บทที่ 5
พื้นฐานโดยทั่วไปของงานยีออเดซี

1. คำนำ

เมื่อการสำรวจดำเนินไปด้วยความละเอียดขนาดหนึ่ง หรือกระทำไปในพื้นที่กว้างใหญ่ไพศาล ซึ่งการสำรวจนั้นมีความจำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงความโค้งของผิวพิภพด้วย การสำรวจชนิดนั้นเรียกว่า การสำรวจชั้นสูง (Geodetic Surveying)

การสำรวจชั้นสูงเป็นการสำรวจเพื่อการกำหนดหาละติจูด (Latitudes) และ ลองจิจูด (Longitudes) ของจุดต่าง ๆ บนพื้นผิวพิภพอย่างถูกต้องแม่นตรง อาจให้คำนิยามการสำรวจอย่างความหมายทั่ว ๆ ไปว่า "เป็นวิธีการกำหนดหา และแสดงการเขียนแบบของพื้นผิวดิน, การขยาย, การกำหนดตำแหน่ง, ทิศทาง ฯลฯ โดยถือวิธีการรังวัดมุม และระยะ เป็นหลักแล้วใช้หลักเกณฑ์วิชาเรขาคณิตกับตรีโกณมิติเข้าช่วย" เทคนิคสมัยใหม่ได้นำเอาวิธีกำหนดหาตำแหน่งของจุดด้วยเครื่องมือวัดระยะยาวมาก ๆ กับการวัดระยะสั้น ๆ ที่อยู่ในระหว่างระยะไกลนั้นมาใช้ เทคนิคการสำรวจสมัยใหม่นี้มีอยู่ 4 อย่างด้วยกัน

1) การกำหนดหาตำแหน่งเชิงดาราศาสตร์ เช่น การใช้ดาวเทียม, การใช้ดาว ฯลฯ

2) การสามเหลี่ยม (Triangulation)

3) การรังวัดด้านทั้งสามของสามเหลี่ยม (Trilateration)

4) การวงรอบ (Traverse)

วิธีทั้ง 4 อย่างนี้ มีกระทำกันอยู่ทั่วไปในการกำหนดหาตำแหน่งของจุดบนผิวพิภพอย่างถูกต้องแม่นตรง และในระยะไม่กี่ปีมานี้ได้มีการพัฒนากันอย่างกว้างขวางทางเทคนิค

สมัยใหม่ มีวิธีแปลก และใหม่จากการใช้เทคนิคทางห้วงเวหา เช่น การขยายโครงข่ายสามเหลี่ยมโดยอาศัยดาวเทียมเป็นต้น เป็นวิธีการกำหนดหาตำแหน่งของจุดในทางราบ ส่วนวิธีการกำหนดหากำหนดสูงของจุดบนพื้นผิวพิภพนั้นใช้วิธีการระดับพิเศษซึ่งมีความละเอียดสูง

2. ยีออเดซี

ยีออเดซีเป็นวิชาว่าด้วยการศึกษาพิจารณาถึงรูป และขนาดของพื้นผิวพิภพ ขนาดและรูปร่างของพิภพ ได้จากการรังวัดโดยตรง และจุดต่าง ๆ บนผิวพิภพก็สามารถกำหนดหาได้เชิงสัมพัทธ์ โดยเหตุนี้จำเป็นต้องทราบรูปร่างของพิภพอย่างน้อยก็จะต้องทราบอย่างหยาบ ๆ วิธีการอันสำคัญในการกำหนดหารูปร่างของพิภพ คือ

1) การรังวัดระยะส่วนโค้ง คือ ระยะในแนวเมริเดียน, ระยะตามวงกลมขนาน หรือส่วนโค้งในแนวเฉียง

2) การรังวัดระยะในโครงข่ายสามเหลี่ยมที่ขยายคลุมพื้นที่อันหนึ่งประกอบกับกำหนดหาตำแหน่งของจุดในโครงข่ายด้วยงานดาราศาสตร์ และ

3) การรังวัดการแปรเปลี่ยนของแรงดึงดูดพิภพในส่วนต่าง ๆ ของพื้นผิวพิภพ (คือ การรังวัดความดูดพิภพ ณ ส่วนต่าง ๆ บนพื้นผิว)

วิธี 1) และ 2) จะให้เราทราบขนาด และรูปร่างของพิภพ ส่วนวิธี 3) จะให้แต่เพียงรูปร่างเท่านั้น แต่จะไม่ให้ค่าของขนาดโดยตรง

หากพื้นผิวพิภพเป็นพื้นแบนราบตามที่มนุษย์โบราณคาดคิด วิชายีออเดซีจะไม่เกิดมีขึ้น เพราะการรังวัดโดยอาศัยหลักเรขาคณิตเบื้องต้นของ ยูคลิด (Euclid) ก็สามารถกำหนดหาลักษณะเชิงภูมิศาสตร์ได้อย่างถูกต้อง แต่ความจริงนั้นการรังวัดใด ๆ มักมีความยุ่งยากเกี่ยวข้องอยู่กับสถานะภาพสิ่งแวดล้อมมากหลาย ซึ่งมีส่วนทำให้เกิดความเคลื่อนคลาดสืบเนื่องมาจากขนาดของภูมิประเทศที่เราดำเนินการรังวัด และคำนวณต่อเนื่องกันมา เช่น

สมมุติมีจุด 3 จุดบนผิวพิภพอยู่ห่างจากกันมาก ๆ เมื่อตั้งกล้อง ณ จุดทั้ง 3 นั้นทำการรังวัดมุมมา รวมมุมทั้ง 3 ที่รังวัดจะได้ค่ามาค่าหนึ่งซึ่งจะโตกว่า 180° หรือลองพิจารณาถึงระบบการแบ่งพื้นที่ดินสาธารณะที่จะทำเป็นย่านเมือง มีพื้นที่ขนาดหกตารางไมล์ มีด้านขยายจากเหนือไปใต้ และจากตะวันออกไปตะวันตก ในแนวความคิดที่ถือพื้นผิวพิภพแบนราบนั้นอาจเสนอสนองความต้องการแล้วในเมื่อเราได้พื้นที่อยู่ในขอบเขตที่เป็นแนวไปทางเหนือ-ใต้ และออก - ตก แต่ในทางปฏิบัตินั้นเป็นไปไม่ได้ เพราะผิวพิภพเป็นพื้นผิวโค้ง พื้นที่ดินขนาดหกตารางไมล์ ความโค้งของพิภพจะเข้าไปมีส่วนเกี่ยวอยู่ด้วย

3. พิภพจริง (Actual Earth)

พิภพที่เราอาศัยอยู่นี้เกิดขึ้นมาอย่างไร มีอายุเท่าไร นับว่าเป็นปัญหาที่ตอบยากแม้จะมีผู้ตอบให้ทราบก็เป็นแต่เพียงให้เหตุผลจากข้อสมมุติฐานต่าง ๆ เท่านั้น ส่วนความจริงจะเป็นอย่างไรเป็นอีกเรื่องหนึ่งต่างหาก อย่างไรก็ดีได้มีการประชุม ค้นคว้า ศึกษา คำนวณหาและคาดคะเนกันมากหลาย อายุของพิภพมีหลักฐานต่าง ๆ ปรากฏอยู่ในเรื่องนิยายศาสนาจนกระทั่งไม่นานมานี้เมื่อฮัตตัน (Hutton) ได้ก่อตั้งวิชาธรณีวิทยาทำให้ความเชื่อและตระหนักใจ มิได้ตั้งรากฐานอยู่ในลักษณะ "คาดหรือเดา" แต่ตั้งอยู่บนรากฐานเชิงธรณี ฮัตตันตระหนักว่าต้องใช้เวลามหาศาลที่จะประมวลผลจากการศึกษาการพิจารณาของเขาให้สำเร็จลง ซึ่งเขาได้เขียนจารึกด้วยถ้อยคำว่า "เขาไม่เห็นมีร่องรอยอันใดในการเกิดและการดับของพิภพ" อีกแง่หนึ่งพวกนักวิทยาศาสตร์รุ่นเดียวกับเขาไม่เห็นด้วยกับข้อเขียนของฮัตตัน เขาเชื่อว่าเขามีเหตุผลที่จะแสดงให้เห็นย้อนหลังไปถึงวันเกิดของพิภพ ทั้ง ๆ ที่เขาก็ยังสงสัยอยู่เหมือนกันว่า พิภพเกิดขึ้นได้อย่างไร

ศาสตราจารย์โฮลมส์ (Holmes) ได้ใช้ชีวิตคลุกคลีอยู่กับเรื่องนี้ เขาเขียนหนังสือให้ทราบถึงอายุพิภพ นาฬิกาเชิงธรณีชนิดต่าง ๆ ที่ประดิษฐ์ขึ้นและนาฬิกาเหล่านี้ดูเหมือนจะแสดงให้ทราบเกี่ยวกับประวัติของพิภพตามระยะเวลาต่าง ๆ ที่ผ่านมาอีกด้วย อัตราการเสริมสร้าง (Deposition) หรือการมารวมตัวของชั้นหินจำพวกหินชั้น (Sedimentary rocks) ความเค็ม

ของมหาสมุทรและอัตราการแข็งตัวและเย็นตัวของพิภพที่เชื่อกันโดยทั่วไปนั้น ได้ถูกนำเอาไปใช้ดังหนึ่งคล้ายไม้บรรทัดสำหรับวัดความเป็นไปของพิภพ

สำหรับเรื่องการเสริมสร้างนับเป็นขอบเขตอันสำคัญยิ่ง ส่วนเรื่องความเค็มและการแข็งตัวเย็นตัวของพิภพมีช่องโหว่มากหลายที่น่าสังเกตซึ่งมันได้ละทิ้งตัวการสำคัญ ๆ หลายอย่าง อย่างไรก็ดี ปัจจุบันได้มีการใช้นาฬิกาที่มีความถูกต้องละเอียดสูงและอัตราการเสื่อมสลายของธาตุแท้ทางกัมมันตภาพเป็นเครื่องวัด ตามข้อเขียนของศาสตราจารย์โฮลมส์ว่า กระบวนการอันหนึ่งเท่านั้นที่จะรู้ได้ถึงภาวะความเป็นไปของพิภพ คือกระบวนการที่เป็นไปตามยุคตามสมัยตลอดยุคเชิงธรณีและกระบวนการอันก่อให้เกิดผลที่สามารถวัดได้ตามอัตราที่ทราบแล้วอันหนึ่ง นั่นคือต้องทราบถึง "กฎการแปรเปลี่ยนตามระยะเวลา" เขาเชื่อว่าอายุพิภพอยู่ระหว่าง 3,000 ล้านถึง 5,400 ล้านปี นี่เป็นข้อความสุดท้ายในข้อความที่เขียนขึ้นและมีข้อเขียนที่สมบูรณ์คือว่าด้วยการวิจัยทางคำนวณของเขายากแก่การเข้าใจต่อนักอ่านทั่ว ๆ ไป และตอนสุดท้ายของบทความเขาสรุปจบลงด้วยคำว่า เขาพอใจให้อายุของพิภพอยู่ระหว่าง 3,350 ล้านปี ซึ่งคิดว่าแม้จะผิดก็ไม่มากนัก

ในการประมาณอายุพิภพเมื่อไม่นานมานี้ ประมาณโดยอาศัยการเพิ่มขึ้นของระยะของกลุ่มดาวทางช้างเผือกระหว่างทางช้างเผือกทั้งหลาย และการเพิ่มขึ้นในทางอัตราเร็วของทางช้างเผือกที่ถดถอยห่างไปจากตัวเราพร้อมกับระยะที่เพิ่มขึ้นนั้น กับประมาณโดยอาศัยการกำหนดอายุจากการรังวัดความเร็วของปฏิกิริยาเชิงเคมีทางกัมมันตภาพ ทำให้ทราบว่าอายุของพิภพเรานี้ประมาณ 5,000,000,000 ปี

สิ่งหนึ่งที่ก้าวไปสู่การค้นให้ทราบอายุของพิภพ คือการตั้งปัญหาถามตัวเองถึงความเค็มของน้ำในมหาสมุทร เหตุไรจึงเค็มยิ่งนัก หากเป็นไปได้พิภพเราตอนประกอบตัวเองขึ้นเป็นพิภพต้องร้อนจัดและน้ำทั้งหลายจะเดือดกลายเป็นไอลอยอยู่ในอากาศแล้วก็ตกลงมาเป็นฝนขนาดหนัก ณ ขณะที่ผิวพิภพเย็นตัวต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำเดือด เราทราบกันดีว่าน้ำฝนที่ตกลงมานั้นมิได้นำเกลือลงมาด้วย ฉะนั้นอาจให้ข้อยุติได้ว่าเมื่อแรกเริ่มที่มหาสมุทรจะก่อตัวเองขึ้นนั้นมันต้องเต็มไปด้วยน้ำจืดทั้งสิ้น เมื่อเป็นเช่นนี้จึงมีปัญหาต่อไป เกลืออันมีจำนวนมหาศาลที่เราพบในมหาสมุทรปัจจุบันนั้นมาสู่มหาสมุทรได้อย่างไร? การตอบปัญหานี้คงไม่

สู้ยากนัก ความเค็มของน้ำในมหาสมุทรเกิดจากแม่น้ำเป็นตัวการ น้ำฝนที่ตกลงสู่ภาคพื้นทวีปเป็นน้ำจืด แต่น้ำนี้ต้องไหลลงสู่ที่ต่ำ เช่น ไหลจากยอดเขาและเขาลงมาสู่ที่ต่ำตามลาด มันจะกัดเซาะพื้นผิวหินชนิดต่าง ๆ ทำการชะล้างเอาแร่ธาตุเกลือเล็กน้อย ที่มีอยู่ติดไปด้วยแล้วไหลลงสู่มหาสมุทร การรวมตัวของธาตุเกลือเล็กน้อยในแม่น้ำเราอาจชิมดูได้จะมีความเค็มปรากฏชัด และอาจยืนยันเรื่องนี้ได้โดยผู้ที่พยายามดื่มน้ำกลั่นที่บริสุทธิ์เชิงเคมี น้ำที่ระเหยกลายเป็นไอไปสู่ที่รองรับที่หนึ่งจะทิ้งธาตุเกลือไว้ที่ก้นภาชนะสำหรับต้ม ลักษณะนี้ไม่ต่างกับน้ำในมหาสมุทรซึ่งจำนวนน้ำที่ถูกเผากลายเป็นไอไปด้วยพลังแสงแดดมีจำนวนหลายหมื่นหลายพันล้านล้านตันที่เป็นไอขึ้นไปทุกวัน และไอมิได้นำเอาเกลือที่ละลายติดไปด้วย แต่กลับทิ้งไว้ที่ก้นมหาสมุทรนั้นเอง ไอน้ำรวมตัวกันในอากาศจะกลายเป็นเมฆ ส่วนใหญ่ของเมฆจะตกลงมาสู่พิภพอีกทั้งในภาคพื้นทวีปและมหาสมุทร สำหรับฝนที่ตกบนภาคพื้นทวีปก็จะมีกระบวนการวกวนดังกล่าวมาแล้ว การเพิ่มตัวของเกลือในมหาสมุทรจะมีมากขึ้น ๆ จะเป็นอยู่อย่างนี้ไม่รู้จักจบสิ้น จะเป็นวงจรซ้ำตัวเองอยู่อย่างนี้ชั่วกัปชั่วกัลป์ จะพบว่าเกลือเคลื่อนตัวจากภาคพื้นทวีปไปสู่มหาสมุทรเพียงทางเดียวเท่านั้นจึงเพิ่มความเค็มในมหาสมุทรขึ้นเรื่อย ๆ โดยการทราบจำนวนเกลือทั้งหมดที่ละลายในน้ำมหาสมุทรปัจจุบันและทราบจำนวนเกลือที่ถูกชะล้างนำไปสู่มหาสมุทรแต่ละปีโดยลำน้ำ เราอาจคำนวณหาว่ากี่ปีที่ลำน้ำเป็นตัวการนำเอาความเค็มของเกลือมาให้ห้วงมหาสมุทร นับแต่ความเค็มเป็น 0 จนถึงปัจจุบันซึ่งปัจจุบันนี้ทราบว่าค่าความเค็มในมหาสมุทรมีอยู่ประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์

จากที่กล่าวมานี้เราสามารถหาตัวเลขเกี่ยวกับอายุของมหาสมุทรได้ อย่างไรก็ตามตัวเลขค่อนข้างไม่แน่นอนนัก ทั้งนี้เพราะ

ประการแรก คืออัตราการกัดเซาะในยุคธรณีอดีตโน้นอาจไม่เป็นไปอย่างปัจจุบัน ความจริงเราทราบว่ามีระยะเวลานานแสนนานในอดีตเมื่อภาคพื้นทวีปส่วนใหญ่ยังเป็นพื้นแบนราบ ภูเขาเก่ากว่าได้ถูกชะล้างออกไปและภูเขาใหม่ไม่ก่อตัวขึ้นมาระยะเวลานั้น อัตราการกัดเซาะจะต้องเป็นไปอย่างชักช้ามาก เมื่อเป็นเช่นนั้นจำนวนเกลือที่ถูกชะล้างนำไปสู่มหาสมุทรย่อมจะมีน้อย

ประการต่อไปคือ เรายังไม่เชื่อกันว่าเกลือทั้งหมดที่ถูกนำไปสู่มหาสมุทรตั้งแต่มหาสมุทรเริ่มก่อรูปขึ้นจะยังคงละลายอยู่ในมหาสมุทรจนถึงปัจจุบัน จำนวนอันมหาศาลของน้ำในมหาสมุทรหลายแห่งอาจถูกตัดตอนออกไปจากท้องที่มหาสมุทร เช่น ทะเลสาบเกรตซอลต์ (Great Salt Lake)ปัจจุบันได้ระเหยกลายเป็นไอไปทีละน้อยทำให้เหลือแต่เกลือทับถมกันจนเป็นเกลือหิน

จากความไม่แน่นอนใน 2 ประการนี้ การประมาณอายุของมหาสมุทรจึงเป็นไปอย่างได้ผลประมาณเท่านั้น ตัวเลขใด ๆ ที่ถูกต้องโดยใช้วิธีดังกล่าวเป็นพื้นฐานจะต้องคิดในแง่เผื่อเหลือเผื่อขาดไว้ด้วย แต่การให้ข้อสมมุติฐานอย่างมีเหตุผลเกี่ยวกับอัตรการกัดเซาะของน้ำในอดีตและจำนวนเกลือที่สูญไปในการก่อรูปสะสมตัวเป็นของแข็งไป เราอาจลงข้อยุติได้ว่าอายุของมหาสมุทรจะต้องประมาณ 2-3 พันล้านปี

อายุของหินเป็นวิธีการที่น่าเชื่อถือได้และมีความละเอียดถูกต้องยิ่งขึ้นในการประมาณอายุของพิภพ วิธีนี้อาศัยการศึกษาและพบวัตถุที่มีกัมมันตภาพ แม้ว่าจะมีอยู่จำนวนเล็กน้อยในหินต่าง ๆ ที่ประกอบกันขึ้นเป็นเปลือกโลกก็ตาม ปรมาณูของธาตุแท้ที่มีกัมมัตนภาพ เช่น แร่ยูเรเนียม (Uranium) และธอร์เรียม (Thorium) ย่อมไม่แน่นอนในเนื้อแท้ของมันและจะสูญสลายตัวช้า ๆ ไปในปรมาณูของธาตุแท้ที่เบากว่าตามลำดับ ในที่สุดจะคงตัวแน่นครบที่ก่อตัวเป็นธาตุตะกั่ว

จากการทดลองโดยตรงพบว่าพลังของวัสดุที่มีกัมมันตภาพนั้นจะลดลงตามระยะเวลาและอัตราการสูญเสียแตกต่างกันไปตามชนิดต่าง ๆ ของธาตุแท้ที่ถูกเปลี่ยนแปลงไปโดยกัมมันตภาพนั้น มีคำหนึ่งที่น่ารู้เกี่ยวกับเรื่องนี้คือกึ่งปรมาณูสลายตัว (Half - life) หมายความว่าระยะเวลาที่ต้องการเพื่อให้ครึ่งหนึ่งของปรมาณูในจำนวนที่กำหนดให้จากวัสดุที่มีกัมมันตภาพนั้นสลายตัว

หินอัคนี (Igneous rock) เกือบทุกชนิดจะมียูเรเนียมอยู่ด้วยโดยเฉพาะหินแกรนิต (Granite) มีมาก เมื่อแกรนิตแข็งตัวยูเรเนียมจะถูกเก็บกักอยู่ในและสลายตัว ยูเรเนียมเป็นธาตุแท้มีน้ำหนักปรมาณู เมื่อยูเรเนียมสลายตัวจะกลายเป็น U-Isotope และเมื่อมันสลายตัวเรื่อยไปจนหมดไม่สลายตัวเป็นอื่นก็ตอนที่มันได้สลายตัวเป็นตะกั่ว (Lead) และฮีเลียม (Helium)

ซึ่งในตะกั่ว 1 กรัมจะบอกให้รู้ว่ายูเรเนียมสลายตัวมากี่ปี การหาอัตราส่วนระหว่างตะกั่วกับฮีเลียมจะบอกให้รู้ว่า การสลายตัวของยูเรเนียมนั้นใช้เวลากี่ปี

ตัวอย่าง ยูเรเนียม 238 ปี กึ่งปรมาณูสลายตัว (Half - life) 4,500,000,000 ปีและธอเรียม 232 คือ 14,000,000,000 ปี จะต้องใช้เวลานานถึง 2 เท่า ที่จะลดจำนวนเดิมของยูเรเนียมหรือธอเรียมเป็น $\frac{1}{4}$ และต้องใช้เวลานานถึง 3 เท่าที่จะลดลงถึง $\frac{1}{8}$ ผลสุดท้ายของการสูญสลายของยูเรียม 238 และธอเรียม 232 คือ ตะกั่ว 206 และตะกั่ว 208 ตามลำดับ

ดังนั้นสำหรับหินใด ๆ ที่พิจารณาอัตราส่วนระหว่างจำนวนของยูเรเนียมและธอเรียมเดิมที่ยังเหลืออยู่กับจำนวนของ Lead Isotopesที่เป็นผลจากการสูญเสียทางกัมมันตภาพของมันนั้น จะให้ข่าวสารที่ถูกต้องถึงระยะเวลาที่ผ่านมาแล้วตั้งแต่หินได้ประกอบตัวขึ้นเป็นครั้งแรกความจริงภายในที่สถานะมีวัตถุหลอมเหลวนั้น ตะกั่วที่เป็นผลจากการสูญเสียทางกัมมันตภาพอาจแยกตัวออกมาจากธาตุแท้เดิมไปตามสายธารของวัตถุเหลว อย่างไรก็ตาม ครั้งหนึ่งวัตถุเหลวนี้ได้โผล่ขึ้นมาข้างนอกผิวพิภพ เช่นผลอันเกิดจากภูเขาไฟระเบิดแล้วก็แข็งตัวก่อให้เกิดใหม่เป็นตะกั่วตกค้างอยู่ ณ ที่เดิมของมันและจำนวนสัมพัทธ์ของมันนั้นบอกให้เราทราบโดยชัดเจนถึงจำนวนปีซึ่งได้ผ่านมาแล้วนับแต่หินได้แข็งตัวเป็นต้นมา

ความสามารถบอกให้ทราบถึงอายุของหินอัคนีได้อย่างถูกต้องที่มันก่อรูปขึ้นตามยุคธรณีนับเป็นเครื่องช่วยอันล้ำค่าให้ทราบถึงประวัติทางธรณีและทราบประวัติถึงสัตว์ดึกดำบรรพ์ และยังช่วยให้ทราบระยะเวลาของการพัฒนาของภาคพื้นทวีป มหาสมุทรและชีวิตยุคดึกดำบรรพ์โน้นได้อย่างถูกต้อง เนื่องจากซากสัตว์และพืชที่เป็นรอยฝังอยู่ในหิน (Fossilized remains) เราสามารถบอกได้อย่างแน่นอนว่ายุคที่มีสัตว์ไดโนเสา (Dinosaurs) จิ้งจกยักษ์ (Giant Lizards) ในอดีตโน้นถ้านับย้อนหลังไปที่ประมาณ 150 ล้านปี ส่วนสัตว์ที่มีชีวิตก่อนยุคนี้ไปอีกเช่นสัตว์จำพวกไม่มีกระดูกสันหลังมีเปลือกแข็ง (Trilobites) ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับแมงดาทะเล (Horse shoe crab) ปัจจุบันนี้นั้น ได้มีชีวิตอยู่สมัยประมาณ 500 ล้านปีมาแล้ว

สำหรับหินลึกลงไปปรากฏไม่มีเศษเหล่อหรือรอยตกค้างใด ๆ ของสิ่งมีชีวิตอยู่ในหินนั้นเลย สิ่งมีชีวิตดูเหมือนจะมีขึ้นตั้งแต่สมัยที่หินเริ่มประกอบตัวก่อรูปขึ้น แต่จะต้องเป็นสัตว์ที่มี

องค์ประกอบของสัตว์หรือต้นไม้ที่ธรรมดาสามัญที่สุด ซึ่งสัตว์หรือต้นไม้ชนิดนี้ไม่มีร่องรอยปรากฏชากให้เห็นในหินเลย หินเก่าที่สุดซึ่งเป็นที่รู้จักกันคือ หินแกรนิตจากโรดิเซีย (Rhodesia) ซึ่งหินนี้เมื่อใช้วิธีกึ่งปรมาณูสลายตัวตรวจสอบแล้วปรากฏว่ามีอายุถึง 2.7 พันล้านปี นอกจากนั้นยังเกือบเป็นที่เชื่อกันอีกว่าหินที่ยิ่งอยู่ลึกลงไปมาก ๆ ย่อมแสดงให้เห็นว่ามีอายุมากขึ้นด้วย ข่าวสารที่น่าสนใจมากเกี่ยวกับหินเก่าเหล่านี้ อาจหาได้จากการเจาะรูลึกลงไปยังก้นมหาสมุทรให้ลึกพอจนถึงหินชั้นแมนเทิล (mantle rock) ตามโครงการของ Mohole หรือ Project Mohole อย่างไรก็ตาม เป็นการยากอย่างยิ่งที่จะให้ได้หินจากส่วนลึกภายในพิภพเมื่อประมาณอายุของพิภพเราจึงใช้วิธีศึกษาได้อีกทางหนึ่งคือศึกษาจากแร่เมทีออไรท์ (Meteorites) ที่พุ่งกระหน่ำลงสู่พิภพจากดวงดาวอื่น ๆ ในห้วงเวหา ซึ่งแร่นี้คาดกันว่าเป็นเศษหินจากดาวเคราะห์ซึ่งครั้งหนึ่งได้เดินหรือเคลื่อนตัวอย่างระหว่างทางเดินของดาวอังคารและดาวพฤหัส แร่นี้จะพุ่งลงสู่พิภพและเก็บได้มีสำคัญอยู่ 2 ชนิด คือ

1. แร่เมธีออไรท์ชนิดเห็นหิน (Stony meteorites) คือ หินประกอบด้วยแร่ธาตุคล้ายกับหินที่ก่อตัวเป็นเปลือกพิภพ

2. แร่เมทีออไรท์ชนิดเหล็ก (Iron meteorites) เป็นแร่เหล็กที่เกิดจากโลหะผสมระหว่างนิเกิล - เหล็ก (nickel - iron alloy)

ซึ่งจากการศึกษาแร่เมทีออไรท์ เราตั้งข้อสมมุติฐานว่าพิภพเราแต่ก่อนก็ประกอบขึ้นด้วยแร่ดังกล่าวนี้ และแร่ภายในศูนย์กลางพิภพจะถูกห่อหุ้มด้วยหินพวกแมนเทิล

Claire C. Patterson แห่งมหาวิทยาลัยแคลิฟอเนียร์พบว่าอายุเฉลี่ยของแร่เมทีออไรท์ 4.5 พันล้านปี จึงมีเหตุผลพอจะสมมุติเอาได้ว่าดาวเคราะห์ทั้งหลายในระบบสุริยะนั้นเริ่มก่อตัวขึ้นประมาณ 4.5 พันล้านปีนั่นเอง ฉะนั้นหินเก่าคือเมื่อรูปขึ้นประมาณ 2.7 พันล้านปีที่พบบนเปลือกโลกมันก่อรูปขึ้นหลังจากที่พิภพได้เกิดเป็นตัวเป็นตนขึ้นมามีอายุมาแล้วถึงกึ่งอายุปัจจุบัน

วิชาแผนที่มีความสัมพันธ์อยู่กับโลกหรือพิภพ และโดยเฉพาะส่วนของเปลือกโลก พื้นผิวพิภพจริงหรือเปลือกนอกพิภพเป็นผิวไม่สม่ำเสมอ ขรุขระ ระเกะระกะไปด้วยหินใหญ่น้อย ประดับประดาไปด้วยภูเขา เขา ที่ราบสูง ที่ราบ ลำน้ำ ลำธาร ต้นไม้ ฯลฯ ทางวิชา

ธรณีสัณฐานวิทยา (Geomorphology) ได้แบ่งรูปทรวดทรงของผิวพิภพออกไป 3 ชั้นด้วยกัน โดยแบ่งตามขนาดเป็นพื้นฐาน คือ

ชั้นที่ 1 (First - order) ได้แก่รูปของพิภพที่เป็นส่วนแข็งทั้งหมด รูปของภาคพื้นทวีป และรูปของภาคพื้นมหาสมุทร

ชั้นที่ 2 (Second - order) ได้แก่ พื้นราบ ที่ราบที่สูง เทือกเขา ทั้งหมดบนพื้นผิวพิภพ

ชั้นที่ 3 (Third - order) ไดแก่ สันเขา หุบเขา ที่ราบระหว่างเขา หน้าผา จมูกเขา ลำธาร แม่น้ำ หน้าผา ฯลฯ

สุภาษิตทางธรณีกล่าวว่า "ปัจจุบันคือกุญแจให้ทราบถึงอดีต" สิ่งใดก็ตามที่ดำเนินไปในปัจจุบันเชิงธรณีนั้นทำให้เข้าใจถึงอดีตเชิงธรณีอย่างชัดแจ้ง เพราะทุกสิ่งทุกอย่างที่ทำให้แปรเปลี่ยน ผิดรูปผิดร่างไปจากเดิมด้วยพลังทั้งภายนอกและภายในพิภพในอดีตนั้น การแปรเปลี่ยนในปัจจุบันก็เกิดจากพลังอันเดียวกันนั้น อัตราการแปรเปลี่ยนภายใต้ภาวะสภาพภูมิ-อากาศก็ดี ตลอดจนชนิดของวัตถุที่ได้รับผลกระทบกระเทือนจากพลังเหล่านั้นในปัจจุบันได้เป็นไปเหมือนกับอดีตทั้งสิ้น หลักเกณฑ์ดังกล่าวนี้เป็นหลักเกณฑ์ของธรณีสมัยใหม่ทั้งหมด

สำหรับทรวดทรงชั้นที่ 1 นั้นไม่รู้เปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็วจะค่อยเป็นค่อยไป มีขั้นความคงรูปอยู่ในเกณฑ์สูงมาก จะแปรเปลี่ยนไปจากเดิมจนเป็นที่เห็นได้ชัด ก็ต้องเป็นระยะเวลาเชิงธรณี ถ้าจะเปรียบก็คล้ายโรงละครซึ่งใช้เป็นที่แสดงของละคร ส่วนเวทีในโรงละครนั้นจะต้องเปลี่ยนอยู่บ่อย ๆ และมีการจัดใหม่เพื่อให้เหมาะกับเรื่องหรือตอนการแสดงถัด ๆ ไปซึ่งเวทีก็ควรจะเปรียบได้กับทรวดทรงชั้นที่ 2 ภาพทิวทัศน์บนเวทีจะต้องมีการโยกย้ายหลายครั้งหลายหนในระหว่างที่ละครกำลังแสดงในตอนหนึ่ง ๆ ภาพทิวทัศน์ครั้งแปรเปลี่ยนบ่อย ๆ นี้เปรียบได้เสมือนทรวดทรงพิภพชั้นที่ 3 นั่นเอง

บริเวณภูเขา เนิน ย่อมมีลาดชันมากจนถึงชันธรรมดา ซึ่งลาดนี้ไปพบกันก่อให้เกิดเป็นสันปันน้ำแคบ ๆ คือสันเขาและยอดเขา ที่ราบสูงเป็นพื้นดินที่สูงขึ้นไปจากพื้นผิวธรรมดา มีรูปคล้ายโต๊ะ ส่วนบนของโต๊ะจะแบนราบหรือมีลูกคลื่นไม่มากนักและล้อมรอบด้วยลาดชันอย่างน้อยด้านหนึ่ง อาจล้อมด้วยภูเขาสูงขึ้นไปหรือลาดหน้าผา ที่ราบสูงมักถูกตัดด้วยหุบเขา

ลึก ซึ่งมีมากพอจะแบ่งแยกที่ราบสูงออกไปหลาย ๆ แห่ง ที่ราบคือพื้นดินที่พื้นผิวเกือบแบนราบหรือเป็นลูกคลื่นน้อยสม่ำเสมอกำหนดสูงของจุดบนพื้นนี้ปกติมักไม่สูงนัก ที่ราบส่วนมากจะมีอยู่สูงกว่าระดับทะเลปานกลาง 200 - 300 ฟุตเท่านั้น แต่ถ้าหากพื้นที่นั้นเป็นลาดขึ้นไปในที่ดอนก็อาจมีกำหนดสูงถึง 2,000 - 3,000 ฟุต ซึ่งในกรณีเช่นนี้อาจเรียกว่า "ที่ราบสูง" สำหรับ "ที่ราบต่ำ" เรามักใช้เรียกในความหมายเหมือนกันกับที่ราบแต่ก็ไม่จำเป็นที่จะต้องไปเรียกที่ราบต่ำแทนที่ราบในกรณีที่พื้นที่นั้นเป็นที่ต่ำที่ควรใช้เรียกว่า ที่ราบเหมาะสมกว่า

ที่ราบระหว่างเขาขนาดเล็กและลำธารขนาดเล็กในท้องที่เป็นภูเขา ซึ่งมีลักษณะเป็นบริเวณแคบมีรูปเป็นตัว "V" เกิดขึ้นจากการไปพบกันของลาดภูเขาชัน ลาดจาก 20° ถึง 45° ถือว่าชัน แต่อาจมีพิสัยถึง 60° หรือ 70° ก็ได้ ในเทือกเขาบางเทือกยอดสูงสุดของภูเขามักมีกำหนดสูงผิดแผกแตกต่างกัน และมักไม่มีพื้นดินแบนราบหรืออ่าว มีเพียงเล็กน้อยที่ยอดเขานั้น

เขากับภูเขาแทบไม่มีอะไรแตกต่างกัน แต่เขาเป็นเพียงมีรูปลักษณะที่เล็กกว่าเท่านั้น ลาดเขาโดยเฉลี่ยมีน้อยกว่าภูเขา อันนี้อาจไม่เป็นจริงก็ได้ในเมื่อทำการเปรียบเทียบกันอย่างโดดเดี่ยว มีนักภูมิศาสตร์บางท่านพยายามจะกำหนดความสูงระหว่างเขากับภูเขาให้แตกต่างจากกัน เช่น เขาอาจนิยามเป็นรูปลักษณะพิภพมีส่วนชันรอบข้างทั้งหมด ซึ่งส่วนยอดสูงสุดไม่เกิน 500 ฟุตเหนือที่ราบต่ำโดยรอบ สำหรับภูเขานั้นมียอดสูงสุดสูงกว่า 500 ฟุต แต่ความจริงนั้นอยู่ที่การตัดสินและการเปรียบเทียบของมนุษย์เรามากกว่า ภูเขาในบางแห่งอาจมีขนาดเดียวกับลักษณะของเขาอีกแห่งหนึ่ง เช่นตัวอย่างเขาพัลนิ (Pulni Hills) ของอินเดียตอนใต้สูงถึง 5,000 และ 6,000 ฟุต เหนือที่ราบโดยรอบและเมื่อเปรียบเทียบกับเทือกเขาหิมาลัยอันใหญ่โตของอินเดียตอนเหนือและทิเบตแล้ว เขาพัลนิก็เป็นเพียง "เขา" เท่านั้น

อีกแห่งหนึ่งในนิวอิงแลนด์ (New England) คงไม่มีใครคิดจะตั้งปัญหาถามว่า ทำไมจึงเรียกว่า White Mountains ทั้ง ๆ ที่ภูเขานี้ต่ำกว่าเขาพัลนีของอินเดียเสียอีก

ผิวพิภพบางแห่งถูกกัดเซาะด้วยน้ำไหลผ่าน คลื่นลมและน้ำแข็ง ซึ่งตัวการเหล่านี้เป็นพลังภายนอกมากระทำให้ผิวพิภพลึกกร่อนผิดรูปไปจากความเป็นจริง โดยทำให้ส่วนที่ถูกกัดเซาะลึกลงไปและนำสิ่งกัดเซาะไปกองไว้ยังที่อื่นทำให้สูงขึ้น นับว่าเป็นตัวก่อกวนและ

ทำลายทั้งเปลือกพิภพในท้องที่เป็นภูเขาและที่ลุ่ม ไม่ว่าส่วนใดของพิภพไม่อาจจะต้านทานการกระทำหรือการทำลายจากตัวการดังกล่าวแล้วได้ ตราบใดที่มวลสารเผยต่ออากาศหรือต่อคลื่นเพื่อให้อากาศและคลื่นนั้นทำลายได้แล้ว ส่วนที่ถูกทำลายจะถูกชะล้างนำไปโดยตัวการอากาศและคลื่นนั้น มันจะก่อกวนทำลายไปจนถึงที่สุด กัดเซาะชะล้างพื้นดินหินนั้นเรื่อยไปจนเป็นที่ราบต่ำ ซึ่งต่อไปจะค่อย ๆ สึกหรออย่างช้า ๆ ด้วยคลื่นและในที่สุดก็จะท่วมท้นปกคลุมไปด้วยน้ำในมหาสมุทร ผลการแตกแยกหรือการทำลายนี้จะถูกนำไปทับถมไว้ในท้องทะเลรอบ ๆ ทวีป กระบวนการดังกล่าวจะดำเนินไปอย่างเชื่องช้ามาก นับเป็นระยะเวลาทางธรณีซึ่งเป็นระยะเวลายาวนานมาก ลำธารและคลื่นที่เห็นกัดเซาะและกระหน่ำริมฝั่งอยู่ตลอดเวลาในปัจจุบันนั้นมันได้เป็นอย่างนี้มาเป็นล้าน ๆ ปี นักธรณีเชื่อว่าลักษณะทิวทัศน์ของภูมิประเทศทั้งหมดนั้นอาจได้รับการอธิบายจากผลของกระบวนการของพลังหรือตัวการภายนอกที่เป็นอยู่ปัจจุบันนี้

ผืนแผ่นดินที่สึกกร่อนไป การแปรเปลี่ยนอันมหาศาลของภูมิประเทศเป็นสิ่งบอกถึงผลต่าง ๆ จากการกระทำของตัวการ ที่ใดเป็นหินถูกกัดเซาะหลุดสึกกร่อนไป ที่ราบระหว่างเขาหรือที่ลุ่มต่ำชนิดหนึ่งหรือหลายชนิดเกิดขึ้นนั้นเราเรียกว่า "ทรงสัณฐานพิภพถูกทำลาย" (Erosional landforms)

ระหว่างที่ลุ่มถูกกัดเซาะชะล้างไปก็คือ สันเขา เขาหรือภูเขา แสดงให้เห็นส่วนของพื้นดินที่คงทนเราเรียกว่า "สัณฐานพิภพคงอยู่" (Residual landforms)

เศษหินและดินที่ถูกนำไปทิ้งหรือสะสมไว้ที่อื่นทำให้เกิดมีลักษณะภูมิประเทศขึ้นใหม่ที่แตกต่างออกไปทั้งหมดจากเดิม เราเรียกว่า "สัณฐานพิภพที่ถูกเสริมสร้าง" (Depositional landforms)

พื้นผิวพิภพยังมีแรงมากระทำให้ผิดรูปไปอีกแรงหนึ่งคือ แรงภายในเป็นที่ทราบกันแล้วว่าภายในพิภพมีอุณหภูมิสูงจนวัตถุธาตุทั้งหลายเกิดการหลอมตัวละลาย ทั้งนี้ จากการวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์มอมิเตอร์ในหลุมน้ำมันลึกและเหมืองแร่ ปรากฏว่าอุณหภูมิภายในพิภพจะสูงยิ่งขึ้นตามลำดับตามความลึกไปสู่ศูนย์กลาง บริเวณที่มีน้ำพุจะมีอุณหภูมิสูงเพิ่มขึ้นทุก ๆ ฟ. ต่อ 30 หรือ 40 ฟุต หรือประมาณทุก ๆ 60 ฟุตในบริเวณที่เป็นหิน

ณ จุดที่อยู่ใต้พื้นผิวลงไป 50 ฟุตในแนวละติจูดปานกลางปรากฏว่าพื้นดินลึกระยะนั้นมีอุณหภูมิคงที่ประมาณ 50° ฟ. ส่วนใกล้ ๆ พื้นผิวอุณหภูมิจะแปรเปลี่ยนไปต่าง ๆ เนื่องจากการแปรเปลี่ยนของอุณหภูมิประจำวันและประจำฤดูกาลในห้วงบรรยากาศและความลึกมากกว่า 50 ฟุตขึ้นไปอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นทีละน้อย ๆ ตามส่วนของความลึกได้ลองขุดพิภพลงไปลึกถึง 20,000 ฟุตก็ปรากฏว่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ อย่างไรก็ตาม ยิ่งลึกลงไปอัตราความสูงของอุณหภูมิคงจะไม่สูงไปกว่าอุณหภูมิใกล้พื้นผิวนัก แต่ถ้าลาวา (Lavas) และน้ำพุร้อนที่ผุดพุ่งออกมาจากภายในพิภพนั้นแสดงถึงความเข้มข้นของความร้อนภายในทั้งหมดของพิภพนั้นมีอยู่สูงมาก จากการศึกษาความเข้มข้นของความร้อนดังกล่าวนี้ จึงพบความจริงว่าลาวาที่พุ่งออกมาจากภายในพิภพมีอุณหภูมิซึ่งมีม่านหรือพิสัยจาก 600° ถึง 1,200° ซ.

แหล่งเกิดของความร้อนในพิภพมาจากไหน? ยังไม่มีใครทราบเป็นแต่เพียงได้จากทางสันนิษฐานของนักธรณีว่าแหล่งเกิดหรือความร้อนเหล่านี้เกิดมาจากส่วนที่เหลือจากความร้อนเดิมที่เข้าใจกันว่าพิภพนั้นแรกเริ่มทีเดียวมีสภาพเป็นของหลอมเหลว แม้ว่าพิภพจะมีอายุมานานโขแล้วก็ตาม ภายในพิภพลงไปไม่กี่ไมล์ความร้อนก็ยังมีอยู่อย่างมหาศาล

ภูเขาไฟเป็นตัวการอันสำคัญที่ทำให้เปลือกโลกเปลี่ยนแปลงไป เช่นทำให้ผิวพื้นถูกแตกแยก ถลุ่มเป็นหลุมบ่อไปจนเป็นเหวและทะเลลึก ที่ราบอาจกลายเป็นภูเขาหรือเป็นที่ราบสูงบางทีถูกจมไปอยู่ใต้ทะเล ฯลฯ ทั้งหมดนี้เป็นการแปรเปลี่ยนไปของเปลือกโลก จึงกล่าวสรุปได้ว่า ผิวพิภพจริงนั้นจะมีลักษณะพื้นผิวไม่ราบเรียบ และจะค่อย ๆ แปรเปลี่ยนทั้งการแปรเปลี่ยนทีละเล็กน้อยคละปนไปกับการแปรเปลี่ยนขนานใหม่ จึงอาจกล่าวได้ว่าเปลือกโลกมิได้อยู่นิ่งมีแปรเปลี่ยนรูปไปทุก ๆ วินาที และการแปรเปลี่ยนนี้จะไม่มีอะไรไปหยุดยั้งจนกว่าพิภพจะแตกสลายไปเอง

ปัจจุบันนี้มนุษย์เราสามารถจะดูพิภพของเราทั้งหมดได้ว่ารูปร่างหน้าตาเป็นอย่างไร เนื่องจากมนุษย์สามารถออกไปนอกโลกได้และถ่ายภาพจากดาวเทียมหรือจากจรวดในความสูงขนาดต่าง ๆ เราจะรู้สึกประหลาดใจเมื่อได้แลเห็นภาพพื้นผิวของพิภพอันวิจิตรพิสดารจากรูปลักษณะพื้นผิวสีสรร และกระสวนต่าง ๆ ของทะเล บึงหนองและพื้นดิน ทุ่งนา ป่าไม้ น้ำแข็ง ทะเลทราย ภูเขา ฯลฯ แปลกใจที่มนุษย์เราสามารถจำลองลวดลายของ

พื้นผิวพิภพ เช่น ภูเขา หนอง บึง หุบเหว แนวฝั่งทะเลและลำน้ำลงบนแผนที่ถูกต้องตามความเป็นจริงเหมือนกับรูปถ่ายที่ถ่ายทำมา โดยที่การทำแผนที่จำลองลวดลายลงไว้นั้นมิได้มีโอกาสขึ้นไปแลเห็นพิภพหมดทั้งพิภพเลย

ในภาพถ่ายความกลมและสภาพเป็นทรงกลมปรากฏเห็นได้ชัด แต่จะไม่ปรากฏเห็นชัดแก่มนุษย์ที่อยู่บนพิภพหรือบนพื้นผิว แม้ตามความรู้สึกของเราเรามักนึกคิดว่าพิภพนี้มีลักษณะแบนราบตามความเชื่อถือของมนุษย์โบราณแต่มนุษย์เราอีกพวกหนึ่งต่างเชื่อว่าพิภพมีลักษณะเป็นทรงกลมมานานถึงกว่า 2,000 ปีแล้ว

4. ประวัติของวิชายีออเดซี

มนุษย์เรามีส่วนเกี่ยวข้องอยู่กับพิภพที่อาศัยอยู่นี้มาหลายศตวรรษแล้ว ในสมัยดึกดำบรรพ์โน้นการเกี่ยวข้องของมนุษย์มีต่อพิภพอยู่ในขอบจำกัด โดยปกติก็มักจะมีส่วนสัมพันธ์อยู่กับอาณาบริเวณที่อยู่ของเขาเท่านั้น ต่อไปมนุษย์ได้มีการไปมาหาสู่ซึ่งกันและกัน ได้ขยายขอบเขตกว้างขวางออกไปสู่ตลาด หรือสถานที่ที่มีการแลกเปลี่ยนสินค้าที่จำเป็นต่อกันจนกระทั่งในที่สุดเมื่อการสัญจรไปมาได้รับการพัฒนา มีความเจริญยิ่งขึ้นมนุษย์เริ่มให้ความสนใจโลกที่เราอาศัยอยู่นี้ทั้งหมด แต่ความสนใจส่วนใหญ่ของมนุษย์สมัยนั้นปรากฏว่ามุ่งไปในเรื่องเกี่ยวกับขนาด, รูปร่าง และองค์ประกอบของพิภพ เป็นสำคัญ

สมัยกรีกดึกดำบรรพ์ ความเพ้อฝัน และการตั้งทฤษฎีของเขาเกี่ยวกับพิภพ มีความเชื่อถือกันนับตั้งแต่คิดคำนึงว่าพิภพเป็นรูปคล้ายจานแบน ซึ่งได้รับการสนับสนุนจากโฮมเมอร์ (Homer) ไปจนถึงยุคของปิแธกโกราส (Pythagoras) ซึ่งคิดว่าพิภพมีรูปร่างเป็นทรงกลม (Sphere) และแนวความคิดเรื่องพิภพเป็นรูปทรงกลมนี้ยังได้รับการสนับสนุนจากอริสโตเติล (Aristotle) ซึ่งทำให้เชื่อถือกันมาถึง 100 ปีทีเดียว แนวความคิดอันนี้มิได้มาจากการรังวัดทางดาราศาสตร์มากนัก โดยปกติมักมาจากการพิจารณาเชิงปรัชญาปิแธกโกราสเป็นนักคำนวณ ในความคิดของเขานั้นถือว่าพิภพเป็นรูปทรงกลมล้วนโดยสมบูรณ์ โดยให้เหตุผลง่าย ๆ ว่า พระเจ้าเป็นผู้ประทาน หรือเสกสรรขึ้น ฉะนั้น รูปพิภพจึงต้องเป็นรูปทรงกลม

ล้วน อย่างไรก็ดีจากการสังเกตพิจารณาต่อมาในสมัยอริสโตเติล (350 B.C.) สามารถให้รายละเอียดเพิ่มเติมแนวความคิดนั้นได้อย่างดียิ่ง มีข้ออ้างด้วยเหตุผลหลายประการ เพื่อยืนยันพิสูจน์ถึงความเป็นทรงกลมล้วนโดยแท้จริงของพิภพ ได้มีการรับรองถึงความเอียงของแกนพิภพ และได้มีการรังวัดได้อย่างถูกต้อง ในยุคนี้ความรู้เรื่องอิเควเตอร์ ขั้วโลกและแถบร้อนได้เกิดขึ้น และพิภพถูกแบ่งออกไปเป็นโซนร้อน, โซนอบอุ่น (Temperate) และโซนหนาวจัดแถบขั้วโลก (Frigid Zone) ความรู้ดังกล่าวนี้ยังใช้กันอยู่จนถึงปัจจุบัน นับเป็นสิ่งน่าสรรเสริญอย่างสูงต่อความเลื่อมใสเชื่อถือของกรีกโบราณ ในวิชาการเรื่องทฤษฎีเกี่ยวกับพิภพมีรูปเป็นทรงกลมนี้ แม้จะเป็นความเชื่อที่ขัดต่อสามัญสำนึก แต่แนวความคิดอันนี้ได้เป็นที่ยอมรับกันแล้วในยุคนั้น อแนกซิเมเนส์ (Anaximenes) เป็นนักวิทยาศาสตร์ และนักปรัชญากรีกกลับมีความเชื่ออย่างแรงกล้าว่าพิภพมีรูปเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า

สำหรับจุดประสงค์ในเชิงปฏิบัติทั้งหมดนั้นถือพิภพเป็นรูปทรงกลม แต่ความจริงแล้วพิภพเป็นทรงรี มีแนวป่องตรงกลาง และมีส่วนยุบเล็กน้อยที่ขั้วทั้งสอง ซึ่งถ้าหากเราขยำพิภพนั้นย่อลงไปให้มีเส้นรอบวง 75 ฟุตแล้วไซร้ ส่วนยุบจะมีขนาดประมาณ 1.5 นิ้วเท่านั้น มิฉะนั้นในกรณีที่งานใดไม่ต้องการความละเอียดสูงนัก เราก็พิจารณาพิภพเป็นทรงกลมได้

ขณะนี้เราทราบแล้วว่าพิภพเป็นรูปทรงรี มีเส้นรอบวงประมาณ 24,900 ไมล์ (39,840 ก.ม.) แม้กรีกจะยอมเชื่อว่าพิภพเป็นทรงกลมในปีประมาณ 400 B.C. แต่ความเชื่อถือนั้นก็คงยึดเยื้อมาถึงกว่า 150 ปี ก่อนที่จะได้มีการรังวัดขนาดของพิภพนั้น ความสำเร็จอันยิ่งใหญ่ที่มนุษย์เราได้กระทำการรังวัดขนาดพิภพนั้นได้เริ่มขึ้นเมื่อประมาณปี 276 - 194 B.C. ผู้ดำเนินการรังวัด คือ อีแรตตอสเธเนส์ (Eratosthenes) เขาเป็นนักปรัชญาทางการคำนวณ ขณะนั้นดำรงตำแหน่งหัวหน้าบรรณารักษ์ห้องสมุดอันมีชื่อของเมืองอเลกซานเดรีย (Alexandria) ในประเทศอียิปต์ ซึ่งการดำเนินการของเขากระทำหลังจากที่ชาวกรีกกระตือรือร้นพยายามจะทำการรังวัดกันมา แพลตโต (Plato) เคยคาดคะเนเอาว่าเส้นรอบวงพิภพนั้นประมาณ 40,000 ไมล์ และอาร์คิเมดิส (Archimedes) กะประมาณเส้นรอบวงเป็น 30,000 ไมล์ ซึ่งอาร์คิเมดิสให้การประมาณไว้เป็นกลาง ๆ อีแรตตอสเธเนส์ต้องการปลูกฝังพื้นฐานอันมีระเบียบขึ้นสำหรับการทำแผนที่ ก่อนจะมีการทำแผนที่ขึ้นได้นั้นก็น่าจะมีแนวความคิด

เกี่ยวกับเรื่องขนาดของพิภพ และควรมีระบบบางอย่างสำหรับการกำหนดจุดบนพิภพที่มีส่วนสัมพันธ์ตรงกันกับในแผนที่

อีแรตตอสเธเนส์ทราบว่าในเมืองซีเอเน (Syene) หรือเมืองอาซะวัน (Aswan) ซึ่งตั้งอยู่ในอียิปต์ตะวันออกเฉียงใต้บนฝั่งแม่น้ำไนล์ (Nile) นั้นมีบ่อลึกอยู่บ่อหนึ่ง มีอยู่วันหนึ่งในรอบปีนั้นแสงดวงอาทิตย์จะส่องตกต้องตรงลงไปถึงก้นบ่อคือ แสงจะตกต้องถึงก้นบ่อในวันที่ 20 - 22 มิถุนายน นั่นหมายความว่าเมืองซีเอเนตั้งอยู่ประมาณเส้นขนานที่มีละติจูด $23\frac{1}{2}$ เหนือ และแนวนี้เราเรียกแถบทรอปิคออฟแคนเซอร์ (Tropic of Cancer) ซึ่งในเวลาเที่ยงวันนั้นในวันที่ 21 มิถุนายน ดวงอาทิตย์จะไปอยู่จุดสูงสุด หรือไกลสุดจากอิเควเตอร์ (Summer Solstice) ณ ขณะนั้นวัตถุตั้งในแนวดิ่งเมืองซีเอเนจะไม่ทอดเงาออกไปเลย เพราะดวงอาทิตย์อยู่ตรงศีรษะพอดี ในขณะเดียวกันวัตถุตั้งในแนวดิ่งของเมืองอเลกซานเดรียกลับทอดเงาให้เห็น การเป็นเช่นนี้อีแรตตอสเธเนส์คิดว่าความแตกต่างที่เกิดขึ้น เนื่องมาจากอาการโค้งของผิวพิภพระหว่าง 2 ตำบลนั้น ระยะจากเมืองซีเอเน ถึงอเลกซานเดรีย ซึ่งได้จากเอกสารการสำรวจที่ดินอียิปต์โบราณเก็บไว้ที่ห้องสมุดเมืองอเล็กซานเดรียเป็น 5,000 สตาเดีย (Stadia) ประมาณ 500 ไมล์ ซึ่งระยะที่ถูกจริง ๆ นั้นเป็น 520 ไมล์ เขาเชื่อว่าเมืองอเลกซานเดรียอยู่ตรงขึ้นไปทางเหนือของเมืองซีเอเน โดยให้เหตุผลว่าระยะระหว่างเมือง 2 เมืองนี้จะต้องเป็นระยะที่ถูกต้อง และเป็นระยะที่อยู่ในแนวเมริเดียนเดียวกันด้วย หากเขาสามารถจะคำนวณหาเศษส่วนของโค้งวงกลมทั้งหมดที่เกิดจากระยะระหว่างเมือง 2 เมืองนั้น เขาก็สามารถคำนวณระยะทั้งหมดโดยรอบพิภพนั้นว่ายาวเท่าไรได้โดยง่าย อีแรตตอสเธเนส์ได้แลเห็นวิธีการจะเป็นไปได้จึงได้ยกไม้ปักในแนวตรงดิ่งที่เมืองอเลกซานเดรียในเที่ยงวันที่ 21 มิถุนายน แล้ววัดมุมของเงาไม้ที่ทอดไป จากที่เขามีความรู้ทางเรขาคณิตอยู่ด้วย จึงทราบได้ว่ามุมนี้จะต้องเท่ากับมุมที่เกิดขึ้นในศูนย์กลางพิภพถ้าต่อแนวดิ่งของไม้ที่อเลกซานเดรียไปตัดกับแนวดิ่งที่ต่อตรงลงไปจากก้นบ่อเมืองซีเอเน ณ จุดศูนย์กลางพิภพ ทำการรังวัดและมุม (ดูในรูปจะทำให้เข้าใจดีขึ้น) จึงปรากฏว่ามุมที่ได้เป็น 7.20 องศา หรือ 1 ใน 50 ของวงกลมทั้งหมด ฉะนั้นเส้นรอบวงของวงกลมจึงเป็น 50 เท่าของระยะจากเมืองอเลกซานเดรีย ถึงเมืองซีเอเน หรือ 250,000 สตาเดีย หรือประมาณ 28,000 ไมล์ การรังวัดนี้ นับว่ามีความละเอียดถูกต้องอย่างน่าพิศวง มีความถูกต้องถึงไม่เกิน 14 เปอร์เซ็นต์

เรายังไม่แน่ใจนักว่า การรังวัดของอีแรตตอสเธเนส์นั้น คิดในเทอมของไมล์หรือเปล่า ค่าของสตาเดียที่ได้ไม่แน่นอนนัก และการตีความหมายผลการวัดระยะของเขามีพิสัย หรือย่านระหว่าง 24,000 ถึง 28,000 ไมล์ ระยะหลัง คือ 28,000 ไมล์นี้ บางทีเป็นระยะที่ใช้แทนค่าที่เขาคำนวณได้ซึ่งดูใกล้เคียง และถูกต้องมากกว่า ดังนั้นพิภพของอีแรตตอสเธเนส์จึงโตไปประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ เมื่อพิจารณาถึงความจริงที่ว่าข้อมูลของเขาที่ได้ไม่ค่อยถูกต้องนัก ก็ตาม แต่ระเบียบวิธีการที่เขากระทำซึ่งนับเป็นวิธีดึกดำบรรพ์ยิ่งนั้นก็ยังผลที่ได้เป็นสิ่งน่าทึ่งและประหลาดใจยิ่งนัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งนั้นเมืองซิเอเนมิได้อยู่ตรงละติจูด $23\frac{1}{2}^{\circ}$ เหนือ แต่ค่อนข้างจะอยู่ขึ้นไปทางเหนือ อเลกซานเดรียก็มิได้ตั้งอยู่ในแนวเมริเดียนเดียวกันกับเมืองซิเอเน แต่อยู่ถัดไปทางตะวันตกของแนวเมเรเดียน 3° และระยะระหว่างเมืองทั้งสองก็มิใช่เป็น 5,000 สตาเดีย แต่ระยะค่อนข้างจะเป็น 4,530 สตาเดียมากกว่า อย่างไรก็ตาม ความคลาดเคลื่อนทั้ง 4 ประการดังกล่าวนั้นกลับเป็นการทดแทนชดเชยกันได้อย่างดีมาก เพื่อความเข้าใจดียิ่งขึ้น ที่อเลกซานเดรียแสงอาทิตย์ทำมุมเอียงกับเส้นดิ่งประมาณ $\frac{1}{50}$ ของโค้งวงกลม (คือโตกว่า 7° เล็กน้อย) ฉะนั้นเมริเดียนของพิภพจะมีระยะประมาณ 50 เท่าของ 5,000 สตาเดียคือ

$$\frac{1}{50} = \frac{\text{ระยะจากซีเอเนถึงอเลกซานเดรีย}}{\text{ระยะโดยรอบพิภพ (D)}}$$

$$\frac{1}{50} = \frac{5{,}000 \text{ สตาเดีย}}{D}$$

$$D = 250{,}000 \text{ สตาเดีย (ประมาณ } 28{,}000 \text{ ไมล์)}$$

นับว่าการรังวัดนี้มีความถูกต้องอย่างน่าพิศวงที่สุด และไม่ว่าจะไปวัดที่ใดจะได้ค่าที่ใกล้เคียงกับที่กล่าวมานี้ (ดูบทที่ 4)

ยังมีนักปราชญ์ให้ความสนใจทำการรังวัดหาขนาดพิภพซ้ำขึ้นอีกคือ โปซิโดนิอัส (Posidonius) ได้ทำการรังวัดระยะจากเมืองโรดส์ (Rhodes) ไปยังอเลกซานเดรีย รังวัดหลังอีแรตทอสุเธเนส์ ประมาณ 100 ปี โดยวัดความสูงดาวคะโนปัส (Canopus) มาคำนวณหาความต่างของส่วนโค้ง ผลการรังวัดของเขาค่อนข้างถูกต้องมากกว่าของอีแรตตอสเธเนส์ แต่ความคลาดเคลื่อนในการรังวัดไม่มีสิ่งหนึ่งสิ่งใดทดแทนความผิดพลาดเหล่านั้นเหมือนอย่างอีแรตตอสเธเนส์ ผลการรังวัดได้ระยะโคจรรอบพิภพมาประมาณ 18,000 ไมล์ ซึ่งตัวเลขนี้

เล็กกว่าของอีแรตทอสเธเนส์อยู่ถึง $\frac{1}{4}$

ของอีแรตตอสเธเนส์ในย่าน 1° = 700 สตาเดีย

ของโปซิโดนิอัสในย่าน 1° = 500 สตาเดีย

ค่าของโปซิโดนิอัสนั้นเป็นค่าที่ทอลเลมี (Ptolemy) รับเอามาใช้ต่อมาและได้นำเอาระยะนี้ไปใช้กันกว้างขวางเรื่อยมาในกลุ่มนักภูมิศาสตร์ทั้งหลายถึงศตวรรษที่ 15

อีแรตตอสเธเนส์ยังได้ทำแผนที่ของโลกที่เราอาศัยอยู่นี้โดยการใช้เส้นโครงแผนที่เป็นกรอบ มีเส้นขนานและเส้นเมริเดียนอย่างละ 7 เส้นด้วยกัน แต่แผนที่นี้ได้สูญหายไปเสียหมดสิ้น อย่างไรก็ดีเรื่องราวและรายละเอียดของแผนที่นี้เป็นที่ทราบกันและมีรายละเอียดพอเพียงที่จะสร้างจำลองขึ้นมาแทนใหม่ได้ พระเจ้าอเลกซานเดอร์มหาราชและผู้สืบตระกูลของพระองค์ได้รวบรวมข่าวสารทางภูมิศาสตร์อย่างอุดมสมบูรณ์จากแผนที่นี้

สมัยอีแรตตอสเธเนส์แนวความคิดในเรื่องเส้นกริดประจำ (regular grid) หรือกระสวนของชุดเส้นละติดจูดและลองจิจูดยังไม่เกิดขึ้นเลย แม้อีแรตตอสเธเนส์จะได้ใช้เส้นขนานและเมริเดียนก็ตาม แต่เส้นเหล่านี้ถูกกำหนดให้อยู่กับที่ด้วยจุดสำคัญ ๆ เช่น เมืองธิวล์ (Thule) เมืองอเลกซานเดรีย (Alexandria) เมืองโรดส์ (Rhodes) และเมืองซีน (Zyene) เป็นต้น ซึ่งเขาคิดว่าเหนือศูนย์สูตรขึ้นไปประมาณ 10° นั้น เป็นแหล่งที่มีมนุษย์อาศัยอยู่และได้ลงมาถึงศูนย์สูตรถือเป็นเขตร้อนเขาพิจารณาเอาว่าเขตนี้จะถูกย่างกรอบด้วยความร้อนจากดวงอาทิตย์ เป็นถิ่นที่ไม่มีมนุษย์อาศัยอยู่

ฉะนั้น เขาจึงเขียนเส้นละติจูดที่สำคัญขึ้นเส้นหนึ่งจากศูนย์สูตรขึ้นไปประมาณ 10° เพื่อเป็นเครื่องชี้บอกถึงเขตจำกัดสุดทางได้ที่มนุษย์อาศัยอยู่ ประมาณศตวรรษต่อมา ฮิปปาร์ซัส (Hipparchus) ผู้ให้กำเนิดวิชาตรีโกณมิติได้เป็นผู้ริเริ่มเส้นโครงออร์ธอกราฟฟิคกับสเตเร โอกราฟฟิค (orthographic and stereographic projections) ใช้แสดงรายละเอียดที่อยู่บนผิวทรงกลม มีแผนที่โลกสมัยใหม่อยู่มาก หลายที่สร้างขึ้นโดยใช้เส้นโครงชนิดนี้ ซึ่งได้รับการฟื้นฟูขึ้นประมาณก่อนศตวรรษที่ 100 ฮิปปาร์ซัสตำหนิเส้นกริดอันไม่มีระเบียบของอีแรตตอสเธเนส์และได้คิดประดิษฐ์เส้นขนานและเส้นเมริเดียนขึ้นใช้สืบมาจนถึงปัจจุบัน

ทอลเลมี (Ptolemy) เกิดขึ้นในสมัย 90 - 168 A.D. เรารู้จักนักปราชญ์ผู้นี้ไม่มากนัก แต่เขาเป็นนักปราชญ์ที่มีชื่อเสียงที่สุดที่วิชาการทำแผนที่ (Cartography) ของกรีกสมัยนั้น เกี่ยวข้องกับเขาทอลเลมีชื่อเต็มว่า คลอดิอัส ทอลเลมี (Claudius Ptolemy) อยู่ในเมืองอเลก-ซานเดรีย งานของผู้นี้มีอิทธิพลต่อวิชาการทำแผนที่และวิชาภูมิศาสตร์ทั่วไปอย่างสำคัญยิ่ง ในฐานะเขาเป็นนักดาราศาสตร์และนักคำนวณเขาแสดงผลงานให้เห็นชัดว่าไม่ค่อยสนใจปัญหาเชิงภูมิศาสตร์อันเกี่ยวกับมนุษยชาติและภูมิศาสตร์เชิงปฏิบัติมากนัก แต่งานอันมีชื่อเสียงของเขาคือ เขาได้แต่งหนังสือขึ้นถึง 8 เล่มด้วยกัน หนังสือนั้นชื่อ "ยีออกกราฟเฟีย" (Geographia) ซึ่งแปลว่า "ตำราภูมิศาสตร์" นั่นเอง

เล่มที่ ๑ ว่าด้วยเรื่องหลักการทางทฤษฎีเป็นส่วนใหญ่ รวมทั้งการถกแถลงให้ทราบถึงการสร้างลูกโลกและเทคนิคของเส้นโครงแผนที่

เล่มที่ 2 บรรจุนามศัพท์สถานที่ (Place names) หรือนามศัพท์ทางภูมิศาสตร์ประมาณ 8,000 ชื่อ พร้อมด้วยละติจูดและลองจิจูดเพื่อกำหนดหาตำแหน่งของชื่อเหล่านี้ มีเพียงไม่กี่ชื่อนักในจำนวน 8,000 ชื่อนี้ที่กำหนดหาตำแหน่งขึ้นจากการรังวัดทางวิทยาศาสตร์ พิกัดภูมิศาสตร์ส่วนใหญ่ได้จากแผนที่เก่า ๆ และจากหมายกำหนดการเดินทางต่าง ๆ

เล่มที่ 8 นับว่าเป็นเล่มสำคัญที่สุด หนังสือเล่มนี้บรรจุรายละเอียดข้อถกแถลงถึงหลักเกณฑ์ของวิชาการทำแผนที่ ภูมิศาสตร์ทางด้านคำนวณ เส้นโครงแผนที่และวิธีการรังวัดทางดาราศาสตร์ และเขายังได้ให้คำแนะนำโดยละเอียดเกี่ยวกับการสร้างแผนที่โลกว่าจะสร้างขึ้นอย่างไร เขายังได้อธิบายให้ทราบถึงเส้นโครงแผนที่ 2 ชนิด โครงสร้างทั้งคู่นี้คือ "การดัดแปลงเส้นโครงชนิดใช้พื้นกรวย" ตำราภูมิศาสตร์ของทอลเลมีต้นฉบับหนังสือเล่มนี้จะมีแผนที่โลกประกอบและมีแผนที่แสดงรายละเอียดอีก 26 ฉบับ ทอลเลมีเป็นผู้สร้างขึ้นเองหรืออย่างไรไม่มีใครทราบ แต่เนื่องจากการปรากฏมีขึ้นของแผนที่ชนิดนี้แก่สมัยกรีกโน้นนับว่าเป็นรากฐานก่อให้เกิดโครงแผนที่แอตลาสของโลกขึ้นเป็นครั้งแรก

ต่อมาจนถึงปัจจุบัน พิภพสมมุติที่ใช้เป็นพื้นฐานในการคำนวณงานของแผนที่นั้น ได้มีนักปราชญ์กำหนดขึ้นใช้หลายท่านด้วยกัน รูปนี้เป็นรูปทรงรีไม่ราบเรียบเล็กน้อย (Slightly irregular spheroid) มีแกนยาวอยู่ที่ศูนย์สูตร (Equator) มีแกนสั้นผ่านขั้วเหนือขั้วใต้

แกนสั้นจะมีขนาดสั้นกว่าแกนยาวอยู่ประมาณ 26 - 27 ไมล์ (ประมาณ 41.6 กิโลเมตร) รูปทรงรีที่ดัดแปลงมาใช้ในกิจการแผนที่ชั้นสูงนั้นคือรูปทรงรีอันเกิดจากเอารูปวงรี (Ellipse) หมุนรอบแกนสั้นหรือแกนหมุนพิภพ จะเกิดเป็นรูปทรงรีขึ้นรูปหนึ่งตามภาพจินตนาการ รูปนี้เรียกว่า "รูปทรงรีหมุน" (Ellipsoid of Revolution)

คำว่าสเฟียรอยด์ (Spheroid) โดยทั่วไปก็คือรูปที่แตกต่างไปจากรูปทรงกลมเพียงเล็กน้อย รูปนี้มีบทบาทสำคัญในงานแผนที่โดยเฉพาะในงานยีออเดซี่ (Geodesy) วิชายีออเดซีกล่าวว่ารูปทรงรีเป็นรูปฐานการคำนวณรูปหนึ่งซึ่งทั้งรูปและขนาดมีลักษณะใกล้เคียงกับรูปยีออยด์ (Geoid) มาก โดยที่พื้นผิวสองพื้นที่กล่าวนี้มีลักษณะใกล้เคียงกัน นักยีออเดซี่จึงยอมให้เป็นพื้นเดียวกันได้ พื้นนี้ถือเป็นพื้นหลักในการคำนวณงานแผนที่ชั้นสูง

สเฟียรอยด์มีรูปขนาดผิดแผกแตกต่างจากกัน ขึ้นอยู่กับนักปราชญ์แต่ละคนได้กำหนดขึ้นและการที่นักแผนที่จะนิยามรับเอารูปของใครไปใช้ขึ้นอยู่กับรูปลักษณะของประเทศหรือส่วนใดส่วนหนึ่งของพิภพที่ต้องการจะแสดงลงบนแผนที่นั้นจะเหมาะหรือสถิตย์แนบสนิทกับสเฟียรอยด์เหล่านั้น

มีสเฟียรอยด์อยู่ 5 รูปใช้ในการทำแผนที่ทางทหารและแผนที่ชั้นสูงคือ

- สเฟียรอยด์ของคลาร์ค ปี 1866 (Clarke 1866 spheroid)
- สเฟียรอยด์ของคลาร์ค ปี 1880 (Clarke 1880 spheroid)
- สเฟียรอยด์สากล (International spheroid)
- สเฟียรอยด์ของเบสเซล (Bessel spheroid)
- สเฟียรอยด์ของเอเวอเรสท์ (Everest spheriod)

ในแต่ละสเฟียรอยด์หาค่าต่าง ๆ ได้จากค่าของกึ่งแกนยาวและกึ่งแกนสั้น ต่อไปนี้เป็นตารางแสดงขนาดของสเฟียรอยด์ทั้ง 5 ดังกล่าว ซึ่งขนาดต่าง ๆ นั้นมีค่าเป็นหน่วยเมตรสากล คือ

เมตรสากล (*International meter*) มีความสัมพันธ์กับจำนวนหน่วยหลาของอเมริกันโดยถือสมการ 1 เมตร = 1.093 611 111 -------- หลาอเมริกัน ดังนั้นถ้า a = 6,975,277.3879

หลาอเมริกัน ก็ไม่ต้องคำนึงถึงว่า a ของคลาร์คเป็น 6,975,354 หลาอังกฤษ เป็นต้น ความต่างนี้ได้เกิดขึ้นแต่ศตวรรษที่ 19 ระหว่างหน่วยวัดระยะมาตรฐานในยุโรปชนิดต่าง ๆ ความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยนี้ไม่มีนัยสำคัญนัก เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับความไม่แน่นอนของขนาดพิภพที่รังวัดมาแต่ละคน ฉะนั้น หน่วยเมตรและค่าจำนวนหลาอเมริกันที่ตรงกันซึ่งได้แสดงไว้ในตารางนี้ก็เพื่อให้ถูกต้องตรงกัน เพื่อสะดวกแก่การคำนวณ ค่าของ f ก็เช่นเดียวกัน ไม่ถูกต้องแม่นตรงจริง ๆ สำหรับค่าของรูปสเฟียรอยด์ คลาร์ค นั้นได้มาจากค่า b = 6,356,523.800.....เมตรสากล ซึ่งกรมแผนที่สำรวจชายฝั่งและทำแผนที่ชั้นสูงสหรัฐ (U.S.C. & G.S.) ได้ใช้ค่านี้สร้างเป็นตารางหลักไว้เพื่อใช้คำนวณงานสามเหลี่ยม

ขนาดของสเฟียรอยด์ทั้ง 5 รูป อาจเปรียบเทียบกันได้จากตารางต่อไปนี้ หน่วยความยาวเป็นหน่วยเมตรสากล (International meters) :

ตารางที่ 5.1

ชื่อสเฟียรอยด์	กึ่งแกนยาว (a)	กึ่งแกนสั้น (b)	การยุบของขั้ว f	ส่วนกลับการยุบ $\frac{1}{f}$
สากล	6,378,388.0000	6,356,911.9462	0.033,367,00336	279,000.000
คลาร์ค 1666	6,378,206.0000	6,356,583.8000	0.003,390,07530	294,978.698
คลาร์ค 1880	6,378,249.1450	6,356,514.8696	0.003,407,56137	293,465.000
เบสเซล	6,377,397.1550	6,356,078.9629	0.003,342,77317	299,152.813
เอฟเวอเรสต์	6,377,276.3452	6,356,075.4134	0.003,324,44929	300,801.700

ตารางที่ 5.2 จำนวนเยื้องจากศูนย์กลางในแนวแกนยาวและแกนสั้น คือ

ชื่อสเฟียรอยด์	e	e^2	e' (แกนสั้น)	e'^2 (แกนสั้น)
สากล	0.081,991,8898	0.006,722,670	0.082,268,8896	0.006,768.1702
คลาร์ค 1866	0.082,271,8542	0.006,768,658	0.082,551.7104	0.006,814.7849
คลาร์ค 1880	0.082,483,3983	0.006,803,511	0.082,765,4264	0.006,805.1158
เบสเซล	0.081,696,8298	0.006,674,372	0.081,970.8399	0.006,719.2186
เอ้ฟเวอเรสต์	0.081,472,9832	0.006,637,847	0.082,744,7393	0.006,682.2024

นักปราชญ์อีกผู้หนึ่งชื่อ เฮเฟิร์ด (Hayford) ได้ใช้ข้อมูลจากการรังวัดความคดของพิภพ ทำการคำนวณความเฉของเส้นดิ่ง (Vertical deflection) โดยแก้ด้วยจำนวนแก้อันเนื่องจากมวลสารรอบ ๆ สถานี มีการแจกแจงหรือกระจัดกระจายอยู่ไม่เหมือนกัน มีผลดึงดูดต่อเส้นดิ่งให้เฉไปจากเส้นนอร์มาล หรือเส้นปกติ จำนวนแก้อันนี้เรียกว่า "จำนวนแก้จากภูมิประเทศ" และแก้เสียด้วย ความแน่นของมวลสารที่ผิดไปจากความแน่นปกติของเปลือกโลกคือในส่วนใดที่ยุบต่ำลงเป็นท้องทะเลหรือมหาสมุทรนั้น มวลสารจะสูญหายไป แต่จะมีความแน่นเข้ามาทดแทนเพื่อถ่วงหรือชดใช้ ทำให้เกิดการสมดุล เช่น ส่วนของเปลือกโลกที่มีมวลสารมาก และแข็งตัวอยู่เหนือระดับน้ำทะเลนั้น จะมีความแน่นน้อยกว่าปกติ ทำให้เกิดภาวะสมดุลขึ้นที่เปลือกโลก เรียก ไอซอสทะซี (Isostasy) จำนวนแก้อันนี้เรียกว่า "การชดใช้ทดแทนเชิงภาวะสมดุล" (Isostatic compensation) เขาจึงได้กำหนดสเฟียรอยด์ของเขาขึ้นมีขนาดดังนี้

a = 6,378.388 เมตร

b = 6,356.909 เมตร

ในปี พ.ศ. 2467 สมัชชาแผนกยีออเดซี ของสภายีออเดซีและยีออฟิสิคส์สากล (The General Assembly of the Section of Geodesy and Geophysical Union) ได้เปิดประชุมกันขึ้น

ที่ มาดริด (Madrid) ร่วมกัน ดัดแปลงรูปสเฟียรอยด์ของเฮเฟิร์ด มาเป็นรูปสเฟียรอยด์สากล มีขนาดดังนี้

$$a = 6,378,388.000 \text{ เมตร}$$

$$b = 6,356,911.946 \text{ เมตร}$$

$$f = \text{การยุบตัวของขั้ว} = \frac{a - b}{a} = \frac{6,378,388.000 - 6,356,911.946}{6,378,388.000}$$

$$= \frac{1}{297}$$

อย่างไรก็ดีต่อมาอีกประมาณ 100 ปี โปซิโดนิอัส (Posidonius) ได้ทำการรังวัดขนาดพิภพซ้ำขึ้นอีกโดยใช้ระยะจากเมืองโรดส์ (Rhodes) ไปยังเมืองอเลกซานเดรีย แต่ในการคำนวณความต่างระยะส่วนโค้งอาศัยมุมสูงของดาวคะโนปัส (Canopus) การรังวัดของเขาค่อนข้างละเอียดถูกต้องมากกว่าการรังวัดของอีแรตตอสเธเนส์ แต่ความเคลื่อนคลาดมิได้มีตัวชดเชยใด ๆ และผลความยาวของเส้นรอบวงพิภพเป็น 18,000 ไมล์ รูปพิภพของเขาเล็กไปถึง $\frac{1}{4}$ เพราะย่าน $\hat{\imath}$ มีค่าเท่ากับ 700 สตาเดียตามวิธีการรังวัดของอีแรตตอสเธเนส์ ส่วนของโปซิโดนิอัส $\hat{\imath}$ มีค่าเท่ากับระยะ 500 สตาเดีย แต่ค่านี้ต่อมาทอลเลมี (Ptolemy) ยอมรับมาใช้ และยังใช้กันเรื่อยมาจนถึงนักภูมิศาสตร์ยุคศตวรรษที่ 15 ทีเดียว คงจะไม่น่าเฉลียวใจใด ๆ ที่โคลัมบัส (Columbus) สำคัญผิดเข้าใจอเมริกาเป็นเอเชีย เนื่องจากเขาประมาณขนาดผิดพลาดไปในทางเล็กกว่าที่เป็นจริง ความจริงอีกอันหนึ่งที่เราอาจนึกสืบย้อนไปถึงการวัดขนาดพิภพของโปซิโดนิอัสก็คือ การเรียกชื่อ "ชาวอินเดียนแดง" นั้นเป็นการแสดงถึงการเข้าใจอเมริกาเป็นเอเชียชัด ๆ จนถึงศตวรรษที่ 15 ได้มีการรังวัดขนาดพิภพขึ้นใหม่ เฟลมมิชนักเขียนแผนที่และเมอร์เคเตอร์ ได้ทำการวัดขนาดของทะเลเมดิเตอเรเนียน และขนาดยุโรปทั้งหมด ซึ่งเป็นผลให้ได้ขนาดของพิภพเพิ่มขึ้น ศตวรรษที่17 ตารางเลขพละคณิต, กล้อง และวิธีการสามเหลี่ยมได้นำมาไว้ในกิจการยีออเดซี่ พิคาร์ด ชาวฝรั่งเศสได้รังวัดส่วนโค้งของพิภพ เขาวัดเส้นฐานขึ้นโดยใช้ท่อนไม้ ใช้กล้องรังวัดมุม และคำนวณด้วยตารางเลขพละคณิต คาสซินี ขยายส่วนโค้งของพิคาร์ดออกไปทางเหนือสู่เมืองดันเคิร์ก (Dunkirk) และลงใต้ถึงเขตแดนสเปน เขาแบ่งส่วนโค้งที่รังวัดออกเป็น 2

ส่วน ส่วนหนึ่งอยู่ทางเหนือจากปารีส อีกส่วนอยู่ทางใต้ เมื่อคำนวณค่าระยะ 1° จาก 2 ส่วนนั้น ส่วนเหนือระยะ 1° สั้นกว่าระยะ 1° ของส่วนทางใต้ ซึ่งที่เป็นเช่นนี้คงเนื่องมาจากพิภพมีรูปร่างรีอย่างไข่ หรือไม่ก็เป็นเพราะความเคลื่อนคลาดในการรังวัด ผลที่ได้มีการขัดแย้งถกเถียงกันอย่างจริงจังระหว่างนักวิทยาศาสตร์ฝรั่งเศสกับอังกฤษ อังกฤษอ้างว่าพิภพจะต้องมีส่วนยุบที่ขั้วดังเช่นที่นิวตัน (Newton) กับฮายเจนส์ (Huyjhens) แสดงให้เห็นทางทฤษฎี ส่วนฝรั่งเศสอ้างถึงผลการรังวัดของเขาว่าพิภพมีรูปร่างคล้ายทรงรีไข่ ในที่สุดเพื่อยุติข้อโต้เถียงกันสถาบันวิทยาศาสตร์ฝรั่งเศสได้ส่งนักสำรวจทางยีออเดติคไปยังเปรูในปี 1735 เพื่อวัดระยะเป็นองศาในแนวเมริเดียนใกล้กับอิเควเตอร์ และอีกแห่งหนึ่งไปยังแลบแลนด์ (Lapland) เพื่อวัดในลักษณะเดียวกันใกล้วงอาร์คติค(Arctic Circle) การรังวัดได้ข้อยุติว่าพิภพมีส่วนยุบที่ขั้วอย่างนิวตันทายไว้ตั้งแต่นั้นมาการคำนวณการสำรวจทางยีออเดติคทั้งหมด กระทำด้วยการทอนลงหาพื้นผิวสเฟียรอยด์ซึ่งใช้เป็นพื้นผิวตัวแทนพิภพจริง และได้ยึดถือกันมาจนถึงปัจจุบัน การค้นพบเรื่องนี้ถือว่ามีความสำคัญยิ่ง

5. ขนาดและรูปพิภพ (The size and shape of the Earth)

รูปของพิภพเกือบจะเป็นรูปทรงกลมมีลักษณะใกล้ไปทางทรงรีไข่ (Ellipsoid) ที่ขั้วมียุบลงมาเล็กน้อย เส้นผ่าศูนย์กลางในแนวศูนย์สูตรยาวกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางในแนวขั้วอยู่เพียง $\frac{1}{298}$ นี่คือถ้าคิดเป็นความต่างคงกล่าวได้ว่าเส้นผ่าศูนย์กลางในแนวศูนย์สูตรยาวกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางในแนวขั้วอยู่ 27 ไมล์

เนื่องจากผิวพิภพจริงมีลักษณะไม่ราบเรียบในทางคำนวณหากถือขนาดรูปทรงสัณฐานพิภพจริง ๆ มาใช้เป็นพื้นฐานในการคำนวณงานแผนที่ไม่สามารถจะนำเอากฎเกณฑ์ใด ๆ มาใช้ได้ ทั้งนี้นอกจากพื้นผิวขรุขระแล้วยังมีการแปรเปลี่ยนเอากฎเกณฑ์แน่นอนไม่ได้ นักยีออเดซีจึงหันมาใช้รูปพิภพสมมติที่มีพื้นผิวไม่ราบเรียบเล็กน้อยมีขนาดแน่นอนอันหนึ่งใช้เป็นตัวแทนพิภพจริง เพื่อใช้เป็นพื้นฐานในการคำนวณงานแผนที่ รูปพิภพสมมตินี้เรียกว่าสเฟียรอยด์(spheroid) หรือรูปทรงรีหมุน (Ellipsoid of revolution)

สเฟียรอยด์เป็นทรงรีมีส่วนยุบที่ขั้ว (oblate spheroid) เกิดจากการหมุนวงรีอันหนึ่งรอบแกนหมุน โค้งวงศูนย์สูตรและโค้งวงขนานจะเป็นโค้งวงกลมทั้งสิ้นและเส้นรอบตัดเกิดจากพื้นราบที่ผ่านพิภพเข้าไปในแนวเหนือได้ และบรรจุแกนหมุนพิภพด้วยจะเป็นรูปวงรีเท่ากันทั้งหมด

ให้ a และ b เป็นระยะกึ่งแกนยาวและกึ่งแกนสั้นของพิภพสมมุติ เมื่อกำหนดทราบค่าของa และ b แล้ว ขนาดอื่น ๆ สามารถกำหนดหาได้ ในขั้นแรกนี้จำเป็นต้องเข้าใจถึงคุณสมบัติของรูปวงรีเริ่มก่อน

e คืออัตราการเยื้องจากศูนย์กลาง เป็นค่าที่เทียบหาส่วนระหว่างระยะจากศูนย์กลางพิภพ (0) ถึงจุดโฟกัส (F) กับระยะ a

f คืออัตราการยุบของขั้วได้จากการเทียบส่วนระหว่างความต่างของ a และ b กับระยะ a

q คือระยะความยาวโค้งเมริเดียนใน 1 จตุรางคดล

R_m คือรัศมีความโค้งในแนวเมริเดียน

N คือรัศมีความโค้งในแนวรอยตัดที่ตั้งฉากกับแนวเมริเดียน หรือรัศมีความโค้งทางไพรมเวอติคอล (Prime Vertical)

จากวิชายีออเดซี (Geodesy) สามารถจะพิสูจน์สูตรเหล่านี้ได้ ดังต่อไปนี้

$$e \text{ (eccentricity)} = \frac{1}{a}(a^2 - b^2)^{\frac{1}{2}} = (2f-f^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$f \text{ (Flattening)} = \frac{1}{a}(a - b) = 1 - (1 - e^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$a \text{ (semi - major axis)} = \frac{b}{(1 - e^2)^{\frac{1}{2}}} = \frac{b}{1 - f}$$

$$b \text{ (semi - minor axis)} = a(1 - e^2)^{\frac{1}{2}} = a(1 - f)$$

มีจำนวนอีก 2 จำนวนอันเกี่ยวข้องกับวงรีที่เราต้องการทราบเป็นพิเศษ คือความยาว

เมริเดียนของจตุรางคดลหนึ่ง และรัศมีความโค้ง ณ จุดใด ๆ บนพิภพที่เราพิจารณา

$$q = \frac{\pi a}{2}\left(1 - \frac{e^2}{4} - \frac{3e^4}{64} \text{----------}\right)$$

หรือเพื่อสะดวกยิ่งขึ้น

$$q = \frac{\pi a}{2}\left(1 - \frac{f}{2} \pm \frac{f^2}{16} \text{----------}\right)$$

ถ้าให้ l เป็นละติจูด (Latitude) ของจุดใด ๆ ในแนวเมริเดียนวงรี รัศมีความโค้งของโค้ง ณ จุดที่พิจารณานั้น คือ

$$R_m = \frac{a(1 - e^2)}{(1-e' \sin^2 l)^{\frac{3}{2}}}$$

ที่ศูนย์สูตร I = 0"

$R_m = \frac{b^2}{a}$ มีค่าน้อยที่สุด

ที่ขั้ว l = 90°

$R_m = \frac{a}{b}$ มีค่ามากที่สุด

และรัศมีความโค้งทางไพรมเวอติคอล คือ

$$R_p = \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 l)^{\frac{1}{2}}}$$

ที่ศูนย์สูตร = 0°

$R_p = a$ มีค่าเท่ากับความยาวของกึ่งแกนยาว

ที่ขั้ว L = 90°

$R_p = \frac{a^2}{b}$

การพิสูจน์ค่าเหล่านี้จะได้นำไปกล่าวในบทที่ 4 ต่อไป

6. ยีออยด์ (Geoid)

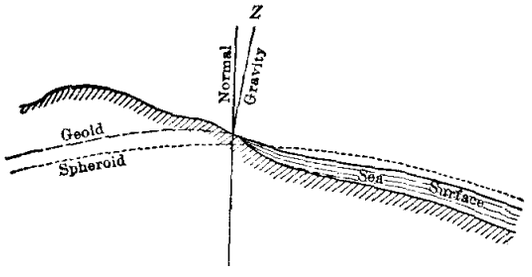
จากที่กล่าวมาแล้วนักศึกษาคงพอทราบรูปลักษณะของสเฟียรอยด์พอสมควร คำว่า ยีออยด์มาจากตำราภาษากรีกคือ geo = ลักษณะพิภพ, oides = รูปร่าง รูปคล้าย คลึง รวมความแล้วหมายความเป็นภาษาไทยว่ารูปร่างพิภพหรือรูปคล้ายคลึงกับพิภพนั่นเอง จากที่กล่าวในข้อ 5 จะเห็นว่าในการใช้พื้นผิวสเฟียรอยด์คือรูปทรงรีหมุนเป็นพื้นฐานในการคำนวณงานยีออเดติด นั่นย่อมมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับพื้นผิวทางกายภาพหรือพื้นผิวเชิงสกาย (Physical surface) บนพิภพ หากพิจารณาบนพื้นผิวมหาสมุทร พื้นยีออยด์ก็คือ พื้นระดับน้ำทะเลปานกลางนั่นเอง เป็นพื้นผิวเชิงจินตนาการโดยไม่ว่าจุดใด ๆ บนพื้นนี้จะตั้งได้ฉากกับทิศทางแนวดึงดูดของพิภพหรือมีศักยะทางดึงดูดเข้าสู่ศูนย์พิภพอย่างเดียวกัน แสดงได้โดยอาศัยการทิ้งดิ่งหรือเส้นดิ่ง

โดยทั่วไปยีออเดซีถือพื้นผิวยีออยด์กับพื้นผิวสเฟียรอยด์ไม่ทับกันแนบสนิท แม้จะได้มีการปรับค่าคงที่ของสเฟียรอยด์ให้เข้ากันได้กับพื้นยีออยด์อย่างดีที่สุดเท่าที่สามารถจะปรับได้ ทั้งนี้เนื่องจากพื้นผิวยีออยด์เป็นพื้นผิวประหนึ่งคือตัวแทนรูปพิภพจริงจึงเป็นพื้นผิวไม่สู้ราบเรียบเหมือนพื้นผิวสเฟียรอยด์ ฉะนั้น เมื่อนำพื้น 2 พื้นนี้เปรียบเทียบกันจึงเกิดมีแนวเฉออกไปจากกัน จากพื้นผิวยีออยด์มีสภาพเป็นลูกคลื่นขึ้น ๆ ลง ๆ (Undulation) เช่นนี้จึงทำให้พื้นผิวสเฟียรอยด์กับพื้นผิวยีออยด์มิได้ทับกันแนบสนิท สภาพของพื้นผิวยีออยด์ที่เป็นลูกคลื่นเนื่องมาจากการแจกแจงของมวลสารที่ไม่เหมือนกันทำให้เกิดการดึงดูดในทางแนวระดับไม่สมดุลขึ้น ประกอบกับผิวพิภพมีลักษณะธรรมชาติของพื้นผิวไม่ราบเรียบ มีภาคพื้นทวีป มหาสมุทร ภูเขา เขา ลูกเนิน สันเขา ที่จมอยู่ใต้พื้นผิว ฯลฯ มวลสารภายในพิภพเองไม่มีสภาพเป็นเอกรูป การเรียงตัวและการปรับตัวของขั้นมวลสารภายในพิภพยังแยกแตกต่างกัน งานระดับยีออเดติคเพื่อหากำหนดสูงของจุดบนผิวพิภพอ้างอิงจากพื้นผิวยีออยด์

การใช้พื้นยีออยด์แทนรูปพิภพจริงนี้นับว่าเป็นวิธีการประมาณขึ้นในทางปฏิบัติ ซึ่งใกล้เคียงกับความจริงอย่างเพียงพอ และก็ยังไม่มีพื้นผิวสมมุติอันใดที่ใกล้เคียงและดีกว่าพื้นผิวยีออยด์ ฉะนั้น เมื่อพูดถึงยีออยด์เรามักจะนึกถึงพื้นระดับน้ำทะเลปานกลางขณะอยู่นิ่ง

ปราศจากคลื่นลมและอำนาจดึงดูดอันเกิดจากดวงอาทิตย์ ดวงจันทร์ กับไม่คำนึงถึงน้ำขึ้นลง หรือน้ำที่ท่วมท้นขึ้นมาขณะใดขณะหนึ่ง รวมไปถึงกระแสน้ำ ภูมิอากาศ อากาศ

เพื่อให้เข้าใจดียิ่งขึ้นจากคุณสมบัติของยีออยด์ ต่อไปนี้จะได้นำค่าของส่วนโค้ง (Arc) ที่ U.S.C. & G.S. ได้วัดมาในนิวอิงแลนด์ ซึ่งค่าเหล่านี้เป็นค่าทางดาราศาสตร์ เปรียบเทียบกับค่ายีออยเดติคทางละติจูด ณ สถานีต่าง ๆ ดังต่อไปนี้



รูป 5.1 พื้นผิวยีออยด์แยกจากผิวสเฟียรอยด์

สถานี	ละติจูดทางดาราศาสตร์			ละติจูดทางยีออเดติด			ความต่าง
Farmington	44”	40’	12.06”	44”	40’	14.31”	+ 2.25”
Sebatis	44”	08’	37.60”	44”	08’	36.68”	- 0.92”
Independence	43”	45’	34.43”	43”	45′	32.47”	- 1.96
Agamenticus	43”	13’	24.98”	43”	13’	23.16”	- 1.82”
Thomson	42”	36’	38.28”	42”	36’	40.24”	+ 1.96”
Manomet	41”	55′	36.77””	41”	55′	+	1.44″
Nantucket	4.1°	17’	332.86″	41°	17′	+	0.80″

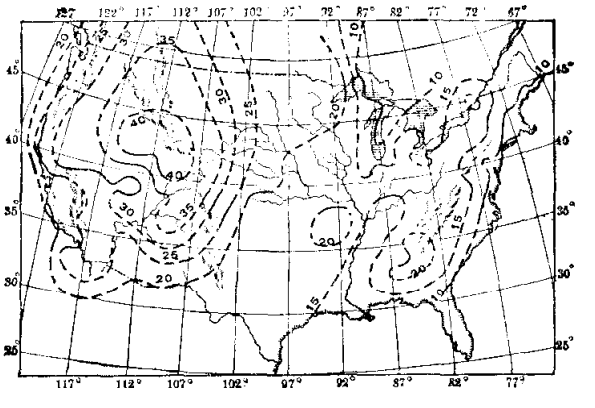
ค่าที่ปรากฏตารางข้างบนนี้คำนวณจากงานสามเหลี่ยมโดยใช้รูปโลกสมมุติของเบสเซล (Bessel spheroid) ซึ่งค่าละติจูดทางดาราศาสตร์เป็นค่ารังวัดมา หมายถึงง่ามมุมที่อยู่ระหว่างพื้นศูนย์สูตรกับเส้นดิ่ง ส่วนค่าละติจูดทางยีออเดติคเป็นค่ามุมอยู่ระหว่างพื้นศูนย์สูตรกับเส้นปกติหรือเส้นนอร์มอล (normal)

ยีออยด์มิใช่เป็นรูปคงที่ตายตัว ยีออยด์เป็นตัวแทนรูปพิภพจริงและตัวพิภพจริงนั้นพื้นผิวและภายในมีการแปรเปลี่ยนอยู่ตลอดเวลา หากเราพิจารณาการแปรเปลี่ยนของผิวพิภพเกิดจากบุคคล สัตว์ เช่น การก่อสร้าง การแปรรูปที่ดินเพื่อการเกษตร การปลูกและอื่น ๆ ของมนุษย์ กับการขุดรูโพลงเป็นที่อยู่อาศัยของสัตว์ การแปรเปลี่ยนของผิวพิภพเช่นนี้มีสภาพที่เป็นไปอย่างเล็กน้อยมากเมื่อเปรียบกับการแปรเปลี่ยนของพื้นผิวพิภพจากแรงธรรมชาติอันมีแรงภายใน (ความร้อน หลอมเหลว) และแรงภายนอก (weathering) เป็นต้น สภาพดินฟ้าอากาศภายนอกพิภพเป็นตัวการก่อกวนให้ผิวพิภพที่มีการสึกกร่อนหรือทำลายชะล้างส่วนที่เป็นภาคพื้นทวีปและนำไปเสริมสร้างในที่ราบลุ่มและห้วงมหาสมุทร กรรมวิธีทำลายเสริมสร้างนี้จะมีอยู่ตลอดเวลา ภาวะการดังกล่าวจะกล่อมเกลาให้พื้นผิวพิภพมีทางโน้มไปสู่พื้นโค้งที่เป็นเอกรูป (Uniformity) หรือราบเรียบสม่ำเสมอ แรงภายในมีส่วนกระทำให้ส่วนต่าง ๆ ของเปลือกพิภพยกสูงขึ้นหรือลดระดับต่ำลงอย่างช้า ๆ และในกรณีนี้รูปร่างของผิวยีออยด์ก็มีทางโน้มแปรเปลี่ยนไปด้วยเช่นกัน หากจุดศูนย์กลางของแรงดึงดูดพิภพแกว่งไปเหนือและใต้ในระยะรอบ 20,900 ปีแล้วไซร้ ตำแหน่งและรูปของยีออยด์ก็จะเปลี่ยนไปด้วยอย่างช้า ๆ บางทีแกนหมุนของพิภพก็เช่นกันนอกจากจะมีการแกว่งเพียงเล็กน้อยแล้วยังอาจแปรเปลี่ยนไปได้เมื่อคำนึงถึงมวลสารของพิภพเอง การแปรเปลี่ยนแม้จะมีเพียงเล็กน้อยมากก็ยังไม่อาจพ้นไปจากการศึกษา สืบค้นหาของมนุษย์เราได้ แม้การแปรเปลี่ยนจะมีขนาดเล็กแต่หอทดลองส่องวัดดาวเก่าแก่หลายแห่งได้รังวัดความแปรเปลี่ยนทางละติจูดและพบว่าการแปรเปลี่ยนเล็กน้อยเหล่านั้นสามารถหาได้

เราอาจคาดหวังได้ว่าระยะเวลาขนาดศตวรรษอนาคตใกล้นี้ การแปรเปลี่ยนอื่น ๆ คงจะทำให้น่าสังเกตและนำมาศึกษาวิจัยค้นคว้ากัน เมื่ออดีตเป็นผลให้เราได้ทราบถึงปัจจุบัน

ในขั้นนี้แล้ว เหตุผลที่ละเอียดถูกต้องในการจะคาดคะเนถึงการแปรเปลี่ยนในอนาคตก็ยิ่งมีผลออกมาในรูปที่ถูกต้องแม่นตรงยิ่งขึ้น ประวัติของพิภพในอดีตคือเหตุและผลนำไปสู่จุดหมายปลายทางให้ทราบความเป็นไปในกาลข้างหน้าของพิภพ ความเร้นลับ มืดมนของพิภพในอดีตและปัจจุบันจะค่อย ๆ ถูกเปิดโปงให้เราได้ทราบสิ่งแปลกที่เรายังไม่เคยพบเห็นมากยิ่งขึ้นทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ (1) ระยะเวลา (2) การศึกษา (3) ความเจริญทางด้านวิทยาศาสตร์และด้านอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

สำหรับงานแผนที่ชั้นสูงเราอาจยอมให้พื้นผิวสเฟียรอยด์กับพื้นผิวยีออยด์เป็นพื้นที่ใช้แทนกันได้ แต่งานในด้านความดูดพิภพ พื้นยีออยด์กับพื้นสเฟียรอยด์ถือว่าไม่ทับกันบางแห่งพื้น 2 พื้นอาจเฉออกไปจากกันหลายร้อยฟุตทีเดียว



รูป 5.2 เส้นชั้นของยีออยด์ (เมตร)

5.7 การสำรวจเชิงยีออเดติค (Geodetic Surveying)

การสำรวจเชิงยีออเดติคเป็นสาขาของศิลปะการสำรวจ ซึ่งการสำรวจนั้นมีส่วนเกี่ยวข้องกับอาณาบริเวณกว้างขวาง ฉะนั้นจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงผลอันเกิดจากความโค้งของพื้นผิวพิภพด้วย การสำรวจชนิดนี้กระทำด้วยความละเอียดสูง เพื่อวัดหาข้อมูลการ

สำรวจเกี่ยวกับขนาด และรูปทรงสัณฐานของพิภพ หรือเพื่อกำหนดตำแหน่งของจุดบนพื้นผิวในย่านระยะยาว กระจัดกระจายอยู่ห่างไกลกันในบริเวณอันกว้างใหญ่นั้น ต่อไปข้อมูลที่ได้นี้จะใช้เป็นจุดบังคับหรือควบคุมงานการสำรวจที่มีความละเอียดต่ำกว่า

การสำรวจที่ต้องใช้ความละเอียดสูงย่อมมีความจำเป็นยิ่งสำหรับการทำแผนที่ทั้งประเทศ วิธีการสำรวจพื้นราบนั้นความละเอียดไม่เพียงพอ เพราะเราไม่อาจพิจารณาพื้นผิวพิภพอันกว้างใหญ่นั้นให้เป็นพื้นแบบแบนได้ โดยเหตุนี้ทฤษฎีการกำหนดตำแหน่งของจุดตลอดจนระเบียบวิธีการคำนวณตำแหน่งจึงได้รับการดัดแปลงนำมาประยุกต์ การทำแผนที่ชายฝั่งทะเล การทำแผนที่ภูมิประเทศ หรือการทำแผนที่กำหนดแนวเขตประเทศ และรัฐมีความต้องการการกำหนดจุดลงอย่างถูกต้องเพื่อเป็นโครงยึดของรายละเอียดที่จะติดตามมาภายหลัง วิธีการทั่ว ๆ ไปในการกำหนดตำแหน่งของจุดในทางสัณฐานทางราบ และทางดิ่ง คือ

- การสามเหลี่ยม
- การวงรอบ
- การระดับ

สำหรับการสามเหลี่ยมนั้นเป็นวิธีการกำหนดหาตำแหน่งของจุดโดยใช้วิธีรังวัดมุมราบระหว่างแนวเล็ง ณ จุดยอดมุมของรูปสามเหลี่ยม ส่วนระยะต่าง ๆ ได้จากการคำนวณโดยอาศัยวิชาตรีโกณมิติแทนการรังวัดโดยตรง นอกเสียจากระยะเส้นฐานซึ่งเป็นระยะเริ่มแรกที่จะต้องทำการรังวัดมาโดยตรงเพื่อใช้ในการคำนวณหาระยะอื่น ๆ ต่อไปตลอดโครงข่ายสามเหลี่ยม วงรอบเป็นวิธี การหาตำแหน่งของจุดสัณฐานทางราบโดยการวัดระยะจากจุดถึงจุด และรังวัดมุมระหว่างจุดต่อของชุดเส้นตรงที่วัดนั้น ส่วนระดับเป็นวิธีหาระยะในแนวดิ่งของจุดที่พิจารณาถึงพื้นหลักฐานการระดับ

ปรากฏว่างานสำรวจเชิงยีออเดติคอาจกระทำก่อน ก่อนที่ขนาดของพิภพอันถูกต้องจะได้รับการคำนวณขึ้น และหรือในทางกลับกันย่อมเป็นความจริงว่าก่อนที่การสำรวจเชิง

มียีออเดติด จะได้รับการคำนวณได้อย่างถูกต้องแม่นตรงนั้น มีความจำเป็นจะต้องทราบขนาดของพิภพก่อน ฉะนั้น การสำรวจเชิงยีออเดติดปกติต้องมีการปฏิบัติด้วยจุดประสงค์ 2 อย่าง

1) เพื่อรวบรวมข้อมูลเชิงวิทยาศาสตร์ทางยีออเดซี และ
2) เพื่อทำแผนที่บริเวณพื้นที่อันกว้างใหญ่ไพศาล

การสำรวจทุกชนิดย่อมต้องอาศัยข้อมูลก่อน ๆ ที่หาไว้แล้ว นอกจากนั้นยังต้องกำหนดหาเพิ่มเติม หรือปรับปรุง ซ่อมแก้ไขข้อมูลที่มีอยู่แล้ว โดยเหตุนี้การรังวัดจึงมักกระทำด้วยความประณีตที่ถือสำคัญกว่าความจำเป็นที่มุ่งแต่เชิงทางปฏิบัติเพียงอย่างเดียว

งานของนักยีออเดซีเกี่ยวข้องโดยใกล้ชิดกับสาขาวิทยาการอื่น ๆ หลายสาขา เช่น วิชาดาราศาสตร์เชิงปฏิบัติ, วิชาอุทกศาสตร์, วิชาธรณี, วิชาความสั่นสะเทือนพิภพ และฟิสิคส์เกี่ยวกับพิภพ โดยเหตุนี้กิจกรรมการสำรวจเชิงยีออเดติดจึงมักจะรวมเอาเรื่องต่อไปนี้ คือ การสามเหลี่ยม, การรังวัดดาราศาสตร์, ระดับ, และการวงรอบข้อมูลจากผลงานเหล่านี้นำไปใช้ควบคุม หรือเป็นหลักการสำรวจอื่น ๆ ส่วนในด้านการศึกษาวิจัยปัญหาทางยีออเดติดก็มีเรื่องเกี่ยวกับการสำรวจเชิงอุทกศาสตร์ และภูมิประเทศ การรังวัดกระแสน้ำขึ้นลง การรังวัดความดึงดูดพิภพ การรังวัดองค์ประกอบแม่เหล็กพิภพ การรังวัดความสั่นสะเทือนภิพบ และการศึกษาวิชาการทำแผนที่ (Cartography) การรังวัดบางอย่างของนักยีออเดซีย่อมเผยให้ทราบความจริงอันสำคัญเกี่ยวกับกฎเกณฑ์ความเป็นไปในส่วนภายในพิภพ ข่าวสารที่ได้ยังนำไปใช้ในทางปฏิบัติของงานทางธรณี วิธีการศึกษาความแปรเปลี่ยนเกี่ยวกับความแน่นของเปลือกโลกนั้นก็เช่นเดียวกัน ได้นำไปใช้ประโยชน์เพื่อกำหนดตำแหน่งที่อยู่ของแหล่งแร่ แผนที่อุทกศาสตร์ทำขึ้นเพื่อช่วยเหลือนักเดินเรือ หมุดหลักฐานที่ทราบสัณฐานทางราบกับทางดิ่ง และแผนที่ภูมิประเทศ เป็นเครื่องช่วยนักวิศวกร และผู้อื่นที่มีส่วนเกี่ยวข้อง การศึกษาความสั่นสะเทือนของพิภพ นอกจากจะให้ข่าวสารในการเตือนภัยอันเกิดจากแผ่นดินไหวแล้วยังเป็นเครื่องช่วยนักวิศวกร และนักสถาปนิกเรื่องการออกแบบการก่อสร้างต่าง ๆ เพื่อป้องกันด้านพลังแผ่นดินไหว

จากที่กล่าวมานี้ รู้สึกว่าวิชายีออเดซีมีส่วนเกี่ยวข้องโดยใกล้ชิดกับวิทยาศาสตร์ส่วนหนึ่ง และอีกส่วนหนึ่งมีส่วนเกี่ยวข้องกับการค้า และการอุตสาหกรรม