนั้นๆ ซึ่งในแต่ละแบบจำลองจะมีความเอนเอียงตามแนวความคิดของผู้สร้าง ดังนั้น จึงไม่แน่เสมอไปว่าแบบจำลองจะสามารถเป็นตัวแทนของสิ่งต่างๆ เหตุการณ์ ขบวนการ ระบบ หรือ องค์กร ได้อย่างกว้างขวาง เพราะลักษณะที่เฉพาะเจาะจงของแบบจำลองแต่ละแบบ ดังนั้น การประยุกต์ใช้ในการวางแผนภูมิทัศน์และสภาพแวดล้อมจึงมีข้อจำกัด

ในการวางแผนทางด้านภูมิทัศน์และสภาพแวดล้อม การวิเคราะห์การสร้างแบบจำลองทางภูมิทัศน์และสภาพแวดล้อม เป็นวิธีการหนึ่งในหลายๆ วิธีการ ที่จะนำไปสู่การเรียนรู้และการเข้าใจถึงองค์ประกอบต่างๆ ของภูมิทัศน์และสภาพแวดล้อม เพื่อนำมาใช้เป็น แนวทาง เกณฑ์ ขอบเขต เค้าโครง ศักยภาพ และ ข้อจำกัด ในการวางแผนภูมิทัศน์และสภาพแวดล้อม

วิธีการดังกล่าวโดยเฉพาะอย่างยิ่ง การวิเคราะห์และการสร้างแบบจำลองเชิงปริภูมิ (Spatial Analysis and Modeling) เป็นวิธีการที่มีศักยภาพอย่างยิ่งในการศึกษาเพื่อทำความเข้าใจองค์ประกอบเชิงปริภูมิของภูมิทัศน์ ในบทความนี้ได้ทำการอภิปรายอย่างกว้างๆ ถึงความจำเป็นในการพัฒนาและการวิจัยในเรื่องของการวิเคราะห์และการสร้างแบบจำลองเชิงปริภูมิ แนวความคิดในการวิจัยและการประยุกต์ใช้ ในอนาคต โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในกรณีของการวางแผนและวางผังพื้นที่เพื่อการอนุรักษ์

ในการวางแผนทางด้านภูมิทัศน์และสภาพแวดล้อมจะมีความเกี่ยวข้องกับการวางแผนเชิงปริภูมิ (spatial planning) หรือการวางแผนเชิงพื้นที่ การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางภูมิทัศน์และสภาพแวดล้อมในการวางแผนเชิงปริภูมิ สามารถกระทำได้โดยการนำการศึกษาในแนวทางของภูมิสารสนเทศศาสตร์ (geographic information science

approach) ภูมิสารสนเทศ (geographic information) ในที่นี้หมายถึง ข้อเท็จจริงเกี่ยวกับสิ่งต่างๆ เหตุการณ์ ขบวนการ หรือ ระบบ ที่มีการแสดงแทนด้วย จุด เส้น หรือพื้นที่ และสามารถแสดงถึง ความสัมพันธ์ หรือความเกี่ยวเนื่องกับ จุด เส้น พื้นที่ หรือ สถานที่ บนพื้นผิวของโลก ภูมิสารสนเทศนี้ตามการปฏิบัติที่สืบเนื่องกันมาจะมีลักษณะเป็นแผนที่ที่อาจจะมีการเก็บรวบรวมในลักษณะของแผนที่ที่มีการรวบรวมหรือจัดระบบเป็นกลุ่มหรือเป็นชุด ลักษณะเชิงปริภูมิ (spatial characteristics) หรือรูปแบบเชิงปริภูมิ (spatial patterns) ได้ถูกแปรรูปให้อยู่ในลักษณะของเส้นสาย อักขระ ตาราง หรือ รูปภาพ เส้นสาย อักขระ ตาราง ประกอบเป็นรูปแบบหนึ่งของข้อมูลทางภูมิสารสนเทศ รูปภาพ ยกตัวอย่างเช่น ภาพถ่ายทางอากาศ ภาพถ่ายดิจิตัลดาวเทียม ประกอบเป็นรูปแบบอีกแบบหนึ่งของข้อมูลทางภูมิสารสนเทศ

วิทยาการใหม่ได้ปรากฏขึ้นในช่วงเวลาไม่กี่ปีที่ผ่านมา วิทยาการนี้ได้พัฒนาและปรับปรุงความสามารถในการเก็บรวบรวม เก็บรักษา จัดการ วิเคราะห์ และประยุกต์ใช้ภูมิสารสนเทศที่เกี่ยวกับภูมิประเทศ ลักษณะสำคัญ และกิจกรรมหรือ ปรากฏการต่างบนพื้นผิวโลก วิทยาการใหม่ที่กำลังกล่าวถึงนี้ได้แก่ ระบบภูมิสาร- สนเทศ (geographic information systems, GIS) วิทยาการใหม่นี้ได้เริ่มต้นเข้ามามีส่วนในชีวิตของเราในหลายๆ ด้าน ตั้งแต่ แผนที่ดิจิตัล(digital map) ระบบการวางแผนและจัดการทางด้านภูมิทัศน์ สิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ เป็นต้น

การใช้ระบบภูมิสารสนเทศจะช่วยให้การศึกษาและการประยุกต์ใช้แบบจำลองเชิงปริภูมิทางภูมิทัศน์และสภาพแวดล้อมในการวางแผนภูมิทัศน์และสภาพแวดล้อมในเชิงปริภูมิ (spatial planning) หรือการวางแผนเชิงพื้นที่มีความเป็นไปได้มากขึ้น

การสร้างแบบจำลองเชิงปริภูมิของภูมิทัศน์และสภาพแวดล้อม มีความสำคัญในการวางแผนทางด้านภูมิทัศน์และสภาพแวดล้อม การสร้างแบบจำลองของภูมิทัศน์ ซึ่งจะนำไปสู่การเรียนรู้และการเข้าใจถึงองค์ประกอบเชิงปริภูมิของภูมิทัศน์ และสภาพแวดล้อม เพื่อนำมาใช้เป็นแนวทาง เกณฑ์ ขอบเขต เค้าโครง ศักยภาพ และ ข้อจำกัดในการวางแผนภูมิทัศน์และสภาพแวดล้อม

Landscape Spatial Structure and Spatial Analysis and Modelling : A Theoritical Review of Quantitative Methods in Landscape Ecology

> "We perceive beings, objects, things to which we give names. These beings or things are forms or structures endowed with a degree of stability; they take up some part of space and last for some period of time.
>
> Moreover, although a given object can exist in many different guises, we never fail to recognize it; this recognition of the same object in the infinite multiplicity of its manifestations is, in itself, a problem (the classical philosophical problem of concept) which, it seems to me, the gestalt psychologists alone have posed in a geometric framework accessible to scientific investigation. Suppose this problem to be solved according to naive intuition, giving to outside things an existence independent of our own observation. Next we must concede that the universe we see is a ceaseless creation, evolution, and destruction of forms and that the purpose of science is to foresee this change of form and, if possible, explain it."
>
> (Thom, 1975, The succession of form)

Introduction: Landscape Approaches and Basic Assumptions

A landscape can be characterized as a level of organization that is composed of two or more community types (Lidicker, 1995). Given this degree of "biological complexity" (Lidicker, 1995) a landscape level approach to the study of ecological phenomena provides a new perspective and explanation of ecological structure, organization and interactions (Lidicker, 1995).

At this level, the landscape is conceived as a mosaic of interacting habitats (Forman, 1986). Spatial structures of a landscape mosaic are critical to landscape function and change (Forman, 1986). Thus, a concept of spatially explicit (realistic) analysis and modeling was chosen as an approach in this paper

because of its suitability for studying landscape spatial structures and their effects on landscape functions and ecosystems (Lidicker, 1995; Hanski and Simberloff, 1997).

In landscape ecology, assumptions that are based upon landscape concepts can be described as follows (McDonnel and Picket, 1988):

1) Landscape subunits or landscape elements exist and exhibit values of parameters such as size, shape, composition and function that differ from their surroundings;

2) Landscapes are composed of repeating patterns of structurally and functionally distinct subunits that vary in composition, size, shape and arrangement.

These assumptions are based upon the landscape notions (McDonnel and Picket, 1988) that:

1) Landscapes are recognizable features of the surface of the earth;

2) Landscape structure influences landscape function and landscape dynamics.

A quantitative approach in landscape ecology aims to recognize implicit spatial characteristics embedded in patches and spatial patterns in a landscape mosaic and organize them into an explicit description of the spatial characteristics of patches and spatial patterns with the intention of addressing these research questions:

1) How can landscape spatial structures and patterns be analyzed, recognized, and characterized in a quantitative way?

2) How can a method of landscape spatial structure analysis and modeling be applied and integrated into the process of landscape planning and design?

3) For practical ends, how can the quantitative information, which has been analyzed, be synthesized into an understandable and applicable format?

4) How can the information from landscape spatial structure analysis be integrated and applied in the process of landscape planning and design?

Landscape Spatial Structures and Spatial Patterns

Patterns and processes play a significant role in landscapes. They affect the stability, and dynamics of landscapes and ecosystems. In nature reserve planning and design, it is necessary to understand and recognize patterns and processes as they pertain to structures, functions, and changes in landscapes.

As a mosaic of interacting ecosystems (Forman, 1986), landscape structures such as patches, corridors and matrix are recognizable and critical to landscape function and change (Forman, 1986). The mosaic of different community types is a key characteristic of the landscape that can provide an index of the range of biodiversity, productivity, and flux (Forman, 1986).

In a landscape, landscape structures are the product of the processes underlying them, conversely, landscape structures control and/or influence the functions or the processes within the landscape (Forman and Godron, 1986). The characteristics of size, shape, width, connectivity, adjacency, juxtaposition, porosity, and boundary shape can be analyzed and synthesized as information on the state of the ecosystem at the landscape level (Forman, 1986). Moreover, Turner and Gardner (1990) suggested that "landscape patterns can be quantified in relation to particular processes." The spatial characteristic of landscape structures was defined as landscape spatial structure or relationships among landscape structures or landscape elements (Fahrig and Merriam, 1995). To analyze a landscape, a method of superimposing maps of ecosystem components can be used as an effective tool (Forman and Godron, 1986).

Conceiving that landscape patterns and landscape processes are interrelated, McGarigal and Marks (1995) characterized landscape patterns as follows :

1) landscape composition: the variety and abundance of patch types within a landscape but not the placement or location of patches within the landscape mosaic;

2) landscape configuration: the physical distribution (patch isolation, patch contagion, etc.) or spatial character (shape, core area, etc.) of patches within the landscape.

Considering interactions among adjacent landscape elements, landscape configuration such as landscape connectivity may imply interdependence among landscape elements (Forman, 1995). In addition, "the internal spatial arrangement of elements" (Forman, 1995) and "behavioral interactions with landscape composition and landscape configuration" (Merriam, 1995) are critical to the functioning of a configuration (Forman, 1995).

Landscape Spatial Structure and Scale

In order to analyze landscape spatial structure, landscape scale needs to be defined. Defining different spatial and temporal scales affects the ecological analysis of a landscape (Meentemeyer and Box, 1987; Wiens, 1989; Turner et al., 1989a, and Turner, 1990). As a result, the outcome of ecological analysis could be altered because parameters and processes important at one scale are frequently not important or predictive at another scale (Turner et.al.,1989b; Danielson, 1992; Holt and Gaines, 1992; Morris and Browns, 1992). Wiens (1989) stated that "the disagreements among conservation biologists over the optimal design of nature reserves are due to a failure to appreciate scaling differences among organisms."

Turner et al. (1989a), Turner and Gardner (1990) stated definitions of scale-related terminology and concepts as :

Scale: The spatial or temporal dimension of an object or process, characterized by both grain and extent.

Level of organization:	The place within a biotic hierarchy (e.g., organism, deme, population).
Cartographic scale:	The degree of spatial reduction indicating the length used to represent a larger unit of measure; ratio of distance on a map to distance on the earth surface represented by the map, usually expressed in terms such as 1:10,000.
Resolution:	Precision of measurement: grain size, if spatial.
Grain:	The finest level of spatial resolution possible with a given data set; e.g., pixel size for raster data.
Extent:	The size of the study area or the duration of time under consideration.
Extrapolate:	To infer from known values; to estimate a value from conditions of the argument not used in the process of estimation; to transfer information (a) from one scale to another (either grain size or extent) or (b) from one system (or data set) to another system at the same scale.
Critical threshold:	The point at which there is an abrupt change in a quality, property, or phenomenon.
Absolute scale:	The actual distance, direction, shape, and geometry.
Relative scale:	A transformation of absolute scale to a scale that describes the relative distance, direction, or geometry base on some functional relationship (e.g., the relative distance between two locations based on the effort required by an organism to move between them).

The Characteristics of Landscape Spatial Structures (Landscape Elements)

Landscape spatial structure characteristics can be organized into four fundamental types: function, spatial configuration, scale and interaction characteristics. Each landscape spatial structure such as patch, corridor, matrix, including edge or boundary has it own distinct characteristic as follows (Forman and Godron, 1986; Forman, 1986):

Patch — Function: habitat (community types, vegetation type, etc.)
Spatial configuration: size, shape, location/orientation relative to other patches and environmental conditions, interpatch distances, adjacency to surrounding matrix or land use;
Scale: mostly local scale, individual patch;
Interactions: interactions among surrounding matrix, other patches and corridors.

Corridor — Function: path, connection, habitat (cover types);
Spatial configurations: line, strip, stream, intersection, connectivity, and network;
Scale: local scale or regional scale depending on the level of interactions and level of connectivity;
Interactions: interactions with attached patches and the surrounding matrix.

Edge — Function: boundary/transition zone;
Spatial configurations: shape of edge (e.g., straight line, convex, concave shape, etc.), porous edge, structural dimension (Forman and Moore, 1992), abruptness or discreteness;
Scale: local scale, individual patch;
Interactions: at the edge of an individual patch and adjacent matrix, edge effect.

Matrix Function: control flows over the landscape: the most extensive and most connected landscape element type;
Spatial configurations: mesh size (fine/coarse), distribution, dispersion, density, adjacency, juxtaposition, fragmentation, isolation, connectivity;
Scale: local scale or regional scale depending on the size and scale of a system observed;
Interactions: interactions within matrix, the effect of mesh size on grain size of species (Forman and Godron, 1986), the control of function and succession or change over the landscape.

Landscape Ecological Research Approaches for Landscape Planning and Design

In general, landscape ecology provides three main approaches to conduct landscape ecological research. These three approaches, which have already been reviewed, are structural approach, functional approach, and dynamic approach. The structural approach is the most useful for landscape planning and design because the data needed for conducting research can be collected far more easily than the data needed for the functional and dynamic approaches which need intensive field experiments and observations. The data for the structural approach can be obtained from the interpretation of aerial photographs and satellite images. However, to validate the structural model, evidence of the effects of landscape spatial structure characteristics on species diversity and distribution, the spread of disturbances, and the maintenance of viable population sizes are required. This evidence can be obtained from field observations or collected empirical data. The other advantage of the structural approach is that its data can be integrated with the results of the analysis or with a structural model to construct a dynamic model.

Landscape Spatial Structure Analysis Methods

The analysis of landscape spatial structures can be characterized into two categories according to their spatial characteristics:

1) Chorological structures (Zonneveld, 1985; Zonneveld, 1989a; Zonneveld, 1989b): horizontal heterogeneity; patches, corridors, matrix, juxtaposition, contagion, adjacency, fragmentation, isolation;

2) Topological structures (Zonneveld, 1985; Zonneveld, 1989a; Zonneveld, 1989b): vertical heterogeneity; vegetation types, hydrological regime, topography, soil types, geological units.

The chorological structures will function as manipulatable independent factors according to the change characteristics of the landscape. The topological structures will function as controlling independent factors according to their relationships with the chorological structures and their temporal dynamic characteristics. The chorological structures are a major factor in determining the function of the landscape such as fluxes of energy, nutrients, and species. They also can be used in a dynamic model to assess the dynamics of a landscape, landscape change, succession or degradation and other related processes such as species diversity, distribution and composition. The topological structures will determine the potential or constraint of the landscapes (suitability and capability) according to environmental conditions such as soil types, vegetation types, successional stage, etc. They also can be used in a dynamic model to evaluate landscape change in terms of degradation or restoration potential. These two spatial dimensions and their attributes can be interpolated and superimposed to develop a comprehensive analysis of the landscape and also develop landscape models for different purposes.

Landscape Spatial Structure Quantification

Methods for measuring calculating landscape spatial structures and patterns will play an important role in understanding landscape patterns and processes (Riser

et al., 1984). Quantifying structures and spatial relationships among landscape structures will provide vital information in order to assess, compare, analyze, and characterize the landscape for various purposes. Many concepts and methods have been developed, but some problems still remain. Radke (1988) showed the problem of how quadrat size affects frequency distribution in space. Franklin and Forman (1987) and LaGro (1991) demonstrated that different patterns of forest patch of the same total area could create different ecological effects. The most accurate and efficient way to quantify patterns in landscapes may require a series of measurement and a relationship matrix of those measurements to characterize and recognize the patterns. The following are some concepts and methods for quantifying landscape spatial structure, which range from conceptual framework to quantitative measurement.

1) Conceptual Framework

Hierarchical Structure

Urban et al. (1987) proposed a hierarchical structure to analyze landscape structures and relationships by decomposing structures which are characterized as hierarchically organized systems into discrete functional components operating at different scales. This method provides a tool to define the functional components of a system and relationships among components at different scales.

Pattern Characterization and Recognition

Risser et al. (1984) reviewed and described three methods of quantification as:

1) Topological measure of spatial heterogeneity: the application of a variety of graph theoretical methods, statistical, metric, and topological methods which can be use to analyze the connectivity of patch, patches, and matrix;

2) Spectral analysis: the application of time series method to study the relationships of pattern and processes and to elucidate the autocorrelation structures of the underlying processes;

3) Artificial intelligence methods: the application of several related techniques to the synthetic of pattern analysis in terms of recognizing and classifying patterns in landscapes.

Bookstein (1978) described methods to characterize and measure shape as:

1) Landmarks and the line through them (a set of points on the edge and the network of lines connecting them);
2) Tangent angle and curvature at the landmarks;
3) The skeleton, considering points which do not have a unique nearest neighbor upon outline.

Kirkpatrick and Radke (1985), and Radke (1988) suggested a useful tool to analyze connectivity and network by using the "β skeletons" method.

Haggett et al. (1977) suggested an alternative area-based method to quadrat counts for point pattern analysis by using Thiessen polygons.

Pielou (1977) suggested a two-phase mosaic method for analyzing clumped pattern. The random-sets mosaic, or S-mosaic is used to analyze the points pattern and correlation of sizes of cells and pattern. The sizes of cells can be used to describe the grain size of the pattern.

Okabe et al. (1992) showed that the nearest neighborhood graph could be used to analyze landscape pattern in term of the nearest points or patches in the landscape. They also showed that the relative neighborhood graph could be used to identify corridor network regarding the distance between nodes.

Beasom et al. (1983) suggested that the measurement of land surface ruggedness by the linear measurement of contour lines within a given area provide an accurate assessment. Ruggedness is a function of the total length of all contour line traversing a given area. Total length is a direct function of the number of contour lines (elevational changes) and irregularity of the land surface.

2) Quantitative Measurement

In terms of quantitative measurements of landscape spatial structures, there are many studies that have focused on this aspect of landscapes. Examples of quantitative measurement methods are summarized as follows:

1) Relative richness (R) (Romme, 1982): the number of distinct taxa present.

$$R = \frac{S}{S_{max}} \times 100$$

R = number of different habitat types present
S_{max} = maximum number of habitat types possible

2) Relative evenness (E) (Romme,1982): the distribution of individuals among those taxa.

$$E = \frac{H_{2(j)}}{H_{2(max)}} \times 100$$

$$H_2 = -\ln \sum_{i=1}^{S} Pk^2$$

$H_{2(j)}$ = modified Simpson's dominance index for landscape j
$H2_{(max)}$ = maximum possible H2 for S community types
Pk = proportion of total landscape area covered by habitat k
S = number of habitats present

Romme (1982) also noted that "maximum evenness occurring when every types occupies an equal area."

3) Relative patchiness (P) (Romme, 1982): the size and interspersion of individual community units.

$$P = \frac{\sum_{j=1}^{N} Di}{N} \times 100$$

N = number of boundaries between adjacent cells

Di = dissimilarity value for boundary between adjacent cells

4) Diversity (H) (O'Neill et al., 1988; Turner, 1989): the measure of maximum diversity when habitats occur in equal proportion.

$$H = -\sum_{k=1}^{S}(Pk)\ln(Pk)$$

Pk = the proportion of the landscape in habitat k

S = the number of habitat observed

The larger the value of H, the more diverse the landscape.

5) Dominance (Do) (O'Neill et al., 1988; Turner, 1989):

$$Do = H\max + \sum^{S}(Pk)\ln(Pk)$$

S = the number of habitats observed

Pk = the proportion of the landscape in habitat k

H_{max} = ln(S), the maximum diversity when habitats occur in equal proportions

The dominance index measures the extent to which one or a few land uses dominate the landscape (the large value of Do).

6) Fractal dimension (d) (O'Neill et al., 1988; Turner, 1989):

$$\log(A) \approx d\log(P)$$

A = the area of a two-dimensional patch

P = the perimeter of the patch at a particular length-scale

d = the fractal dimension

The fractal dimension is an index of the complexity of shapes on the landscape.

7) Contagion (C) (O'Neill et al., 1988; Turner, 1989):

$$C = 2S\log S + \sum^{m}\sum^{n} q_{i,j}\log q_{i,j}$$

q = the probability of habitat i being adjacent to habitat j

S = the number of habitat observed

The contagion index measures the extent to which land uses are aggregated or clumped.

8) Shape of a patch (Di) (Game, 1980; Forman and Godron, 1986):

$$Di = \frac{\mathrm{Pr}}{2\sqrt{A\pi}}$$

Di = an index of shape of patch i

Pr = the perimeter of the patch

A = the area of the patch

Haggett et al. (1977) discussed various methods for measuring shapes as:

Elongation ratio:

$$\frac{L}{L'}$$

Form ratio:

$$(4A)\,P^2$$

Circularity ratio:

$$\frac{A}{L^2}$$

Compactness ratio:

$$\frac{(2\sqrt{\pi A})}{P}, \quad \frac{A}{A'}, \quad \frac{1.273A}{L^2}$$

A = area, L = longest (major) axis, L' = secondary (minor) axis, P = perimeter, A' = area of smallest circle to enclose figure

9) Isolation of a patch (ri) (Forman and Godron, 1986):

$$r_i = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{j=n} d_{ij}$$

ri = an index of isolation of patch I

n = the number of neighboring patches considered

dij= the distance between patch i and any neighboring patch j

10) Accessibility of a patch (ai) (Forman and Godron, 1986):

$$a_i = \sum_{j=1}^{j=n} d_{ij}$$

ai = an index of the accessibility of patch i

dij= the distance along a linkage between patch i and any of the n neighboring patches j

11) Interaction among Patches (Ii) (Forman and Godron, 1986):

$$I_i = \sum_{j=1}^{j=n} \frac{A_j}{d_j^{\,2}}$$

Ii = the degree of interaction of patch i with n neighboring patches

Aj = the area of any neighboring patch j

Dj = the distance between the edges of patch i and any patch j

12) Isolation of Patches (D) (Forman and Godron, 1986):

$$D = \sum(\sigma^2 x + \sigma^2 y)$$

D = an index of the isolation of all patches present

Patches are located on a grid with x and y coordinates. The average location and the variance for all patches are calculated for the y coordinate, $\sigma^2 x$ and $\sigma^2 y$ are the variances on the x and y coordinates, respectively.

13) Dispersion of Patches (Rc) (Forman and Godron, 1986):

$$R_c = 2 d_c \left(\frac{\lambda}{\pi}\right)$$

Rc = an index of dispersion

dc = the average distance from a patch (its center or centroid) to its nearest neighboring patch

λ= the average density of patches.

Rc < 1 for aggregated patches and Rc >1 (up to a maximum of 2.149) for regularly distributed patches. This equation is a measure of aggregation.

14) Compactness Ratio ($S2$) (Unwin, 1981):

$$S_2 = \left(\frac{a}{a_c}\right)^{0.5}$$

a = measured area of the shape

ac = area of the circle having the same perimeter as the measured area

15) Fragmentation Index (F) (Robinove, 1986):

$$F = \frac{(m-1)}{(n-1)}$$

m = the number of map regions

n = the number of areal units

16) Spatial Contiguity Index (C) (LaGro, 1991): the measurement of spatial connectedness.

$$C_{(f)} = \frac{\left[\left(\frac{\sum_{i=1}^{n} C'_{(i,f)}}{n_{(f)}}\right) - 1\right]}{(m-1)} + 1$$

$C(j)$ = contiguity index for a patch of class (j)
c = contiguity value for pixel (i) of class (j)
$n(j)$= total number of pixels of class (j)
m = sum of the template(grid cells) values.

17) Minimal Cumulative Resistance (P) (Knaapen et al., 1992): The probability of successful coverage of a given route leading through n different landscapes.

$$P = f\sum_{i=1}^{i=n}(d_i \times r_i)$$

P = the probability of successful coverage of the whole trajectory
f = some unknown but monotonically decreasing function
i = the distance traveled through landscape i
r = the resistance of landscape i

Knaapen (1992) also noted that "The precise form of the function (f) will generally be obscure, but since it is monotonic, the sum of products (di x ri), or 'cumulative resistance', can be taken as an indication of the relative difficulty of a whole trajectory for migration."

Some of these measures should be used with caution because dependability and generality in describing landscape patterns are unclear (Forman and Godron, 1986). However, these measures provide useful conceptual frameworks and some directions that need to be developed and tested.

Landscape spatial structure measurements can be described according to the scale of patterns and processes (Forman and Godron, 1986) as follows:

1) Fine scale : individual patch (local scale), size, shape, edge effect, fractal dimension, compactness ratio, edge-area ratio;

2) Intermediate scale : inter-patches;

level 1 : patches and matrix, juxtaposition, the adjacency of land cover types, isolation of a patch, accessibility of a patch;

level 2 : network and connectivity among patches, interaction among patches:

3) Broad scale : landscape mosaic/matrix, diversity, relative evenness, relative patchiness, dominance, contagion, isolation of patches, fragmentation, dispersion of patches and spatial contiguity.

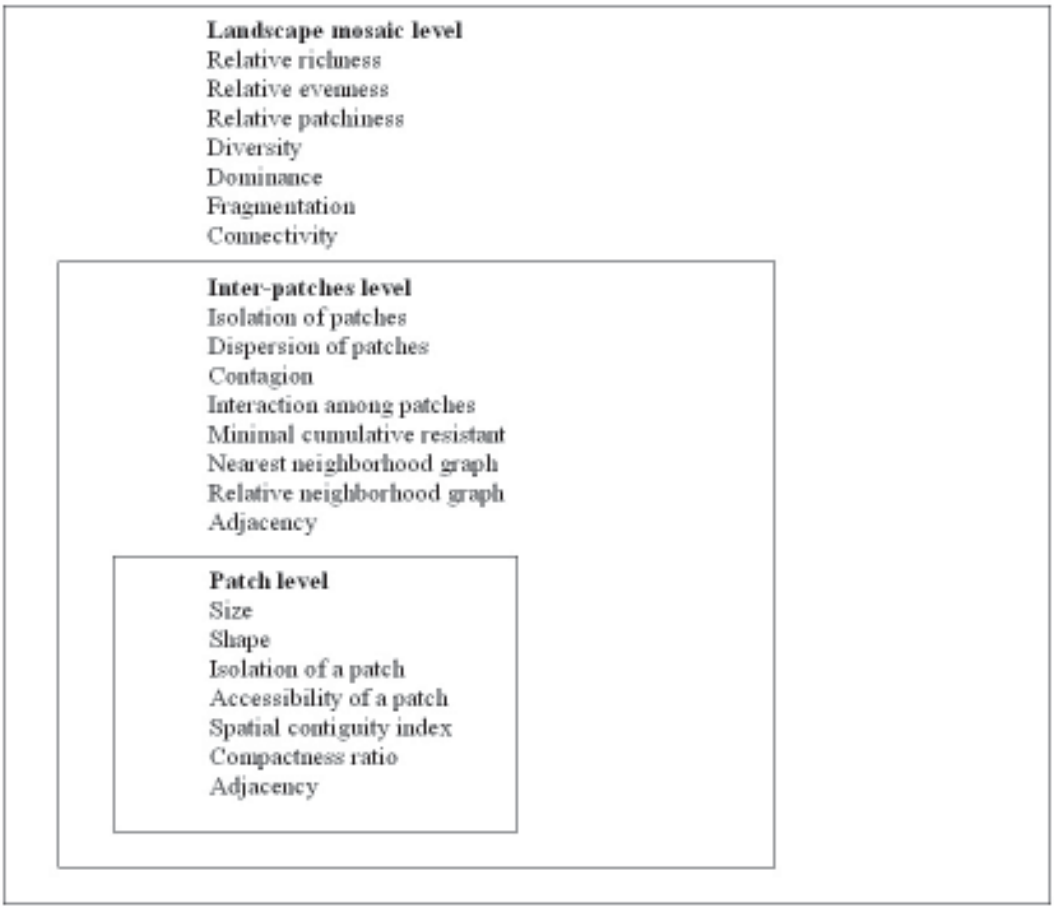

Figure 1: A conceptual diagram of landscape spatial structure measurements and scale.

Spatial analysis, Geographic Information Systems (GIS) and Remote Sensing

Geographic Information Systems (GIS) and Remote Sensing have been developing and used in ecological research particularly at broad scales such as in landscape ecology, geography, geology, and wildlife habitat relationships, etc. Remote Sensing provides raw spatial data at a broader scale than any other methods. But the raw data from Remote Sensing needs to be interpreted and classified in order to provide usable information with regard to the limitation of resolution and accuracy of the data. Aimed to process spatial information, GIS provides a useful tool to assess and monitor landscapes and changes over time (Berry, 1987; Gulinck and Janssens, 1987; Norton et al., 1990; Quattrochi and Pelletier, 1991). It also provides a powerful tool to organize, classify, and manage a very complex set of spatial data and their attribute. In addition, it is an efficient tool to analyze, characterize, dis-aggregate and aggregate data for different purposes. GIS is useful in assessing, characterizing, recognizing, evaluating and modeling data both spatially and temporally. The applications of GIS in landscape ecological research are summarized as follows (Johnson, 1990):

1) Characterization and measurement of areas: reclassify attributes of polygons or areas, area measurement;
2) Spatial coincidence: vertical intersection or overlay of spatially distributed data, overlay operation for the purpose of merging separate spatial data for;
   - 2.1) Spatial intersection;
   - 2.2) Temporal changes;
3) Proximity analysis: proximity and juxtaposition of landscape elements;
4) Linear measurement and analysis: perimeter measurement, fractal dimension, area-perimeter ratio, and network analysis;
5) Linkage with spatial models: spatial distribution, coincidence or proximity of variables.

The different formats of GIS data such as raster and vector have different advantages and disadvantages in landscape spatial structure analysis and

modeling. This research will utilize both of these two formats because some quantitative methods are based on raster analysis and some are based on vector analysis.

The implication of landscape spatial structures analysis can be used at various levels and for various purposes. The emergence of new technology such as Geographic Information Systems (GIS), Remote Sensing, and Artificial Intelligence (Coulson et al., 1991) will provide useful tools to analyze a series of complex data of landscape spatial structures and their relationships.

Conclusion

The analysis of landscape spatial structures is one of the most important of the landscape analyses (structural analysis, functional analysis, structural-functional or relationships analysis, and dynamic analysis) (Forman 1989a) and may be the most feasible one or the least expensive one compared with the cost of data inventories. It also will play an important role in landscape planning especially for landscape analysis and synthesis and also in decision making and evaluation based on the framework of ecological and sustainable aspects. The information from landscape spatial structure analysis can be used in describing or characterizing landscape spatial structures.

With additional information provided by an analysis of the attributes of landscape spatial structures, the information from landscape spatial structure analysis can be used as indicators of landscape functions, which will enable us to evaluate both spatial and functional characteristics of the landscape. Moreover, with an analysis and comparison of landscape spatial structures and their attributes over different periods of time, the information can be used as indicators of landscape changes and stability. A combination of information on the landscape will enable us to evaluate the landscape as a dynamic system and can also be used to simulate hypothetical alternatives or changes in the landscape.

The analysis of landscape spatial structures demonstrates the potential of a more effective way to study large and complex ecosystems such as landscapes. With the help of new technologies, the analysis will provide a capability and ability to characterize, recognize and assess a landscape in a quantitative and qualitative manner.

Bibliography

Allen, T. F. H. and Hoekstra, T.W. 1992. Toward a Unified Ecology, Complexity in Ecological Systems Series. New York: Columbia University Press.

Berry, J.K. 1987. "A Mathematical Structure for Analyzing Maps". Environmental Management 11, 3: 317-325.

Beasom, S.L, Wiggers, E.P. and Giardino, J.R. 1983. "A technique for Assessing Land Surface Ruggedness". Journal of Wildlife Management. 47, 4: 1163-1166.

Bookstein, F.L. 1978. The Measurement of Biological Shape and Shape Change, Lecture Notes in Biomathematics 24. New York: Springer-Verlag.

Coulson, R.N. et al. 1991. "Intelligent Geographic Information Systems for Natural Resource Management". In M.G. Turner and R.H. Gardner (eds.). Quantitative Methods in Landscape Ecology. New Yoek: Springer-Verlag.

Danielson, B.J. 1992. "Habitat Selection, Interspecific Interactions and Landscape Composition". Evolutionary Ecology 6: 399-411.

Fahrig, L. and Merriam, G. 1995. "Conservation of Fragmented Populations". In D. Ehrenfeld (edt.). The landscape Perspective. Cambridge, M.A.: Society for Conservation Biology.

Forman, R.T.T. 1989a. "Ecologically Sustainable Landscapes: The Role of Spatial Configuration". In I.S. Zonneveld and R.T.T. Forman (eds.). Changing Landscapes: An Ecological Perspective, pp.261-278. New York: Springer-Verlag.

_____. 1986. "Emerging Directions in Landscape Ecology and Applications in Natural Resource Management". In R. Herrmann and T. B. Craig (eds.). Proceedings of Conference on Science in the National Parks. Vol.1, pp.59-88. (n.p.).

_____. 1995. Land Mosaics: the Ecology of Landscapes and Regions. Cambridge, N.Y.: Cambridge University Press.

Forman, R.T.T. and Godron, M. 1986. Landscape Ecology. New York: John Wiley and Sons.

Forman, R.T.T. and Moore, P.N. 1992. "Theoretical Foundtions for Understanding Boundaries in Landscape Mosaics". In A.J. Hansen and F. di Castri (eds.). Landscape Boundaries: Consequences for Biotic Diversity and Ecological Flows. New York: Springer-Verlag.

Franklin, J.F. and Forman, R.T.T. 1987. "Creating Landscape Patterns by Forest Cutting: Ecological Consequences and Principles". Landscape Ecology 1, 1: 5-18.

Game, M. 1980. "Best Shape for Nature Reserves". Nature. 287: 630-632.

Gulinck, H. and Janssens, P. 1987. "Remote Sensing and Landscape Approaches to Earth Resources". In Proceeding of IGARSS'87 Symposium. pp.467-472. Ann Arbor: (n.p.).

Haggett, P.,Cliff, A.D. and Frey, A. 1977. Locational Analysis in Human Geography. 2nd ed. (n.p.): Edward Arnold.

Hanski, I and Simberloff, D. 1997. "The Metapopulation Approach, Its History, Conceptual Domain, and Application to Conservation." In I. Hanski and M.E. Gilpin (eds). Metapopulation Biology: Ecology, Genetics, and Evolution. San Diego: Academic Press.

Holt, R.D., and Gaines, M.S. 1992. "Analysis of Adaptation in Heterogeneous Landscapes: Implications for the Evolution of Fundamental Niches". Evolutionary Ecology 6: 433-447.

Johnson, L.B. 1990. "Analyzing Spatial and Temporal Phenomena Using Geographical Information Systems: A Review of Ecological Applications". Landscape Ecology 4, 1: 31-43.

Kirkpatrick, D.G. and Radke, J.D. 1985. "A Framework for Computational Morphology". In G.T. Toussaint (ed.). Computational Geometry. (n.p.): Elsevier Science.

Knnapen, J.P., Scheffer, M. and Harms, B. 1992. "Estimating Habitat Isolation in Landscape Planning". Landscape and Urban Planning. 23,: 1-16.

LaGro, J.Jr. 1991. "Assessing Patch Shape in Landscape Mosaics". PE&RS 57, 3: 285-293.

Lidicker Jr., W.Z. 1995. "The Landscape Concepts: Something Old, Something New". In W.Z. Lidicker, Jr. (ed.). Landscape Approaches in Mammalian Ecology and Conservation. Minneapolis: University of Minnesota Press.

McDonnel, M.J. and Pickett, S.T.A. 1988. "Connectivity and the Theory of Landscape Ecology". In Connectivity in Landscape Ecology, Proceedings of the 2nd International Seminar of the "International Association for Landscape Ecology" 1987, Munster in Westfalen, Germany, International Association of Landscape Ecology, Munstersche Geographische Arbeiten; Heft 29. Paderborn: F. Schoningh.

McGarigal, K. and Marks, B. J. 1995. Fragstats: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure, Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station.

Meentemeyer, V. and Box, E.O. 1987. "Scale Effects in Landscape Study". In M.G. Turner (ed.). Landscape Heterogeneity and Disturbance. New York: Springer-Verlag.

Merriam, G. 1995. "Movement in Spatially Divided Populations: Responses to Landscape Structure". In W. Z. Lidicker, Jr. (ed.). Landscape Approaches in Mammalian Ecology and Conservation. Minneapolis: University of Minnesota Press.

Morris, D.W. and Brown, J.S. 1992. "The Role of Habitat Selection in Landscape Ecology". Evolutionary Ecology 6: 357-359.

Norton, D.J., Muchoney, D.M. and Slonecker, E.T. 1990. "Ecological Monitoring Using Remote Sensing-Supported GIS". ACSM-ASPRS Papers 4: 306-315.

Okabe, A., Boots, B. and Sugihara, K. 1992. Spatial Tessellations Concepts and Applications of Voronoi Diagrams. New York: John Wiley & Sons.

O'Neill, R.V. 1988. "Indices of Landscape Pattern". Landscape Ecology. 1,3: 153-162.

Pielou, E.C. 1977. Mathematical Ecology. New York: John Wiley & Sons.

Quattrochi, D.A. and Pelletier, R.A. 1991. "Remote Sensing for Analysis of Landscapes: An Introduction". In M.G. Turner and R.H. Gardner (eds.). Landscape Ecology: The Analysis and Interpretation of Landscape Heterogeneity. New York: Springer-Verlag.

Radke, J.D. 1988. "On the Shape of a Set of Points". In G.T. Toussaint (ed.). Computational Morphology. North-Holland: Elsevier Science.

Risser, P.G., Karr, J.R. and Forman, R.T.T. 1984. Landscape Ecology Directions and Approaches, Illinois Natural History Survey Special Publication Number 2. (n.p.): The Illinois Natural History Survey.

Robinove, C.J. 1986. "Spatial Diversity Index Mapping of Classes in Grid Cell Maps". PE&RS 52,8: 1171-1173.

Romme, W.H. 1982. "Fire and Landscape Diversity in Subalpine Forests of Yellowstone National Park". Ecological Monographs 5, 2: 199-221.

Thom, R. 1975 Structural Stability and Morphogenesis: An Outline of a General Theory of Models. Reading, MA.: W.A.Benjamin.

Turner, M.G. 1989. "Landscape Ecology: The Effect of Pattern on Process". Annual Review of Ecology and Systematics. 20: 171-197.

_____. 1990. "Spatial and Temporal Analysis of Landscape Pattern". Landscape Ecology. 4, 1: 21-30.

Turner, M.G. and Gardner, R.H. 1990. "Introduction". In M.G. Turner and R.H. Gardner (eds.). Quantitative Methods in Landscape Ecology: The Analysis and Interpretation of Landscape Heterogeneity. New York: Springer-Verlag.

Turner, M.G., Dale, V.H. and Gardner, R.H. 1989a. "Predicting Across Scale: Theory Development and Testing". Landscape Ecology 3, 3/4: 245-252.

Turner, M.G. et al. 1989b. "Effects of Changing Spatial Scale on the Analysis of Landscape Pattern". Landscape Ecology 3, 3/4: 153-162.

Unwin, D. 1981. Introductory Spatial Analysis. New York: Methuen.

Urban, D.L.,O'Neill, R.V. and Shugart Jr., H.H. 1987. "Landscape Ecology: A Hierarchical Perspective Can Help Scientist Understand Spatial Patterns". Bioscience 37 2: 119-127.

Vos, C.C. and Zonneveld, I.S. 1993. "Patterns and Processes in a Landscape Under Stress: The Study Area". In C.C. Vos and P. Opdam (eds.) Landscape Ecology of A Stressed Environment. London: Chapman & Hall.

Wiens, J.A. 1989. "Spatial Scaling in Ecology". Functional Ecology 3: 385-397.

Zonneveld, J.I.S. 1985. "The Landscape, Our Environment". Geograficky Casopis 37: 277-285.

Zonneveld, I.S. 1988. "Landscape Ecology and Its Application". In Landscape Ecology and Management, Proceedings of the First Symposium of the Canadian Society for Landscape Ecology and Management, University of Guelph, May,1987. Montreal: Polyscience Publications.

_____. 1989a. "Scope and Concepts of Landscape Ecology as an Emerging Science". In I.S. Zonneveld and R.T.T. Forman (eds.) Changing Landscapes: An Ecological Perspective. New York: Springer-Verlag.

_____. 1989b. "The Land Unit - A Fundamental Concept In Landscape Ecology, and Its Applications". Landscape Ecology 3, 2: 67-86.