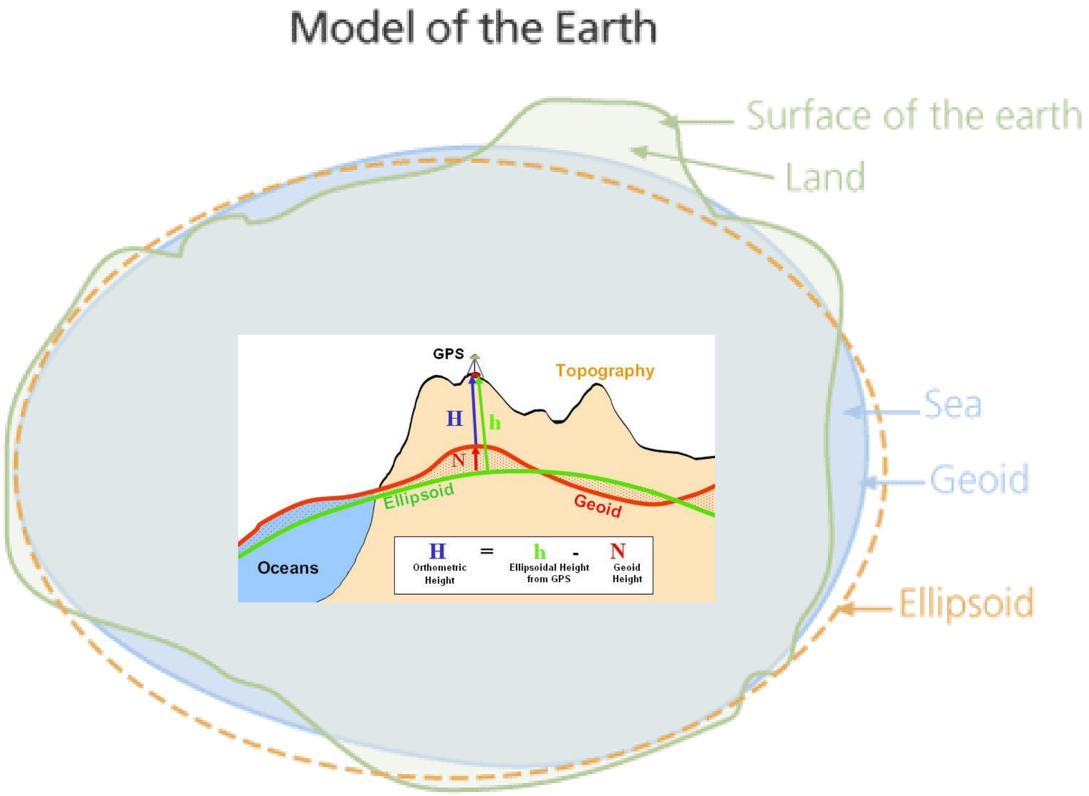
GLOBAL GEODESY

- ยีออเดซีพิภพ (Global Geodesy) บรรยายรูปทรงและขนาดของโลก การวางตัวของโลกในอวกาศ และสนามความโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลก

เป้าหมายของวิชานี้

- เข้าใจความแตกต่างของ Ellipsoid, Geoid, Earth Surface
- ประเด็นพิกัดทางราบ : ทราบ Cartesian, Geodetic and Local Coordinate System (ENU) บน Datum ต่างๆ
- ประเด็นพิกัดทางดิ่ง : ทราบความสัมพันธ์ Height System เข้าใจความแตกต่างของค่าระดับจากการเดินระดับกับจีพีเอส
- รู้จักตัวย่อในวงการ ICRF ITRF EOP WGS EGM TGM UTM

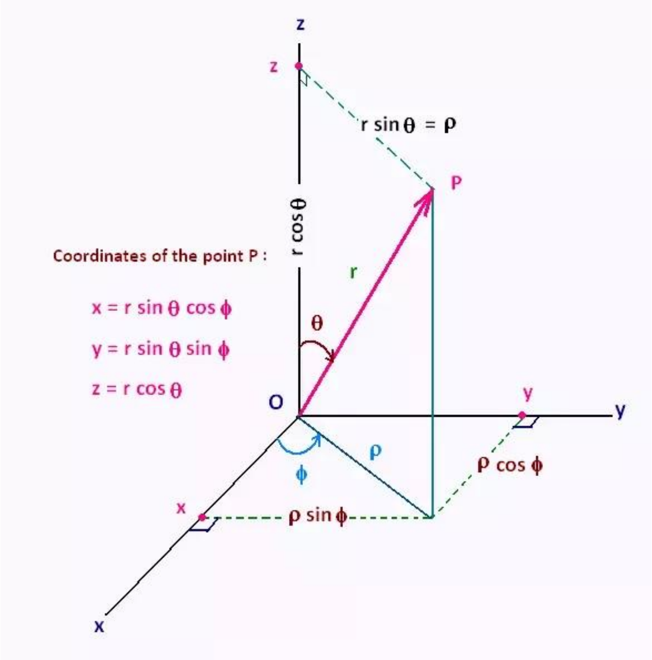
❖ ใช้ Geographiclib เพื่อแก้ Geodesy problem ได้
❖ เอาสมการที่เรียนในห้องมาเขียน python ได้



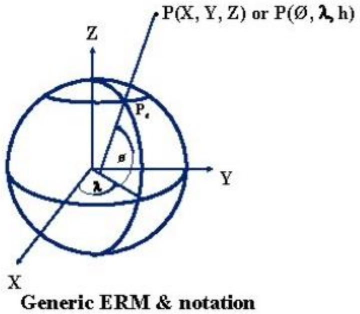
REFERENCE SYSTEM AND FRAME

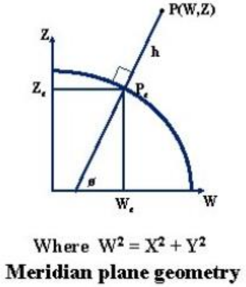
- การบอกตำแหน่งของวัตถุบนพื้นโลกเชิงสัมบูรณ์ (Absolute Position) ปัจจุบันให้ความสนใจในการบอกตำแหน่ง 4 มิติ มีเวลาเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย

- รูปแบบของระบบพิกัดอ้างอิง (Reference System) สามมิติ
  - Three Dimension Cartesian Coordinate System (X, Y, Z) ตัวอย่าง Earth Centered Earth Fixed (ECEF)
  - Three Dimension Polar Coordinate System $(\boldsymbol{r}, \boldsymbol{\theta}, \boldsymbol{\phi})$ ตัวอย่าง Geodetic Coordinate (Latitude, Longitude, Ellipsoidal height)



- รูปแบบของกรอบพิกัดอ้างอิง (Reference Frame) สามมิติ เช่น แกน X, Y, Z มีทั้งแบบที่สถิต (กรอบนิ่ง) และแบบที่กรอบอ้างอิงมีการเคลื่อนที่ เรามักบอกพิกัดบนพื้นหลักฐาน (DATUM) เช่น WGS84 ซึ่งมีลักษณะของกรอบพิกัดแบบหนึ่ง ปัจจุบันมีการพัฒนากรอบอ้างอิงของโลกซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาเกิดเป็น ITRF



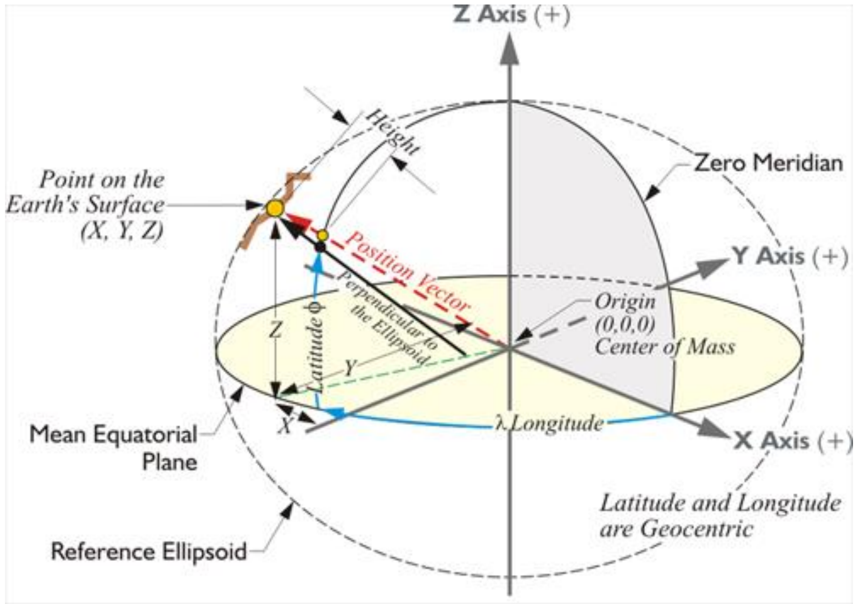


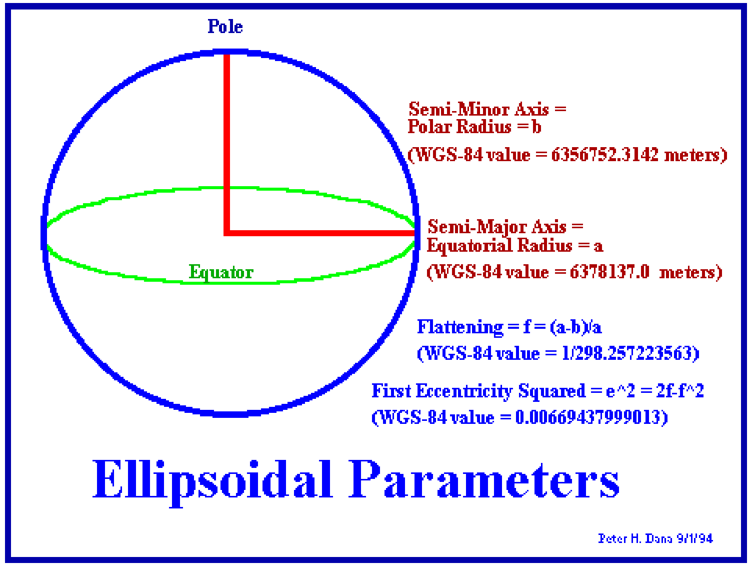
EARTH MODEL

- การศึกษาทางยีออเดซีทราบว่าโลกของเรามีรูปทรงใกล้เคียงกับทรงรีขั้วยุบ (Oblate Ellipsoid/Spheroid) รัศมีของโลกที่ในแนวระนาบศูนย์สูตรยาวกว่าในแนวระนาบเมริเดียนหลักเล็กน้อย

- การคำนวณบนพื้นโลกเพื่อความง่ายเริ่มจากการมองว่าโลกเป็นทรงกลมก่อน คณิตศาสตร์ที่ใช้เป็นหลักของตรีโกณมิติทรงกลม (Spherical Trigonometry) จากนั้นสามารถมองเป็นทรงรี ซึ่งสมการคำนวณมีความซับซ้อนมากขึ้น การคำนวณส่วนใหญ่มักใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณ (Geographiclib)

- การบันทึกพิกัดมักบันทึกลงบนพื้นหลักฐานอ้างอิงซึ่งมีการระบุพารามิเตอร์ของทรงรี (Semimajor length, Flattening) เป็นของตนเอง หากใช้ทรงกลมโลกแทนจะใช้รัศมีเท่ากับ 6371 km (สมัยก่อน Eratosthenes ได้ทำการคำนวณไว้ ใกล้เคียงค่านี้)

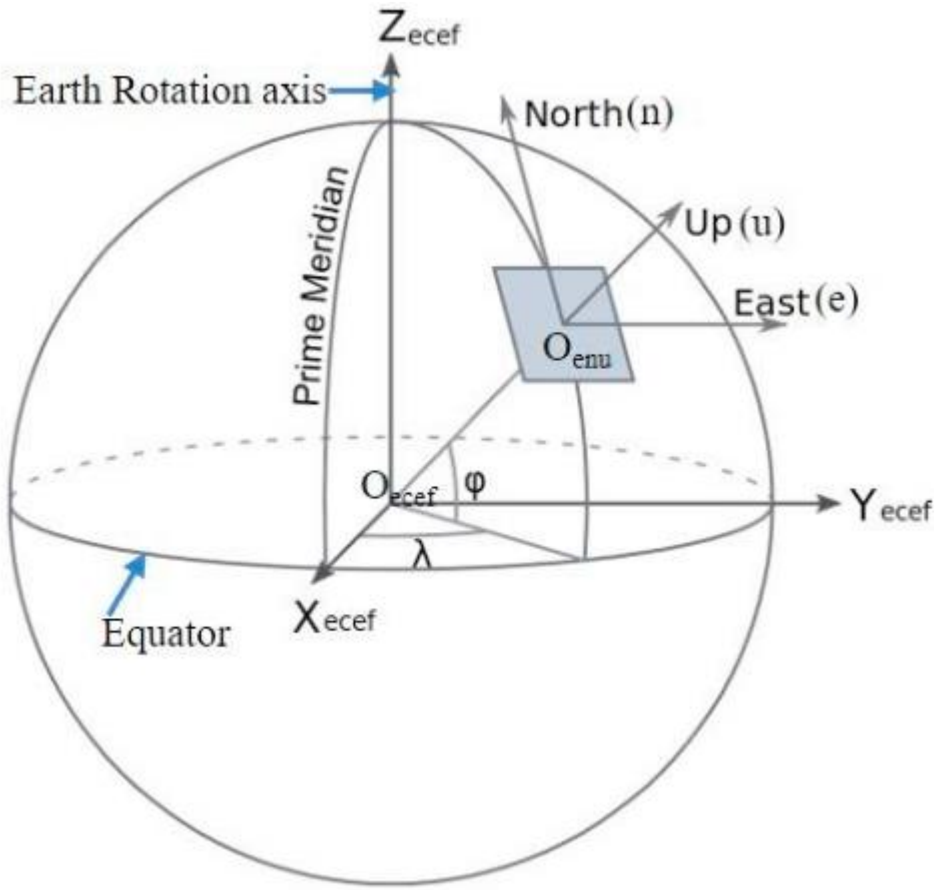




SPHERICAL EARTH MODEL

- โลกเรามีการจำลองเส้นเมริเดียน (Meridian Line) เป็นวงกลมใหญ่ของระนาบเมริเดียน (Meridian Plane) และเส้นขนาน (Parallel Line) เป็นวงกลมใหญ่ (กรณีระนาบศูนย์สูตร Equatorial Plane) และวงกลมเล็ก (กรณีระนาบเส้นขนานอื่นๆ) รัศมีวงกลมเล็กลดลงตามละติจูดที่เพิ่มขึ้น

- การระบุตำแหน่งของวัตถุบนพื้นโลกในกรณีพิกัดเชิงมุม
  - ละติจูด (Latitude) มุมระหว่าง Equatorial Plane กับ Observer's Normal Section Plane
  - ลองติจูด (Longitude) มุมระหว่าง Prime Meridian Plane กับ Observer's Meridian Plane



SPHERICAL TRIGONOMETRY REVIEW

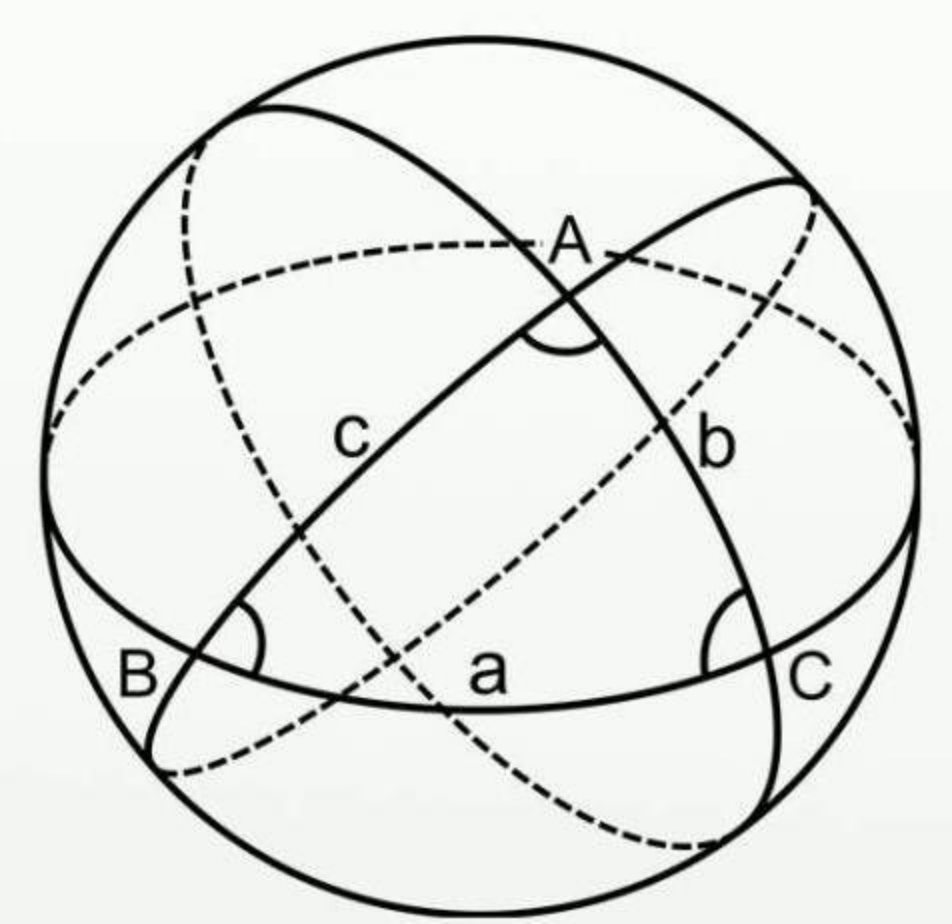
- ปัญหาทางยีออเดซีบนทรงกลมโลกสามารถแก้ได้ด้วยตรีโกณมิติทรงกลม พิจารณาทรงกลมหนึ่งหน่วย ความยาวส่วนโค้งยาวเท่ากับมุมที่รองรับส่วนโค้งนั้นที่จุดศูนย์กลางโลกในหน่วยเรเดียน

- Law of Cosine for Spherical Trigonometry

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A,$$
$$\cos b = \cos c \cos a + \sin c \sin a \cos B,$$
$$\cos c = \cos a \cos b + \sin a \sin b \cos C,$$

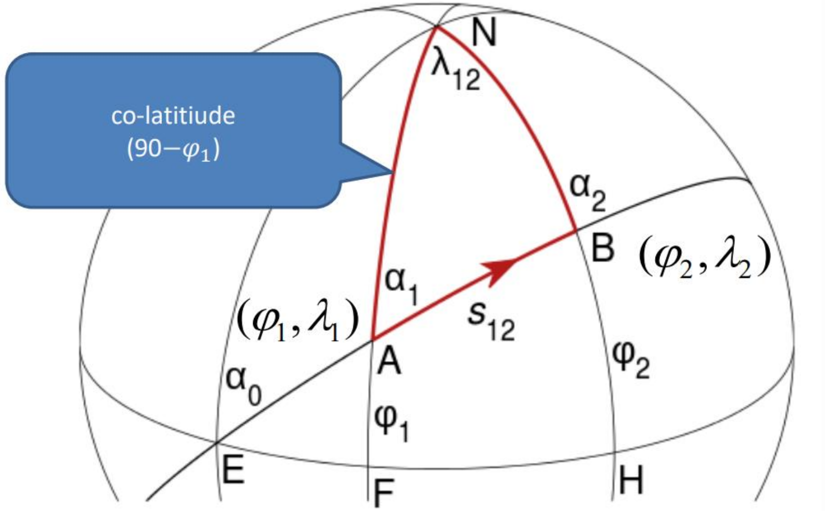
- Law of Sine for Spherical Trigonometry

$$\frac{\sin A}{\sin a} = \frac{\sin B}{\sin b} = \frac{\sin C}{\sin c}.$$



GEODESY PROBLEM

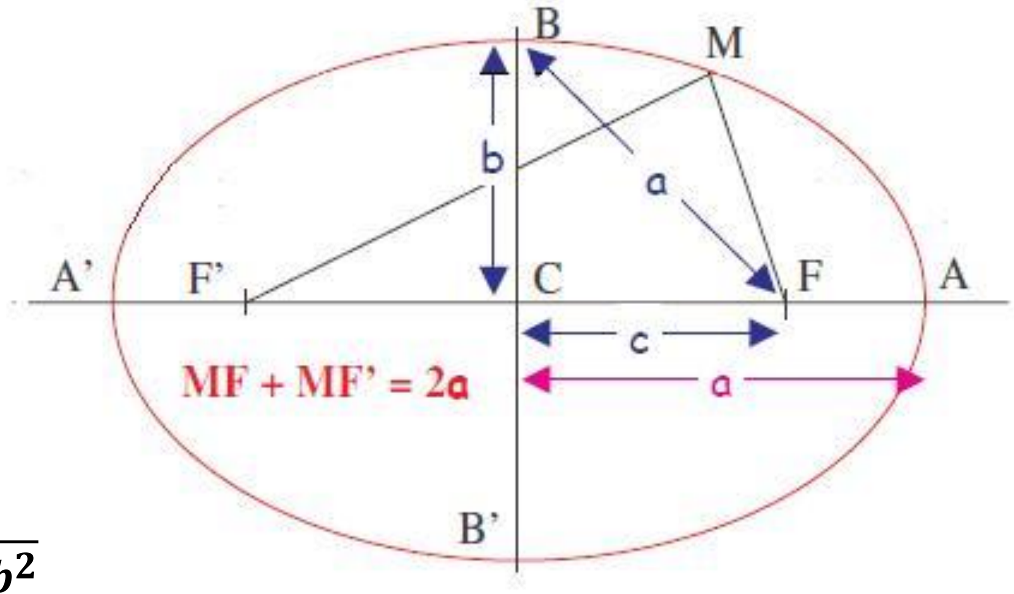
- การเดินทางจากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่งบนทรงกลม
  - เส้นทางที่สั้นที่สุดบนพื้นโลก คือ เส้นวงกลมใหญ่ (Great Circle Line) อีกชื่อเรียก Orthodrome ใช้ตรีโกณมิติทรงกลมคำนวณได้
  - เส้นทางที่มีมุมทิศคงที่ เรียกว่า Rhumb Line อีกชื่อคือ Loxodrome ใช้ในการเดินเรือ ต้องใช้สมการเฉพาะทางคำนวณ



- Fundamental Geodesic Problem มีสองรูปแบบคือ
  - The direct geodesic problem : Initial Value Problem (IVP)
    - ➢ กำหนด Initial Position, Initial forward Azimuth และ Orthodrome Distance
    - ➢ ต้องการทราบ Destination Position และ destination’s forward azimuth
  - The inverse geodesic problem : Boundary Value Problem (BVP)
    - ➢ กำหนด Initial and Destination Position
    - ➢ ต้องการทราบ Orthodrome Distance และ Initial – Destination forward azimuth

THE GEOMETRY OF ELLIPSE REVIEW

- วงรี (Ellipse) เป็นเซตของจุดใดๆ ซึ่งมีผลรวมระยะทางจากจุดนั้นไปยังจุดตรึง (Focus) สองจุดมีค่าคงตัว สามารถเขียนวงรีได้ด้วย Pin – String Method



- องค์ประกอบของวงรี (Ellipse Component)
  - Standard Equation $\left(\frac{x}{a}\right)^2 + \left(\frac{y}{b}\right)^2 = 1$
  - Semi major axis a
  - Semi minor axis b
  - Focus distance $c = \sqrt{a^2 - b^2}$
  - Eccentricity $e = \frac{\sqrt{a^2-b^2}}{a}$ $\quad e' = \frac{\sqrt{a^2-b^2}}{b}$
  - Flattening $f = \frac{a-b}{a}$ $\quad e^2 = 2f - f^2$

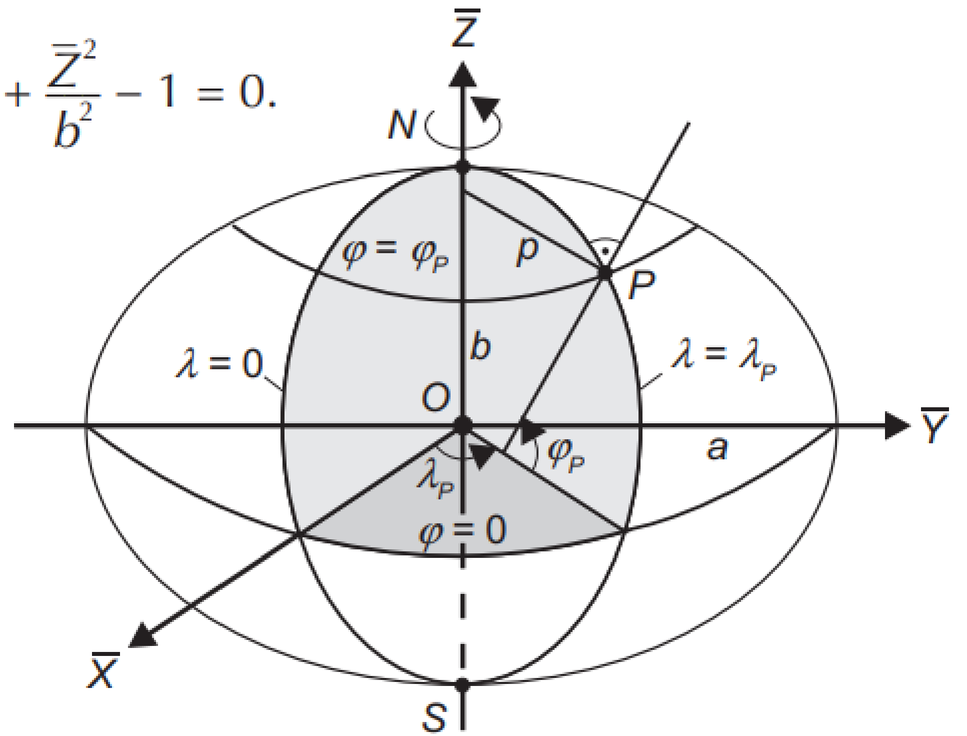
$$\frac{b}{a} = 1 - f = \sqrt{1 - e^2} = \frac{1}{\sqrt{1 + e'^2}} = \frac{e}{e'}.$$

SPHEROIDAL /ELLIPSOIDAL EARTH MODEL

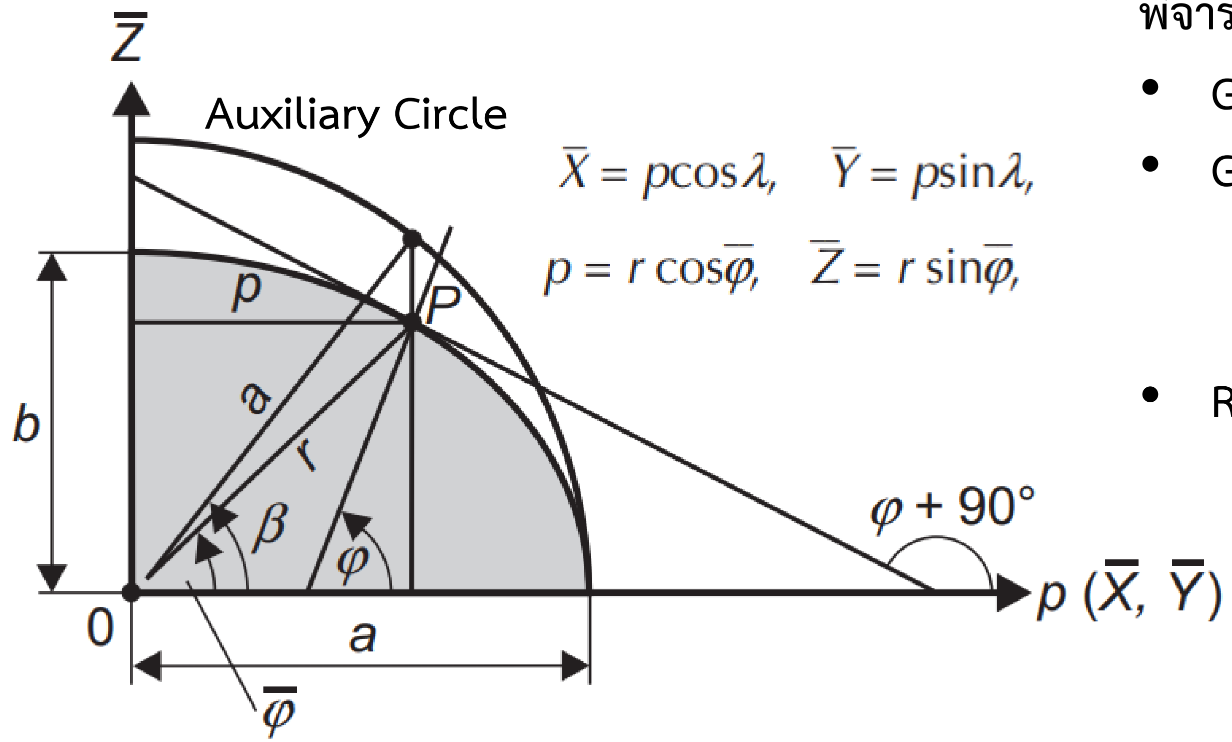
- พิจารณาทรงรีขั้วยุบ ระนาบศูนย์สูตรเป็นระนาบวงกลม ส่วนระนาบเมริเดียนเป็นระนาบวงรี

- ประเด็นที่น่าสนใจ
  - นิยามของ Latitude เพราะกรณีทรงรี Normal Section Plane ไม่ได้เข้าไปตัดศูนย์กลางโลก
  - รัศมีความโค้ง (Radius Curvature) ซึ่งหากพิจารณาแนว Meridian กับ Prime Vertical จะยาวไม่เท่ากัน
  - การคำนวณ Orthodrome บนผิวทรงรีไม่สามารถใช้ Spherical Trigonometry คำนวณได้

$$\frac{\bar{X}^2 + \bar{Y}^2}{a^2} + \frac{\bar{Z}^2}{b^2} - 1 = 0.$$



SPHEROIDAL /ELLIPSOIDAL LATITUDE



พิจารณา Observer's Meridian Plane ดูภาพทางซ้าย

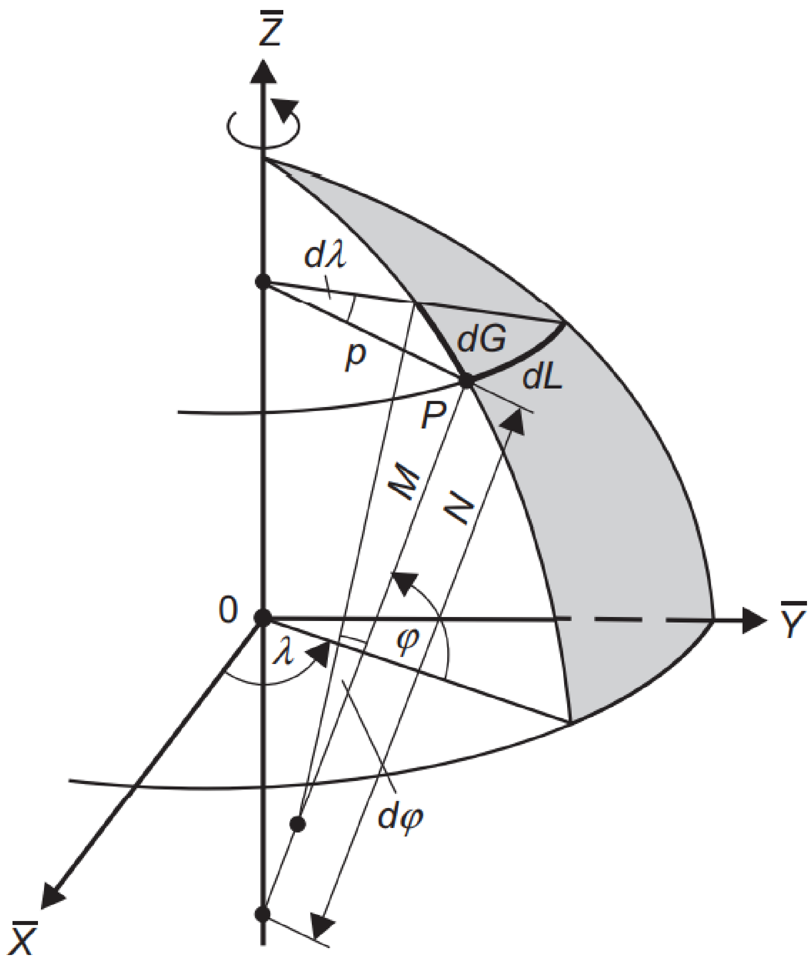
- Geodetic Latitude $\boldsymbol{\varphi}$
- Geocentric Latitude $\boldsymbol{\bar{\varphi}}$

$$\tan\bar{\varphi} = \left(\frac{b}{a}\right)^2 \tan\varphi = (1 - e^2)\tan\varphi,$$

- Reduced Latitude $\boldsymbol{\beta}$

$$\tan\beta = \frac{b}{a}\tan\varphi = \sqrt{1 - e^2}\,\tan\varphi.$$

SPHEROIDAL/ELLIPSOIDAL RADIUS OF CURVATURE



Curvature of the rotational ellipsoid.

The Radius Curvature of Meridian

$$M = \frac{a(1 - e^2)}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{\frac{3}{2}}}.$$

$$M_0 = \frac{b^2}{a}, \; N_0 = a.$$

The Radius Curvature of Prime Vertical

$$M_{90} = N_{90} = \frac{a^2}{b}.$$

$$N = \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{\frac{1}{2}}}.$$

The Arc Lengths of coordinate arc

$$dG = M\,d\varphi, \quad dL = N \cos\varphi\, d\lambda.$$

LOCAL COORDINATE SYSTEM

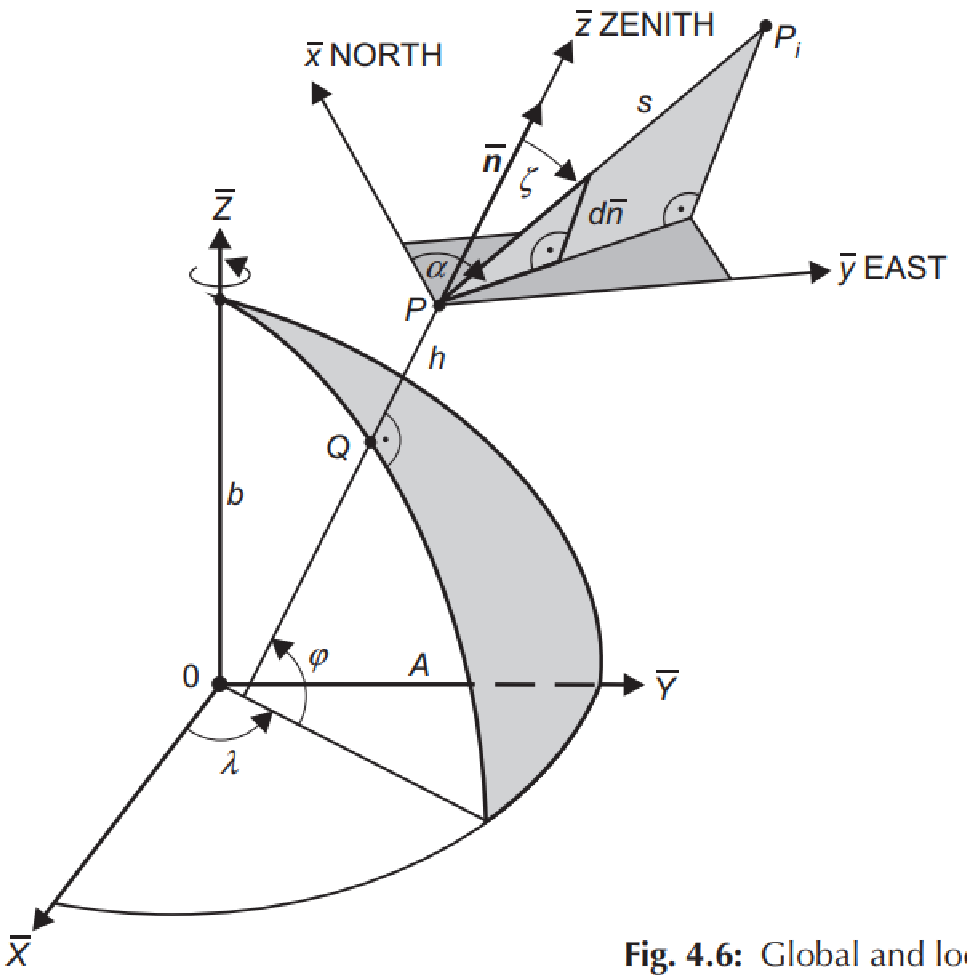


Fig. 4.6: Global and local ellipsoidal system.

- สำหรับการเคลื่อนตัวบนพื้นโลก ในระดับเล็กน้อย การบอกการเลื่อนตัวของจุดบนระบบพิกัดท้องถิ่น ช่วยทำให้เข้าใจได้ง่าย

- การเลื่อนตัวในท้องถิ่น

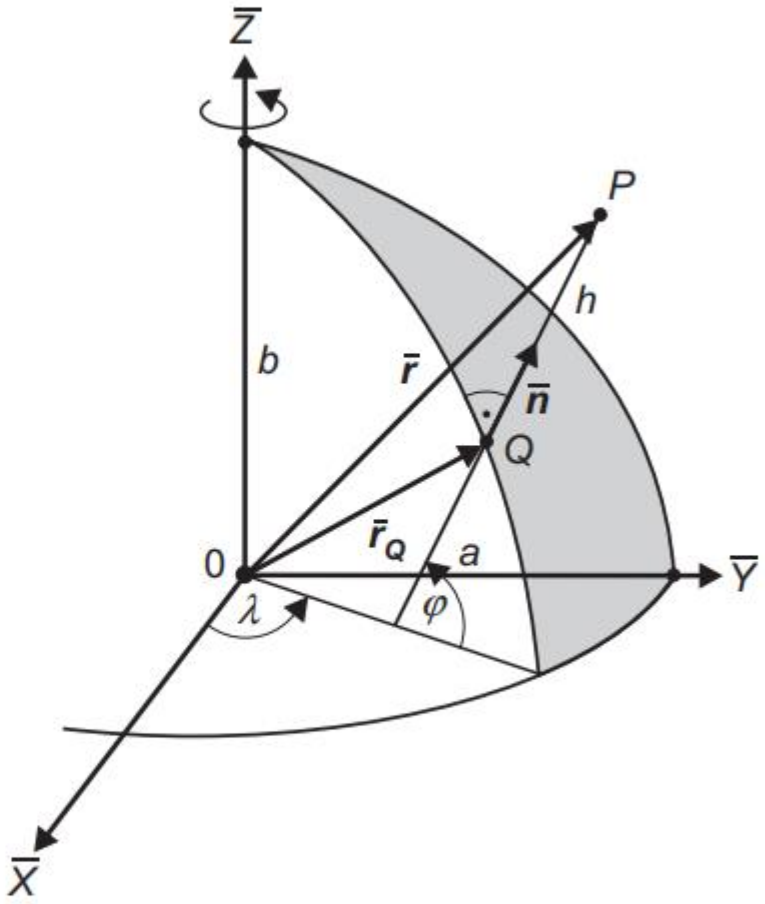
$$\begin{pmatrix} \Delta E \\ \Delta N \\ \Delta U \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -sin\varphi cos\lambda & -sin\varphi sin\lambda & cos\varphi \\ -sin\lambda & cos\lambda & 0 \\ cos\varphi cos\lambda & cos\varphi sin\lambda & sin\varphi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix}$$

orthogonal matrix

ตัวอย่างการนำไปใช้ระบุความเร็วการเคลื่อนตัวสถานี

Station	ITRF-2000 Velocities (mm/yr)			Standard Deviations (mm/yr)		
	North	East	Up	North	East	Up
OTRI	-5.194	+31.395	-0.101	0.326	0.553	1.637

THREE DIMENSION COORDINATE TRANSFORMATION



- Geodetic Coordinate --> Cartesian Coordinate

$$\bar{\mathbf{r}} = \begin{pmatrix} \bar{X} \\ \bar{Y} \\ \bar{Z} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (N+h)\cos\varphi\cos\lambda \\ (N+h)\cos\varphi\sin\lambda \\ ((1-e^2)N+h)\sin\varphi \end{pmatrix}.$$

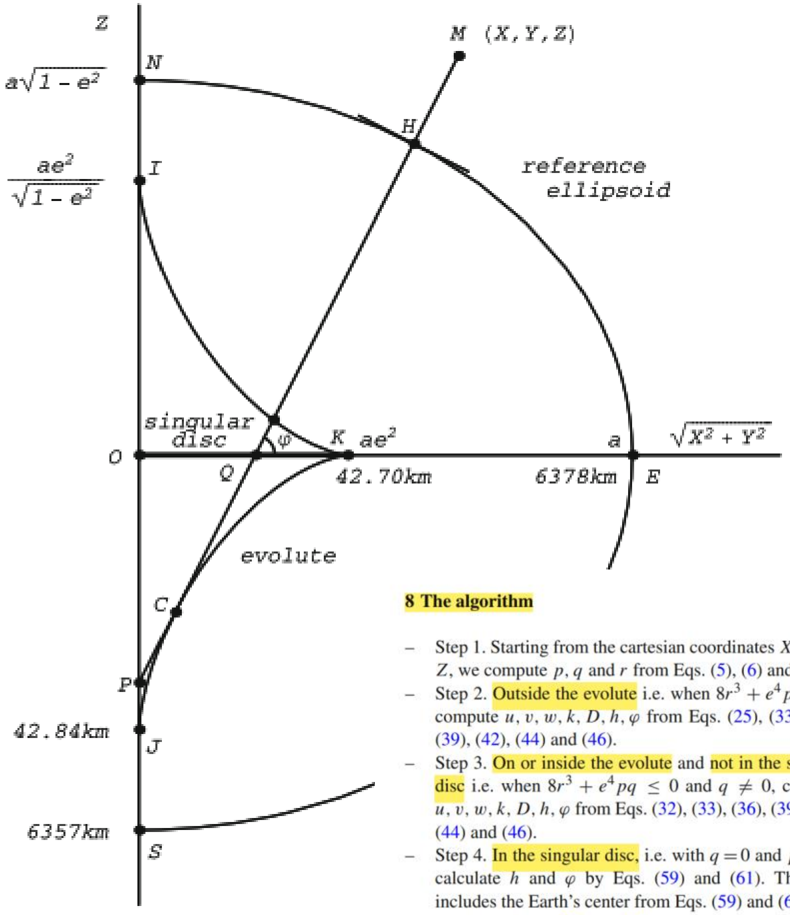
- Cartesian Coordinate --> Geodetic Coordinate
  - Heiskanen and Moritz (Iteration Method)

$$h = \frac{\sqrt{\bar{X}^2+\bar{Y}^2}}{\cos\varphi} - N, \quad \varphi = \arctan \frac{\bar{Z}}{\sqrt{\bar{X}^2+\bar{Y}^2}}\left(1 - e^2\frac{N}{N+h}\right)^{-1}$$

$$\lambda = \arctan\frac{\bar{Y}}{\bar{X}}.$$

  - Vermeille (Analytical Method)

THREE DIMENSION COORDINATE TRANSFORMATION : VERMEILLE 2011



8 The algorithm

- Step 1. Starting from the cartesian coordinates X, Y and Z, we compute p, q and r from Eqs. (5), (6) and (17).
- Step 2. Outside the evolute i.e. when $8r^3 + e^4 pq > 0$, compute $u, v, w, k, D, h, \varphi$ from Eqs. (25), (33), (36), (39), (42), (44) and (46).
- Step 3. On or inside the evolute and not in the singular disc i.e. when $8r^3 + e^4 pq \le 0$ and $q \ne 0$, compute $u, v, w, k, D, h, \varphi$ from Eqs. (32), (33), (36), (39), (42), (44) and (46).
- Step 4. In the singular disc, i.e. with $q = 0$ and $p \le e^4$, calculate h and φ by Eqs. (59) and (61). This step includes the Earth's center from Eqs. (59) and (61) with $p = 0$, i.e. Eqs. (62) and (63).

สมการคำนวณสำหรับ h = - 10 km ถึง 30,000 km

$$p = \frac{X^2 + Y^2}{a^2}$$

$$q = \frac{1 - e^2}{a^2} Z^2$$

$$r = \frac{p + q - e^4}{6}$$

Step 2 Outside the evolute $8r^3 + e^4 pq > 0$

$$u = r + \frac{1}{2}\left(\sqrt{8r^3 + e^4 pq} + \sqrt{e^4 pq}\right)^{2/3} + \frac{1}{2}\left(\sqrt{8r^3 + e^4 pq} - \sqrt{e^4 pq}\right)^{2/3}$$

$$v = \sqrt{u^2 + e^4 q}$$

$$w = e^2 \frac{u + v - q}{2v}$$

$$k = \frac{u + v}{\sqrt{w^2 + u + v} + w}$$

$$D = k \frac{\sqrt{X^2 + Y^2}}{k + e^2}$$

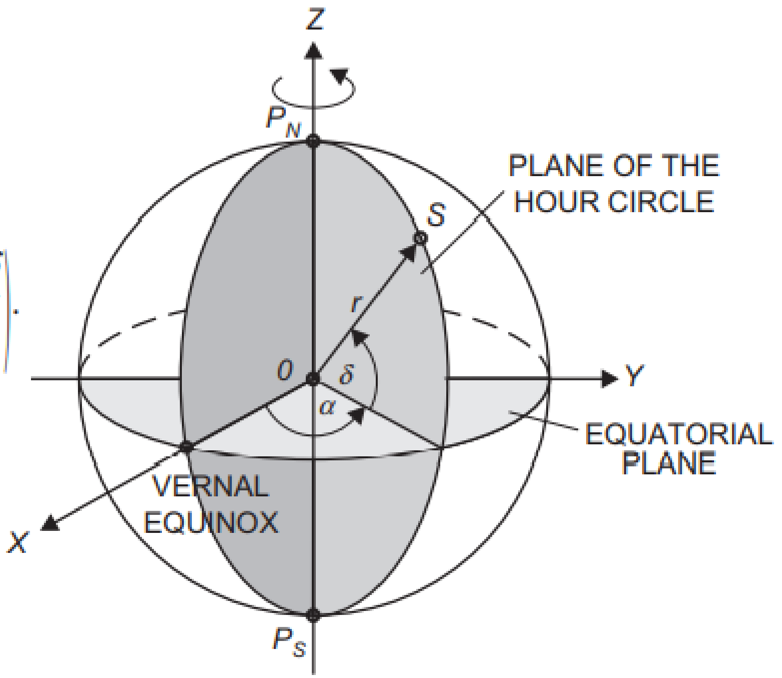
$$h = \frac{k + e^2 - 1}{k} \sqrt{D^2 + Z^2}$$

$$\varphi = 2 \arctan \frac{Z}{\sqrt{D^2 + Z^2} + D}$$

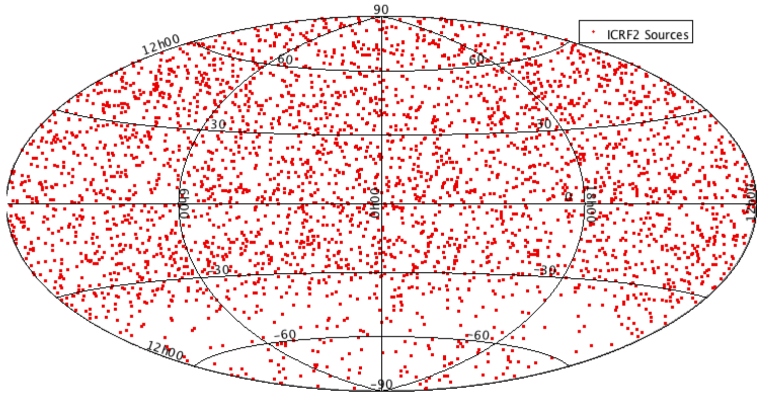
INTERNATIONAL CELESTIAL REFERENCE SYSTEM/FRAME (ICRS/ICRF)

- กรอบอ้างอิงสำหรับวัตถุทางดาราศาสตร์นอกโลก จากการรังวัดพิกัดในระบบพิกัด Declination และ Right Ascension เพื่อติดตามการวางตัวของโลก (Earth Orientation Parameter)
  - Precession and Nutation
  - Polar Motion
  - Length of Day (LOD)

$$\mathbf{r} = \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = r \begin{pmatrix} \cos\alpha\cos\delta \\ \sin\alpha\cos\delta \\ \sin\delta \end{pmatrix}.$$



- การพัฒนา ICRS/ICRF
  - ก่อนหน้า ICRS มีการทำ Fundamental Catalog ของดาวฤกษ์มาก่อนแล้ว จนถึงการใช้ดาวเทียม HIPPACOS บันทึกดาวฤกษ์ 120,000 ดวง
  - ICRS เลือกใช้วัตถุทางดาราศาสตร์ที่ปล่อยคลื่นวิทยุ ส่วนใหญ่มักเป็นดาราจักรอันไกลโพ้น (Extragalactic radio source)
  - เทคโนโลยีที่ใช้ศึกษาคือ VLBI (Very long baseline interferometry)



ICRF/ICRS DEVELOPMENT

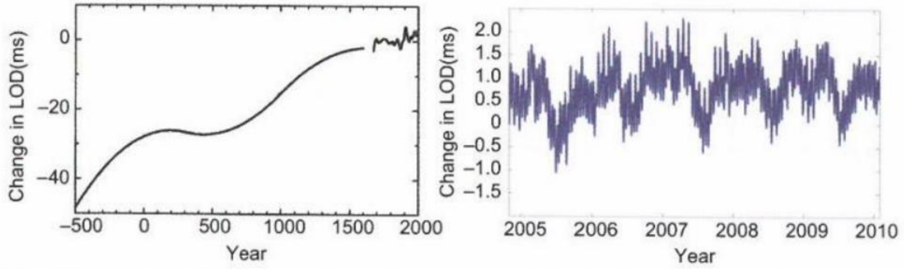
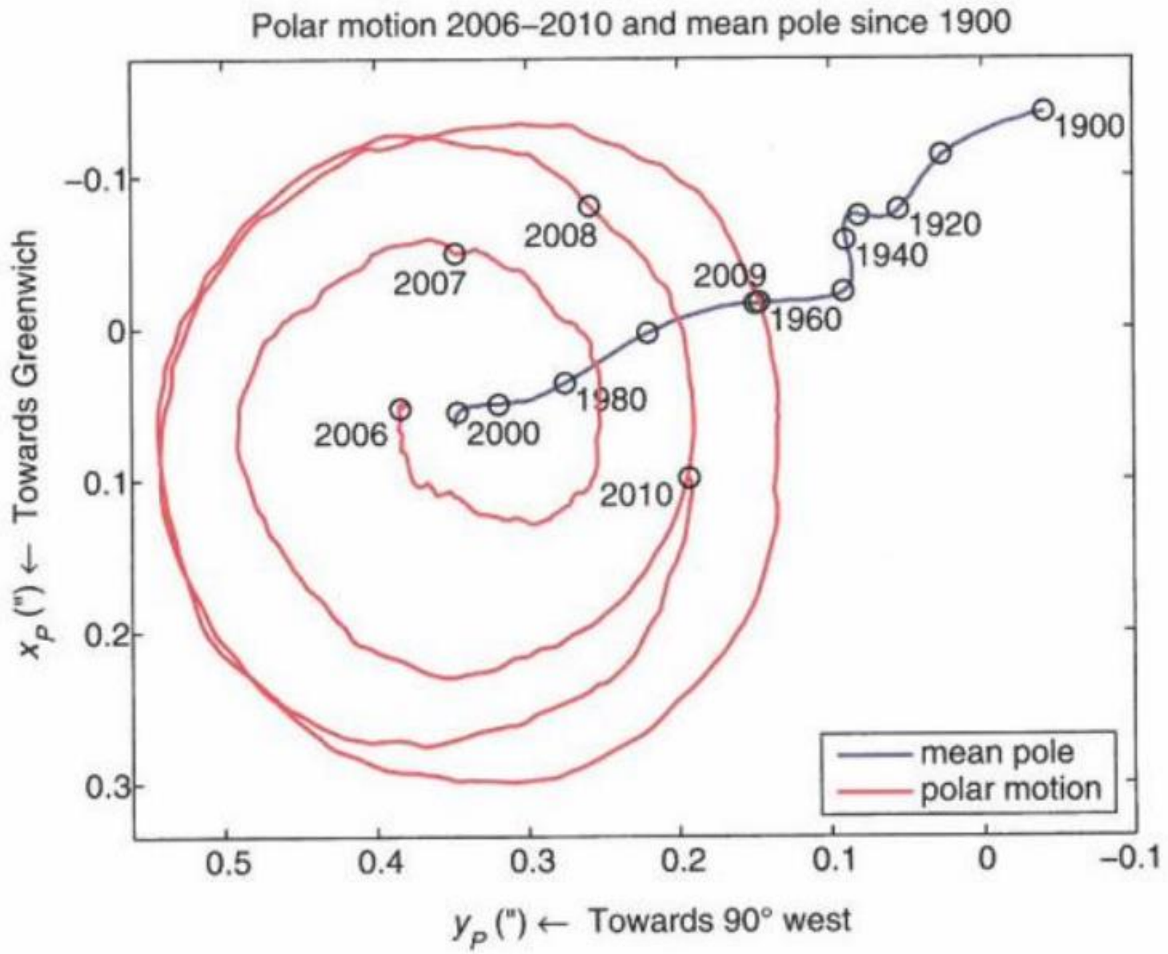


Fig. 2.9: Observed LOD variations over the past 2500 years (left, after Morrison and Stephenson, 2001) and 2005–2010 (right: with data from IERS, *http://hpiers.obspm.fr/eop-pc*).

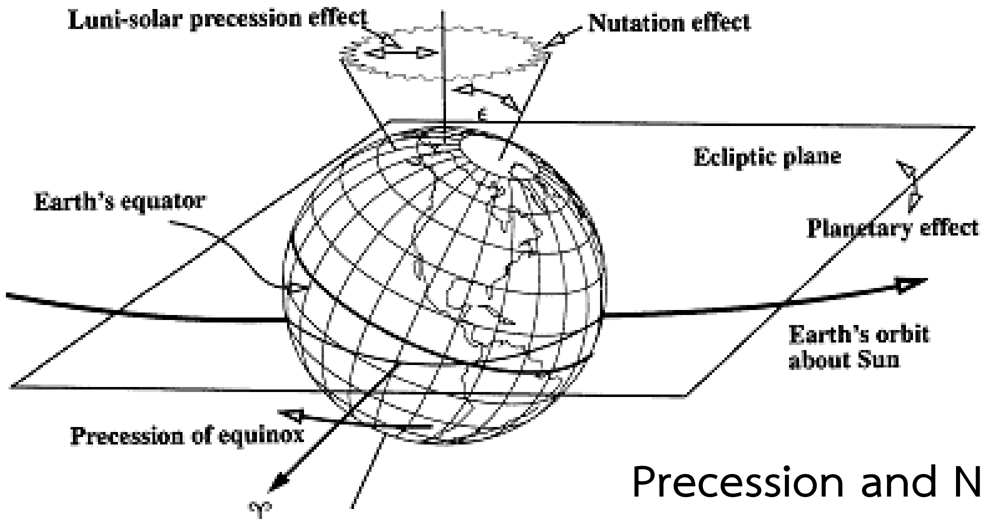
LOD (Length of Day) variations

- แนวโน้มพบว่าความยาวของหนึ่งวันจะเพิ่มขึ้น บ่งบอกการลดลงของความเร็วการหมุนรอบตัวเองของโลก
  - บางปีจะมีการเพิ่ม Leap second ขึ้น
- วิเคราะห์ได้จาก LOD = UT1 – TAI
  - UT1 วัดจากการหมุนรอบตัวเองของโลกจริงๆ
  - TAI วัดจากนาฬิกาอะตอมมิค

Polar Motion (การเคลื่อนตัวของขั้วโลก)

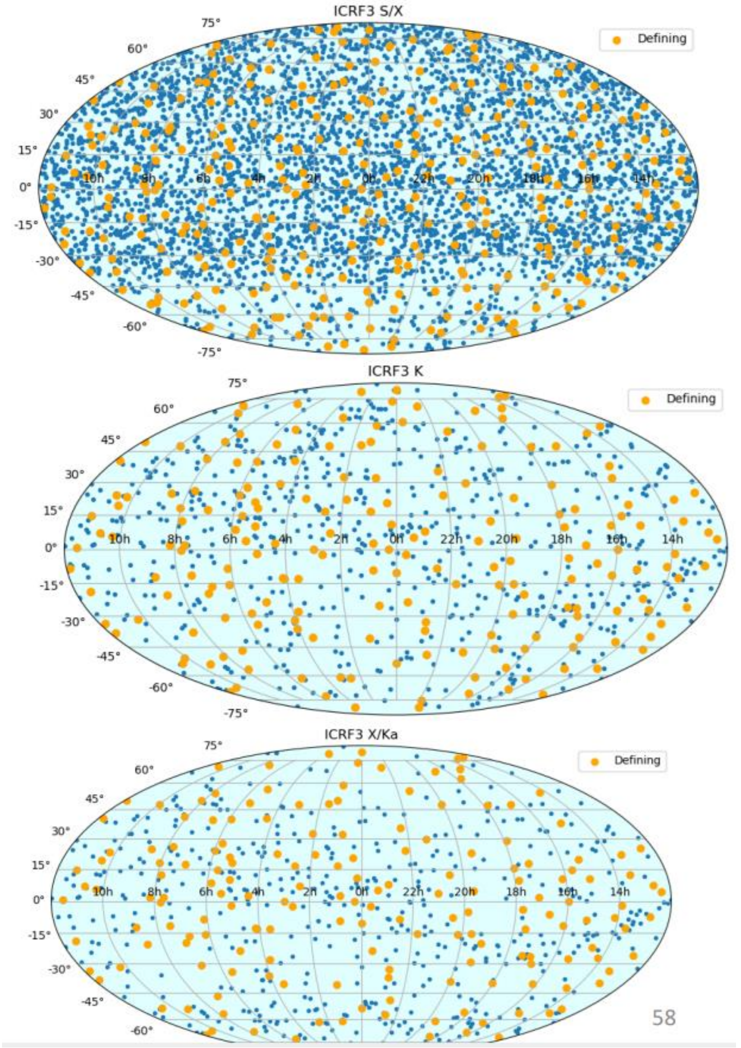


ICRF/ICRS DEVELOPMENT



Precession and Nutation

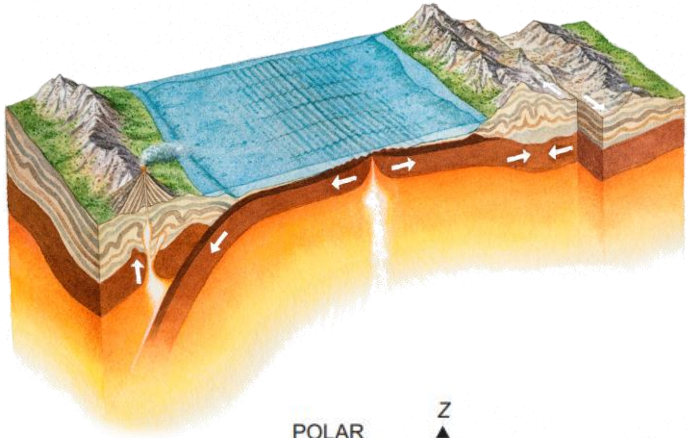
ICRF3
(เริ่มใช้ ค.ศ.2019)



- ผลจากแรงโน้มถ่วงของดวงจันทร์ ดวงอาทิตย์ และวัตถุอื่นๆ ที่กระทำต่อโลก
- การหมุนควง (Precession) ใช้เวลาประมาณ 26,000 ปี
- การส่ายของแกนโลก (Nutation) ใช้เวลาประมาณ 18 ปี
- ผลกระทบทำให้พิกัดดวงดาวมีการเปลี่ยนแปลง --> North Celestial Pole ชี้ไปยังดาวดวงอื่นที่ไม่ใช่ Polaris, ตำแหน่งของ equinox ไม่ได้ชี้ไปที่ First point of Aries เหมือนในอดีต --> ทราบการวางตัวของโลก EOP ได้

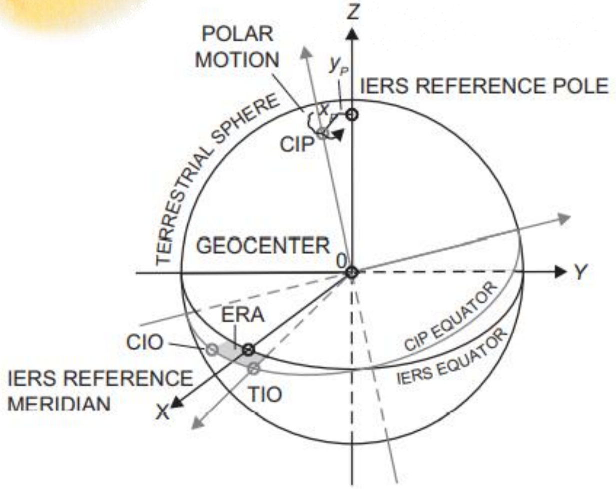
INTERNATIONAL TERRESTIAL REFERENCE SYSTEM/FRAME (ITRS/ITRF)

- พื้นโลกมีความเป็นพลวัต (Geodynamic) มีการเปลี่ยนแปลงการกระจายตัวของมวลสาร
    - วงจรพาความร้อนในเนื้อโลก ว่ากันว่าเป็นที่มาของการเคลื่อนตัวของแผ่นธรณี (Plate Tectonic) การเกิดแผ่นดินไหว ทำให้พิกัดบนพื้นโลกมีการเปลี่ยนแปลง



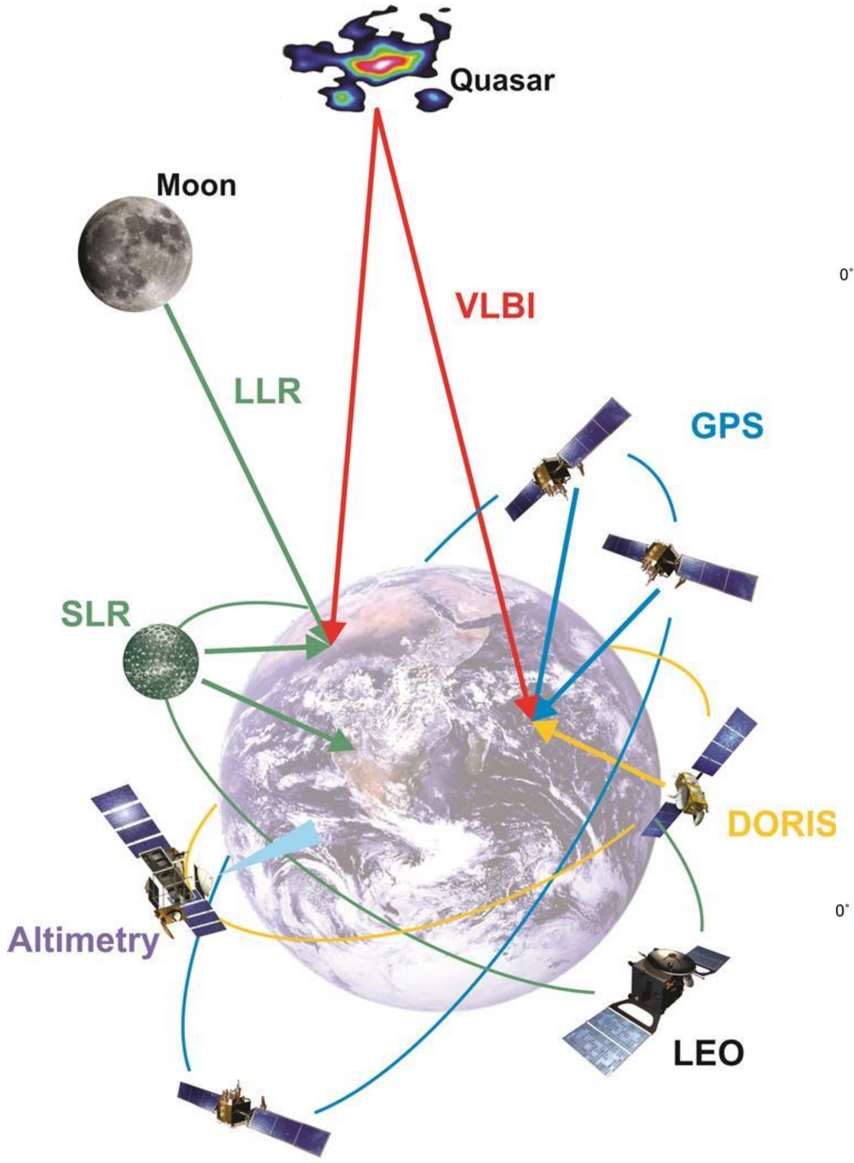
- กรอบอ้างอิงพิกัดสากลจึงมีความสำคัญ เกิดเป็น ITRF ซึ่งเป็นกรอบพิกัดที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา เพื่อให้ได้ค่าพิกัดที่มีความถูกต้องสูง ใช้ในวงการวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะธรณีฟิสิกส์ (Geophysics) ที่ศึกษาการเคลื่อนตัวของแผ่นธรณี

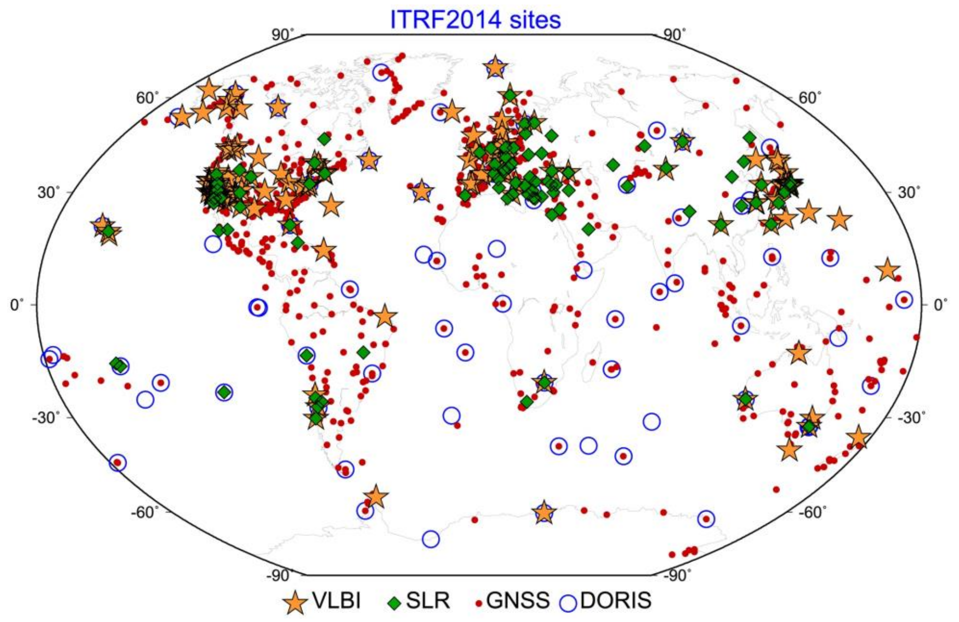
- ข้อมูลที่ใช้พัฒนามาจากเทคโนโลยีทางยีออเดซี 4 อย่างคือ VLBI, GNSS, SSR และ DORIS

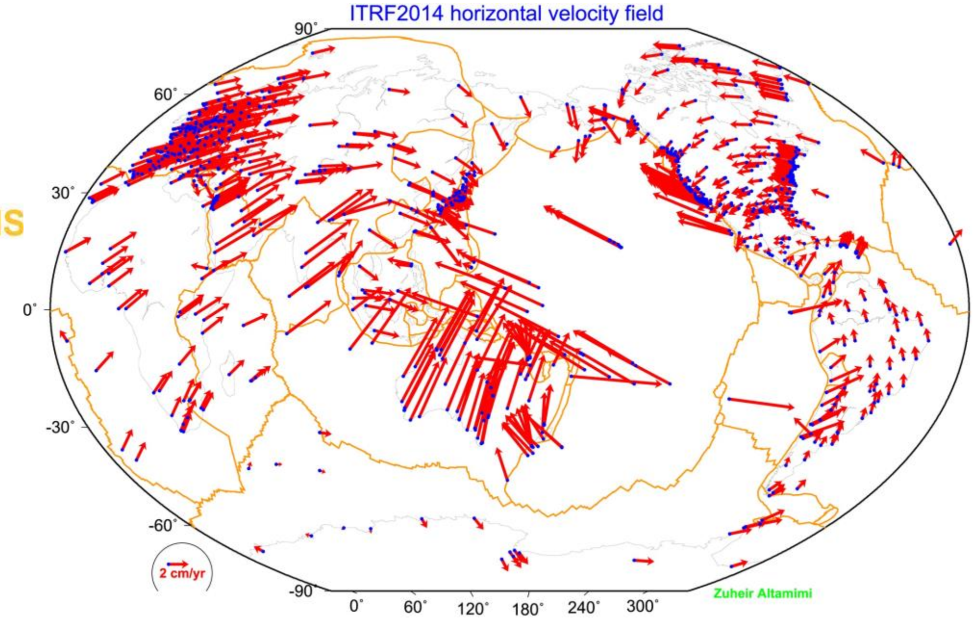


- จุดกำเนิดอยู่ที่ศูนย์กลางมวลสารของโลก แกน Z ผ่านตำแหน่งขั้วโลกที่มีการกำหนดในแต่ละห้วงเวลา (ITRFyy) กรอบหมุนพร้อมกับการหมุนรอบตัวเองของโลก ข้อมูลในแต่ละปีบันทึกใน ITRF Realization ซึ่งรายงานค่าพิกัด ความเร็ว และความคลาดเคลื่อนของปริมาณนั้นๆ สำหรับสถานีที่เกี่ยวข้อง

DOMES NB.	SITE NAME	TECH.	ID.	X/Vx	Y/Vy	Z/Vz	Sigmas	SOLN	DATA_START	DATA_END
						m/m/y				
21904S001	Bangkok	GNSS	CUSV	-1132914.7460	6092528.5841	1504633.2576	0.0006 0.0007 0.0005	1	00:000:00000	11:062:00000
21904S001				-.02040	-.00086	-.01398	.00006 .00013 .00005			



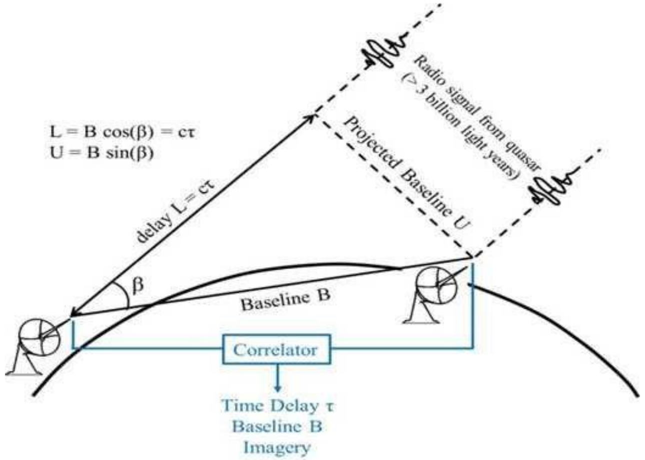




ITRF solutions :

- ITRF2020
- ITRF2014
- ITRF2008
- ITRF2005
- ITRF2000
- ITRF97
- ITRF96
- ITRF94
- ITRF93
- ITRF92

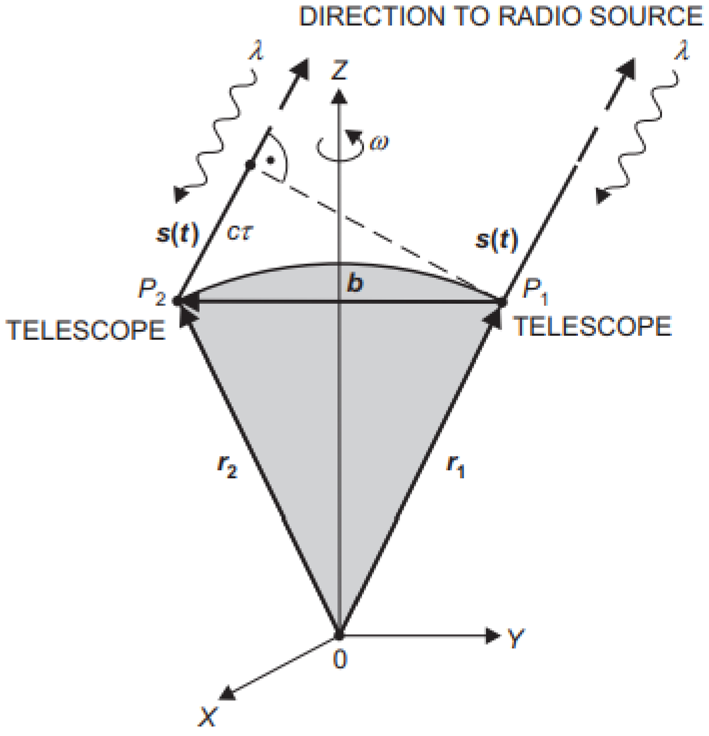
VERY LONG BASELINE INTERFERROMETRY (VLBI)



ควอซาร์ (Quasar : Quasi-Stellar Object) เป็นดาราจักรก่อกัมมันต์ (Active galactic nucleus) ซึ่งมีการปลดปล่อยคลื่นวิทยุออกมาที่ระยะไกลมากจากโลก (ระดับพันล้านปีแสง)

กล้องโทรทรรศน์วิทยุสองตัวที่มีระยะห่างกันมาก รับคลื่นวิทยุที่มาจากควอซาร์ ทำการหาผลต่างเวลาที่คลื่นวิ่งเข้ามายังกล้องทั้งสอง (Time delay) ซึ่ง VLBI Observation Equation คือ

$$\tau(t) = -\frac{1}{c}\vec{b}_{ITRS} \cdot \hat{s}_{ICRS}(t) \qquad \vec{b}_{ITRS} = \begin{bmatrix} X_2 - X_1 \\ Y_2 - Y_1 \\ Z_2 - Z_1 \end{bmatrix} \qquad \hat{s}_{ICRS} = \begin{bmatrix} \cos\alpha\cos\delta \\ \sin\alpha\cos\delta \\ \sin\delta \end{bmatrix}$$



เทคโนโลยีนี้นำมาใช้ในการพัฒนาทั้ง ICRF และ ITRF เพื่อหา Earth Orientation Parameter : Precession and Nutation

หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง International VLBI Service (IVS)

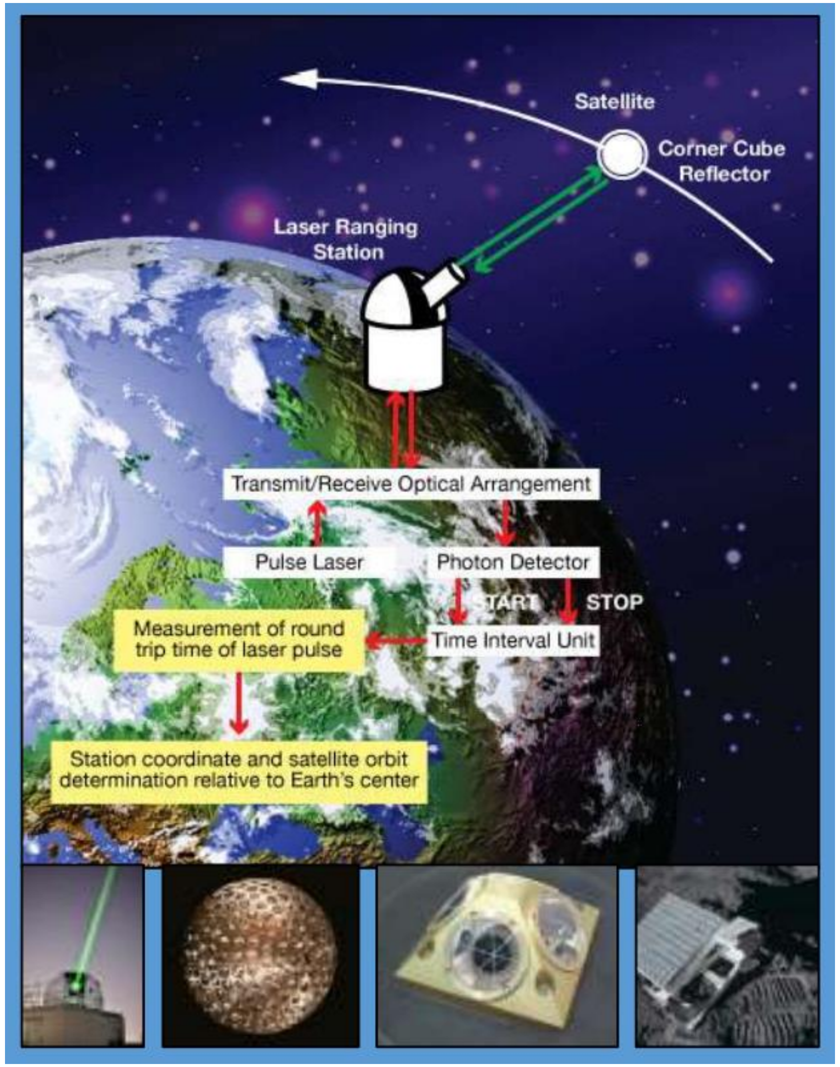
SATELLITE LASER RANGING (SLR)

นำหลักการการวัดระยะทางด้วยเลเซอร์ (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation : LASER)
มาใช้ในการรังวัดพิกัดสถานีด้วยการยิงเลเซอร์ให้ไปสะท้อนผิวดาวเทียม (Satellite LR) หรือดวงจันทร์ (Lunar LR)

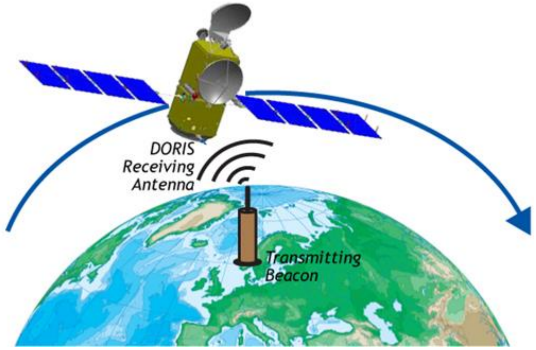
ทำการจับเวลาที่ยิงเลเซอร์จนสะท้อนวัตถุแล้ววิ่งกลับมายังตัวรับ
SLR or LLR Observation Equation คือ

$$\frac{c}{2}\tau = \sqrt{\left(X_s - X_p\right)^2 + \left(Y_s - Y_p\right)^2 + \left(Z_s - Z_p\right)^2} + error...$$

เทคโนโลยีนี้นำมาใช้ในการพัฒนา ITRF
หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง International Laser Ranging Service (ILRS)



Doppler Orbitography and Radio positioning Integrated by Satellite (DORIS)



เทคโนโลยีการรังวัดของประเทศฝรั่งเศส นำหลักการเกี่ยวกับปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ของคลื่นมาใช้รังวัดพิกัดของสถานี นำมาใช้ในการพัฒนา ITRF

พิจารณาดาวเทียมที่ตำแหน่ง i ปล่อยคลื่นที่ความถี่ f_s (ในทางปฏิบัติ บนภาคพื้นดินมีการเทียบเป็นความถี่อ้างอิง f_o) มาถึงสถานี P ความถี่กลายเป็น f_g

วิเคราะห์อย่างง่าย

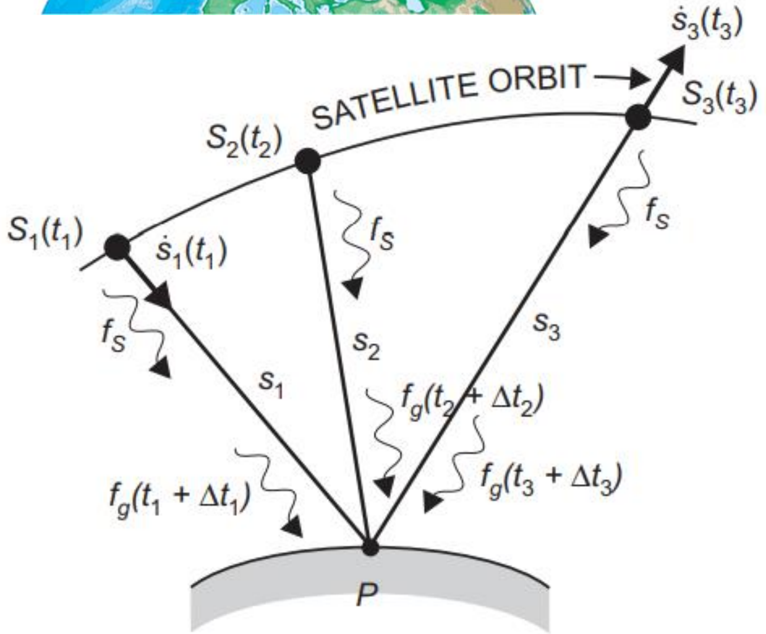
จาก Doppler Effect Equation

$$\frac{f_g - f_s}{f_s} = -\frac{v}{c} \rightarrow v = \frac{ds}{dt} = -c\left[\frac{f_g - f_s}{f_s}\right]$$

ในทางปฏิบัติ เราจะหา Doppler count จากดาวเทียมที่ตำแหน่ง i ถึง j

DORIS Observation Equation

$$N_{ij} = \int_{t_i+\Delta t_i}^{t_j+\Delta t_j} \left(f_0 - f_g\right) dt = \left(f_0 - f_s\right)\left(t_j - t_i\right) + \frac{f_0}{c}\left(s_j - s_i\right)$$

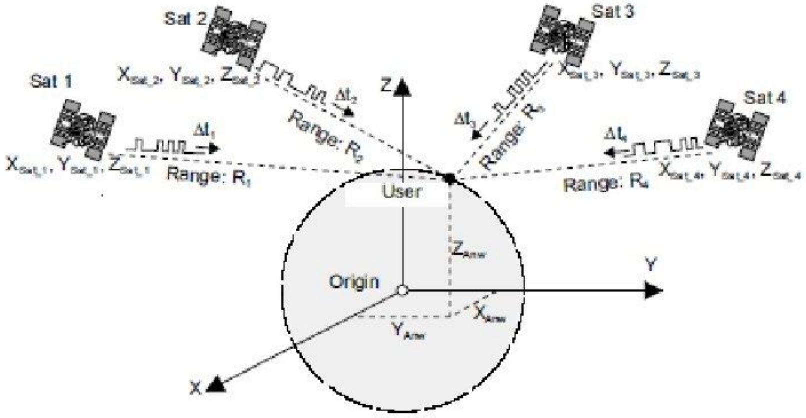


หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง International DORIS Service (IDS)

$$s = \sqrt{\left(X_s - X_p\right)^2 + \left(Y_s - Y_p\right)^2 + \left(Z_s - Z_p\right)^2}$$

GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM (GNSS)

ระบบการกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก จากการรับสัญญาณดาวเทียม เพื่อวัดระยะจากดาวเทียมมายังเครื่องรับ ทำการคำนวณหาพิกัดของเครื่องรับสัญญาณ มีทั้งบริการของ GPS, GLONASS, GALIEO, BEIDOU, …

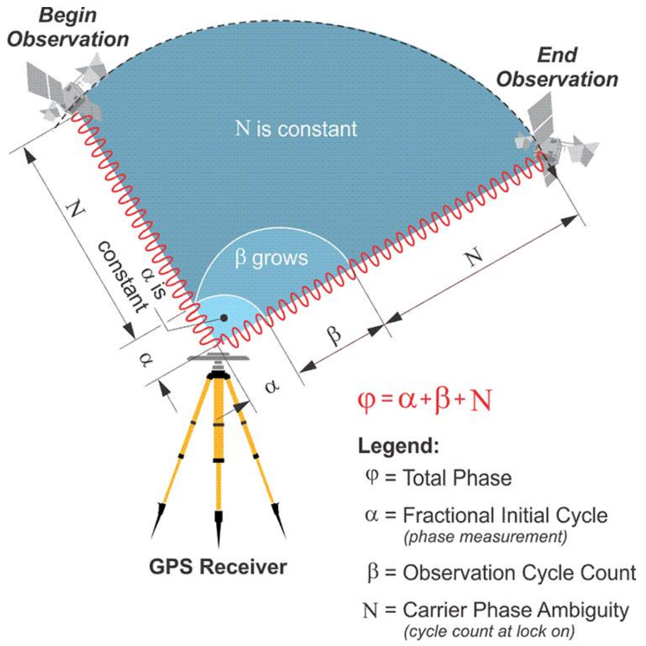


GNSS Observation Equation

Code Measurement $$P = \rho + error$$

Phase Measurement $$\Phi = \rho - N\lambda + error$$

โดยที่ Geometric Range คือ $$\rho = \sqrt{\left(X_p - X_s\right)^2 + \left(Y_p - Y_s\right)^2 + \left(Z_p - Z_s\right)^2}$$



เทคโนโลยีนี้นำมาใช้ในการพัฒนา ITRF

หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง International GNSS Service (IGS)

ITRF : VARIATION OF STATION COORDINATE

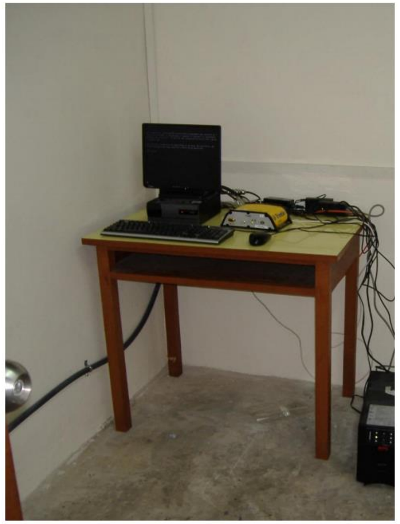
- พิกัดของสถานีมักมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา
  - Periodic Variation การเปลี่ยนแปลงต่อเนื่องจากการเคลื่อนตัวของแผ่นธรณี
  - Episodic Variation การเปลี่ยนแปลงฉับพลัน อันเนื่องมาจากเหตุแผ่นดินไหว หรือเหตุอื่น
- เวกเตอร์ตำแหน่งของสถานีที่เวลา t ในห้วงเวลา ITRFyy หนึ่ง เขียนเป็นสมการรูปทั่วไปได้

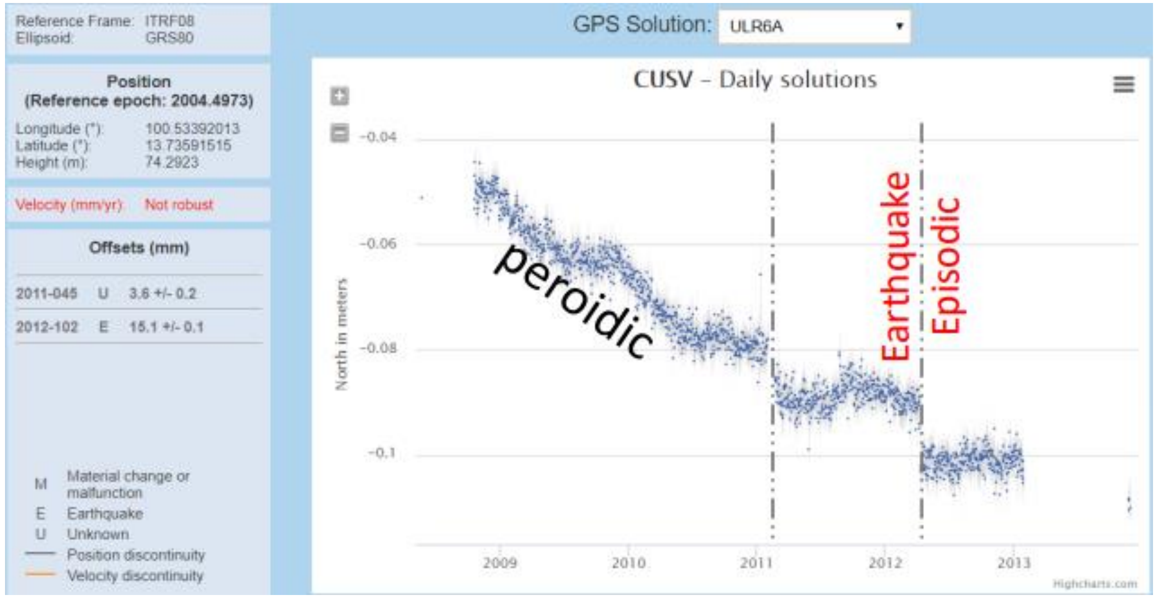
$$\vec{r}(t) = \vec{r}_0 + \left(\frac{d}{dt}\vec{r}_0\right)(t - t_0) + \Delta\vec{r}(t)$$

- ITRF89, … , ITRF2000, ITRF2005, ITRF2008, ITRF2014 และอีกนิดจะออก ITRF2020

สมการแปลงพิกัดข้ามห้วงเวลาจาก ITRFyy --> ITRFzz

$$X_{ITRFzz}(t) = X_{ITRFyy}(t) + T(t) + D(t)\cdot X_{ITRFyy}(t) + R(t)\cdot X_{ITRFyy}(t)$$





INTERNATIONAL EARTH ORIENTATION AND REFERENCE SYSTEM (IERS)