



โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

การกระจายตัวเชิงความถี่
ของขนาดหลุมอุกกาบาตบนดาวอังคาร

โดย

นางสาวณฐนันท์ ช่อหิรัญกุล
เลขประจำตัวนิสิต 5732718323

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาตรี
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงการทางวิชาการที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงการทางวิชาการที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด

The abstract and full text of senior projects in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)

are the senior project authors' files submitted through the faculty.

การกระจายตัวเชิงความถี่ของขนาดหลุมอุกกาบาตบนดาวอังคาร

นางสาวณัฐนันท์ ช่อหิรัญกุล

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2560

FREQUENCY-SIZE DISTRIBUTION OF THE CRATERS ON MARS

Miss Nathanan Chorhirankul

A Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Bachelor of Science Program in Geology
Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University
Academic Year 2017

หัวข้อโครงการ
โดย
สาขาวิชา

การกระจายตัวเชิงความถี่ของขนาดหลุมอุกกาบาตบนดาวอังคาร
นางสาวณฐนันท์ ช่อทิริญกุล
ธรณีวิทยา

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

ชื่อ อ. ดร.อัคนีวุธ ชะบางบอน

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการร่วม

ชื่อ รศ. ดร.สันติ ภัยหลบลี้

วันที่ส่ง.....

วันที่อนุมัติ.....

.....
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ
(อาจารย์ ดร.อัคนีวุธ ชะบางบอน)

การกระจายตัวเชิงความถี่ของขนาดหลุมอุกกาบาตบนดาวอังคาร

ผู้วิจัย: นางสาวณฐนันท์ ช่อหิรัญกุล

อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย: อ. ดร.อัคนีวุฒ ชะบางบอน

อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยร่วม: รศ. ดร.สันติ ภัยหลบลี้

จากเหตุการณ์ภัยพิบัติที่เกิดขึ้นบนโลก เหตุการณ์อุกกาบาตพุ่งชนโลก (meteorite impact) นับว่าเป็นภัยพิบัติที่รุนแรงที่สุดเพราะส่งผลกระทบต่อถึงการสูญพันธุ์ครั้งใหญ่ของสิ่งมีชีวิตบนโลก ทั้งนี้ในปัจจุบันโอกาสที่อุกกาบาตจะพุ่งชนโลกค่อนข้างต่ำต้งนั้น เหตุการณ์อุกกาบาตพุ่งชนโลกจึงกลายเป็นเรื่องไกลตัวสำหรับการดำเนินชีวิตของมนุษย์ อย่างไรก็ตามงานวิจัยในอดีตค้นพบว่าการเกิดอุกกาบาตพุ่งชนโลกเชื่อมโยงกับการสูญพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตบนโลก โดยนักวิจัยได้กล่าวอธิบายไว้ว่าการพุ่งชนโลกของก้อนอุกกาบาตเป็นสาเหตุให้เกิดซีเฝ้าและฝุ่นควันต่าง ๆ ปริมาณหลายตันฟุ้งและลอยขึ้นสู่บรรยากาศปกคลุมแสงอาทิตย์ที่จะเดินทางมายังผิวโลก ทำให้พืชไม่สามารถเจริญเติบโตได้ส่งผลให้สัตว์กินพืชตายลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากขาดอาหาร หลังจากเกิดเหตุการณ์ดังกล่าวโลกได้มีกระบวนการธรณีแปรสัณฐาน (tectonic) โดยเกิดกระบวนการจมตัวของแผ่นเปลือกโลกเก่าและการสร้างผิวเปลือกโลกขึ้นมาใหม่ การเปลี่ยนแปลงนี้ทำให้นักวิทยาศาสตร์ไม่สามารถใช้ข้อมูลหลุมอุกกาบาตที่หลงเหลืออยู่ศึกษาการกระจายตัวเชิงความถี่และขนาดของหลุมอุกกาบาตที่พุ่งชนโลกทั้งหมดได้ จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้คือศึกษาการกระจายตัวเชิงความถี่และขนาดของหลุมอุกกาบาตของดาวอังคารซึ่งเป็นดาวเคราะห์ที่อยู่ใกล้กับโลกและใกล้เคียงกับแถบดาวเคราะห์น้อย (asteroid belt) เพื่อเปรียบเทียบเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นบนโลก โดยในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาค่าตกระทบของอุกกาบาตบนดาวอังคารเปรียบเทียบกับเหตุการณ์ที่เกิดบนดวงจันทร์ซึ่งสัมพันธ์กับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นบนโลก โดยใช้ข้อมูลหลุมอุกกาบาตจากฐานข้อมูลขององค์กร NASA ทั้งสิ้น 384,343 เหตุการณ์ เพื่อประเมินพฤติกรรมการพุ่งชนของอุกกาบาต โดยขั้นตอนการประเมินประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอนหลัก คือ 1) การประเมินขนาดหลุมอุกกาบาตที่มีขนาดใหญ่ที่สุดที่สามารถเกิดขึ้นได้ 2) การประเมินคาบอุบัติซ้ำของการเกิดอุกกาบาตขนาดต่าง ๆ และ 3) การประเมินความน่าจะเป็นของการเกิดหลุมอุกกาบาตขนาดต่าง ๆ ณ ความถี่ระดับต่าง ๆ จากผลการประเมินบ่งชี้ว่าพื้นที่ทั้งหมดของดาวอังคารไม่ได้ถูกอุกกาบาตชนแบบสุ่ม (random) หรือกระจายไปทั่วทุกพื้นที่ แต่มีความแตกต่างของความถี่และขนาดของหลุมอุกกาบาตที่ตกระทบในแต่ละพื้นที่ของดาวอังคาร อีกทั้งการตกระทบของอุกกาบาตขนาดเล็กถึงปานกลางบนดาวอังคารมีความถี่สะสมมากกว่าการตกระทบบนดวงจันทร์ซึ่งสัมพันธ์กับวงโคจรของดาวอังคารคือมีวงโคจรใกล้กับแถบดาวเคราะห์น้อย แต่กลับกันการตกระทบของอุกกาบาตขนาดใหญ่บนดวงจันทร์มีความถี่สะสมมากกว่าการตกระทบบนดาวอังคารซึ่งเกิดจากลักษณะวงโคจรของดวงจันทร์และดาวอังคาร

ภาควิชา ธรณีวิทยา

สาขาวิชา ธรณีวิทยา

ลายมือชื่อนิสิต.....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษา.....

FREQUENCY-SIZE DISTRIBUTION OF THE CRATERS ON MARS

Researcher: Nathanan Chorhirankul

Advisor: Dr.Akkaneewut Chabangborn

Co-Advisor: Associate Professor Dr. Santi Pailoplee

Abstract:

Meteorite impact is one of the natural catastrophes. Although critical impacts are not common, they can cause evolution of life on Earth. The previous studies have found that when large meteoroids entering our atmosphere with very high average velocity, the events do serious damages to the world; consequently, dust from such events disturbs the environment of our entire planet and causes an ecological disaster such as mass extinction of the Cretaceous period. The previous works have found that it comes from the collision of meteorites which causes ash and dust for tons of to the atmosphere that make the sky dark for at least several months and when the sun is lacking, the organism will die rapidly. Therefore, meteorite impact events can be linked to extinction events in the earth. However, the Earth has some activity to change and develop gradually itself, it is called Tectonic. It is the process that evolves over time to adjust the structure and properties of the Earth's crust. Because of this process, most scientists cannot find out evidence relating to frequency-size distribution of meteorite craters on the Earth to describe past occurrences. Therefore, this research aimed to study frequency-size distribution of the craters on Mars or Red planet which is quite similar to our planet and is located close to the asteroid belt. In addition, the objective was also to study the frequency-size distribution on the Moon which represents the Earth, then compared the results with past events on the Earth. In addition, the concept of frequency-magnitude distribution model with 384,343 events from NASA's record were applied to investigate characteristics of meteorite collision. Three terms to evaluate the characteristics were i) possible maximum crater size in the recognize time span, ii) average time of meteorite impact in each scale, and iii) probability of crater occurrences. The results revealed the meteorite crater on Mars are heterogeneity excluding random phenomena as any natural event. Moreover, Mars has higher frequency of the impact of small to medium meteorites when comparing to the Moon. In contrast, Mars has lower frequency of the impact of large meteorites; as a result of the differences of orbit of Mars and the Moon.

Department: Geology

Student's Signature.....

Field of Study: Geology

Advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ (ACKNOWLEDGEMENT)

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์อย่างสูงจากอาจารย์ ดร.อัคนีวุธ ชะบางบอน อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน และรองศาสตราจารย์ ดร.สันติ ภัยหลบลี้ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานร่วม ซึ่งท่านทั้งสองได้ให้คำแนะนำและคำปรึกษาตลอดระยะเวลาที่ดำเนินโครงงานทั้งสิ่งที่น่าสนใจ การเพิ่มเติมเนื้อหา ทั้งการปรับเปลี่ยนวิธีการดำเนินงานและวิธีแก้ไขปัญหาอันเกิดเนื่องจากอุปสรรคในการทำงาน ตลอดจนให้คำแนะนำชี้ข้อบกพร่องของผู้วิจัยจนกระทั่งงานวิจัยเสร็จสมบูรณ์ จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้ และนอกจากนี้ขอกราบขอบพระคุณคณะอาจารย์และบุคลากรภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาอันเป็นพื้นฐานของการทำโครงงานวิจัยชิ้นนี้ พร้อมทั้งขอขอบคุณครอบครัวช่อหิรัญกุลผู้ร่วมอ่านและตรวจสอบงานวิจัยนำไปสู่การตั้งคำถาม วิเคราะห์ และอธิบายรายละเอียดเพิ่มเติมที่สามารถทำให้ผู้ที่ไม่ได้อยู่ในศาสตร์แขนงเดียวกันสามารถเข้าใจในพื้นฐานความเป็นมาของงานวิจัยชิ้นนี้ รวมไปถึงบุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการทำโครงงานวิจัยเล่มนี้ ที่เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้โครงงานวิจัยเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีมา ณ ที่นี้ด้วย

นางสาวณฐนันท์ ช่อหิรัญกุล
ผู้วิจัย

สารบัญ

(CONTENT)

บทคัดย่อ.....	ง
Abstract.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญรูปภาพ.....	ณ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญสมการ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ (Theme and Background).....	1
1.2 วัตถุประสงค์ (Objectives).....	2
1.3 พื้นที่ศึกษา (Study Area).....	3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ (Expected Results).....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและระเบียบวิธีวิจัย.....	4
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.3 ระเบียบวิธีวิจัย.....	7
บทที่ 3 อัตราการตกกระทบของอุกกาบาตบนดาวอังคาร.....	9
3.1 รวบรวมฐานข้อมูลค่าการกระจายตัวเชิงความถี่และขนาดหลุมอุกกาบาตบนดาวอังคาร (Crater Data).....	9
3.1.1 การรวบรวมข้อมูลหลุมอุกกาบาตบนดาวอังคารจากฐานข้อมูลเหตุการณ์ (Mars ‘crater catalogue combination).....	9
3.1.2 คัดเลือกชุดข้อมูลโดยชุดข้อมูลที่นำมาใช้จะเป็นการวิเคราะห์พื้นผิว.....	10
3.1.3 ปรับปรุงคุณภาพฐานข้อมูลเพื่อกำหนดและประเมินตัวแปรเพื่อนำข้อมูล.....	10
3.1.4 ข้อมูลทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้จากการประเมินตัวแปรที่สื่อถึงพฤติกรรมการณ์ชนอุกกาบาตบนดาว อังคาร.....	10

3.2 การประเมินพฤติกรรมการตกของอุกกาบาต (Meteorite Impact Activity).....	11
3.2.1 การประเมินอัตราการตกกระทบของอุกกาบาต (The impact rate on Mars) ขนาดตั้งแต่ 1-5 กิโลเมตร	14
3.2.2 การประเมินอัตราการตกกระทบของอุกกาบาต (The impact rate on Mars) ขนาดตั้งแต่ 5-30 กิโลเมตร	16
3.2.3 การประเมินอัตราการตกกระทบของอุกกาบาต (The impact rate on Mars) ขนาดตั้งแต่ 30-120 กิโลเมตร.....	18
3.2.4 การประเมินอัตราการตกกระทบของอุกกาบาต (The impact rate on Mars) ขนาดตั้งแต่ 120 กิโลเมตรขึ้นไป	20
บทที่ 4 พฤติกรรมการตกกระทบของอุกกาบาต.....	21
4.1 อุกกาบาตขนาดใหญ่ที่สุด (Maximum Size of Impaction).....	21
4.2 คาบอุบัติซ้ำการชนของอุกกาบาต (Return Period).....	21
4.3 โอกาสเกิดอุกกาบาตพุ่งชนขนาดใหญ่ที่สุด (Probability of Impaction).....	21
ก. การประเมินพฤติกรรมการตกกระทบของอุกกาบาต (Impact event) ขนาดตั้งแต่ 1-5 กิโลเมตร	22
ข. การประเมินพฤติกรรมการตกกระทบของอุกกาบาต (Impact event) ขนาดตั้งแต่ 5-30 กิโลเมตร	28
ค. การประเมินพฤติกรรมการตกกระทบของอุกกาบาต (Impact event) ขนาดตั้งแต่ 30-120 กิโลเมตร	32
บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผล.....	37
เอกสารอ้างอิง	43

สารบัญรูปร่างภาพ (FIGURE CONTENT)

รูป	หน้า
1.1 พื้นผิวของดาวอังคาร	3
2.1 แผนที่โอกาส 2% และ 10% ที่จะพบแรงสั่นสะเทือน ในช่วงเวลา 50 ปี	5
2.2 หน้าเว็บไซต์ของงานวิจัยที่ร่วมมือกับองค์กร NASA	6
2.3 รูปตัวอย่างการเก็บข้อมูลหลุมอุกกาบาต	6
2.4 รูปหน้าเว็บไซต์แสดงข้อมูลหลุมอุกกาบาต (IAU)	6
2.5 แผนผังขั้นตอนการทำงาน	7
3.1 ตัวเลขเหตุการณ์ทั้งหมดที่เกิดขึ้น	10
3.2 กราฟ FMD ของข้อมูลทั้งหมดและสีแบ่งข้อมูลออกเป็น 4 ช่วง	11
3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดหลุมอุกกาบาตและความถี่	12
3.4 (ก) แผนที่แสดงค่าการกระจายตัวของค่า a (ข) แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า b ตั้งแต่ 0.27–0.69 (ค) แผนที่แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (BSD) ของค่า b ตั้งแต่ 0–1 (ง) แผนที่แสดงคุณภาพของข้อมูล (%goodness) ตั้งแต่ 25–100%	15
3.5 (ก) แผนที่แสดงค่าการกระจายตัวของค่า a (ข) แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า b ตั้งแต่ 0.27–0.69 (ค) แผนที่แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (BSD) ของค่า b ตั้งแต่ 0–0.1 (ง) แผนที่แสดงคุณภาพของข้อมูล (%goodness) ตั้งแต่ 38–98%	17
3.6 (ก) แผนที่แสดงค่าการกระจายตัวของค่า a (ข) แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า b ตั้งแต่ 0.016–0.033 (ค) แผนที่แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (BSD) ของค่า b ตั้งแต่ 0–0.12 (ง) แผนที่แสดงคุณภาพของข้อมูล (%goodness) ตั้งแต่ 73–83.5%	19
3.7 แผนที่การกระจายตัวของข้อมูลหลุมอุกกาบาตขนาด 120 กิโลเมตรขึ้นไป	20
4.1 แผนที่แสดงขนาดเหตุการณ์รุนแรงที่สุด (Mmax) ในรอบ (ก) 10 ปี (ข) 30 ปี (ค) 40 ปี (ง) 50 ปี	24
4.2 แผนที่แสดงคาบอุบัติซ้ำของการตกกระทบของอุกกาบาตขนาด (ก) 2 กิโลเมตร (ข) 3 กิโลเมตร (ค) 4 กิโลเมตร (ง) 5 กิโลเมตร	25
4.3 แผนที่แสดงความน่าจะเป็นในการตกกระทบของอุกกาบาตในรอบ 50 ปีที่มีขนาด (ก) 2 กิโลเมตร (ข) 3 กิโลเมตร (ค) 4 กิโลเมตร (ง) 5 กิโลเมตร	26
4.4 แผนที่แสดงขนาดเหตุการณ์รุนแรงที่สุด (Mmax) ในรอบ (ก) 10 ปี (ข) 15 ปี (ค) 20 ปี (ง) 30 ปี	29
4.5 แผนที่แสดงคาบอุบัติซ้ำของการตกกระทบของอุกกาบาตขนาด (ก) 10 กิโลเมตร (ข) 15 กิโลเมตร (ค) 20 กิโลเมตร (ง) 30 กิโลเมตร	30

รูป	หน้า
4.6 แผนที่แสดงความน่าจะเป็นในการตกกระทบของอุกกาบาตในรอบ 50 ปีที่มีขนาด (ก) 10 กิโลเมตร (ข) 15 กิโลเมตร (ค) 20 กิโลเมตร (ง) 30 กิโลเมตร	31
4.7 แผนที่แสดงขนาดเหตุการณ์รุนแรงที่สุด (Mmax) ในรอบ (ก) 13 ปี (ข) 40 ปี (ค) 60 ปี (ง) 80 ปี	34
4.8 แผนที่แสดงคาบอุบัติซ้ำของการตกกระทบของอุกกาบาตขนาด (ก) 30 กิโลเมตร (ข) 60 กิโลเมตร (ค) 90 กิโลเมตร (ง) 120 กิโลเมตร	35
4.9 แผนที่แสดงความน่าจะเป็นในการตกกระทบของอุกกาบาตในรอบ 50 ปีที่มีขนาด (ก) 30 กิโลเมตร (ข) 60 กิโลเมตร (ค) 90 กิโลเมตร (ง) 120 กิโลเมตร	36
5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และขนาดของหลุมอุกกาบาตขนาด 1-140 กิโลเมตร	38
5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และขนาดของหลุมอุกกาบาตขนาด 140 กิโลเมตรขึ้นไป	39
5.3 แผนที่แสดงการกระจายตัวของโอกาสในการชนของอุกกาบาตบนดาวอังคารขนาด 90 กิโลเมตร ในช่วงเวลา 50 ปีและ 100 ปี	40
5.4 แผนที่แสดงการกระจายตัวของขนาดอุกกาบาตขนาดใหญ่ที่สุดและโอกาสในการชนของอุกกาบาต บนดาวอังคารในแต่ละขนาด	41
5.5 แผนที่ธรณีวิทยาของดาวอังคาร	42

สารบัญตาราง (TABLE CONTENT)

ตาราง	หน้า
3.1 ข้อมูลหลุมอุกกาบาตบนดาวอังคาร	9
3.2 ข้อมูลหลุมอุกกาบาตบนดาวอังคารที่ได้คัดเลือกข้อมูลที่ต้องการ	10
3.3 รูปแบบข้อมูลที่ใช้ประมวลผลในโปรแกรม	10
3.4 ตัวอย่างตัวแปรในการคำนวณอัตราการตกกระทบของอุกกาบาตบนดาวอังคารขนาด 1-5 กิโลเมตร	14
3.5 ตัวอย่างตัวแปรในการคำนวณอัตราการตกกระทบของอุกกาบาตบนดาวอังคารขนาด 5-30 กิโลเมตร	16
3.6 ตัวอย่างตัวแปรในการคำนวณอัตราการตกกระทบของอุกกาบาตบนดาวอังคารขนาด 30-120 กิโลเมตร	18
4.1 ตัวอย่างขนาดเหตุการณ์รุนแรงที่สุด (Mmax) คาบอุบัติซ้ำของการตกกระทบของอุกกาบาต (RI) และ ความน่าจะเป็นในการตกกระทบของอุกกาบาต (POE) ของอุกกาบาตขนาดตั้งแต่ 1-5 กิโลเมตร	22
4.2 ตัวอย่างขนาดเหตุการณ์รุนแรงที่สุด (Mmax) คาบอุบัติซ้ำของการตกกระทบของอุกกาบาต (RI) และ ความน่าจะเป็นในการตกกระทบของอุกกาบาต (POE) ของอุกกาบาตขนาดตั้งแต่ 5-30 กิโลเมตร	28
4.3 ตัวอย่างขนาดเหตุการณ์รุนแรงที่สุด (Mmax) คาบอุบัติซ้ำของการตกกระทบของอุกกาบาต (RI) และ ความน่าจะเป็นในการตกกระทบของอุกกาบาต (POE) ของอุกกาบาตขนาดตั้งแต่ 30-120 กิโลเมตร	32
5.1 รายละเอียดข้อมูลเหตุการณ์ในแต่ละการปรับปรุงคุณภาพข้อมูล	37

สารบัญสมการ (EQUATION CONTENT)

สมการ	หน้า
2.1 สมการ Gutenberg-Richter relationship (G-R relationship)	4
2.2 สมการหาขนาดเหตุการณ์รุนแรงที่สุดที่สามารถเกิดขึ้นได้ในช่วงเวลา t	4
2.3 สมการประเมินคาบอุบัติซ้ำของเหตุการณ์	4
2.4 สมการประเมินความน่าจะเป็นของการเกิดเหตุการณ์ในแต่ละขนาดและปี	5

บทที่ 1 บทนำ

(INTRODUCTION)

1.1 ที่มาและความสำคัญ (Theme and Background)

นับตั้งแต่โลกถือกำเนิดขึ้น โลกได้มีเหตุการณ์เกิดอุกกาบาตชนนับครั้งไม่ถ้วน และในบางครั้งการเกิดเหตุการณ์อุกกาบาตชนโลกก็นับเป็นภัยพิบัติที่รุนแรงที่สุดต่อมวลมนุษยบนโลกครั้งใหญ่ที่ทางธรณีวิทยาเรียกว่า การสูญพันธุ์ครั้งใหญ่ (mass extinction) หรือการสูญพันธุ์ครั้งใหญ่ของสิ่งมีชีวิตบนโลก แต่ในปัจจุบันเหตุการณ์อุกกาบาตพุ่งชนโลกนั้นกลายเป็นเรื่องที่ใกล้ตัวสำหรับการดำเนินชีวิตของมนุษย์ เนื่องจากชั้นบรรยากาศเป็นเกราะป้องกันทำให้อุกกาบาตที่พุ่งเข้าชนโลกถูกเผาไหม้ตั้งแต่อยู่บนชั้นบรรยากาศทำให้อุกกาบาตเหล่านั้นสลายไปไม่ตกกระทบสู่โลกหรือในบางครั้งอาจเหลือเพียงอุกกาบาตชิ้นส่วนเล็ก ๆ ตกลงมาสู่โลก ทำให้มนุษย์มองข้ามสิ่งเหล่านี้ไป แต่หากครั้งใดที่ชั้นบรรยากาศไม่สามารถทำลายอุกกาบาตที่พุ่งสู่โลกได้ก็อาจทำให้เกิดผลกระทบรุนแรงที่สุดซึ่งเป็นสาเหตุของสิ่งมีชีวิตบนโลกสูญพันธุ์ก็เป็นได้

สาเหตุของการสูญพันธุ์ครั้งใหญ่เหล่านี้ยังคงไม่สามารถหาคำตอบที่ชัดเจนได้ แต่นักวิทยาศาสตร์เชื่อว่ามาจากการระเบิดของภูเขาไฟและการพุ่งชนโลกของก้อนอุกกาบาตหรือดาวหางขนาดยักษ์ ซึ่งทั้งสองสาเหตุนี้ก่อให้เกิดขี้เถ้าและฝุ่นควันต่าง ๆ ปริมาณหลายตันพุ่งขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ ทำให้ท้องฟ้ามีตายน้อยหลายเดือน เมื่อขาดแสงอาทิตย์พืชและสัตว์กินพืชก็จะตายลงอย่างรวดเร็ว การตกกระทบของวัตถุจากนอกโลก (impact events) นั้นสามารถเชื่อมโยงได้กับเหตุการณ์การสูญพันธุ์ในช่วงยุคครีเตเชียส โดยนักวิทยาศาสตร์สามารถคำนวณอายุหลุมอุกกาบาตขนาดใหญ่บนคาบสมุทรยูคาตัน (Yucatan Peninsula) ประเทศเม็กซิโกได้ 65 ล้านปีก่อนซึ่งตรงกับช่วงของการสูญพันธุ์พอดี นอกจากนี้ภาวะโลกร้อนที่ได้รับอิทธิพลจากการระเบิดของภูเขาไฟบริเวณที่ราบสูงเดคคาน (Deccan flats) ในอินเดียก็อาจเป็นตัวเร่งให้เหตุการณ์เลวร้ายลงไปอีก โดยพฤติกรรมกรรมการพุ่งชนของก้อนอุกกาบาตทำให้เกิดข้อสันนิษฐานว่าการที่อุกกาบาตพุ่งชนโลกอาจมีพฤติกรรมที่ซ้ำกันหรือที่เรียกว่า คาบอุบัติซ้ำ ก็เป็นไปได้

โดยเมื่อวันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2556 เวลาประมาณ 9.20 น. ตามเวลาท้องถิ่นของประเทศไทย (03:20 UTC) พบสะเก็ดดาวเข้าสู่ชั้นบรรยากาศของโลกเหนือประเทศไทยและบางส่วนของประเทศคาซัคสถานเกิดเป็นลูกไฟพุ่งผ่านท้องฟ้าด้วยความเร็วอย่างน้อย 54,000 กิโลเมตร/ชั่วโมง และแตกเป็นเสี่ยง ๆ เหมือนครีเซเลียมบิสต์ สถาบันวิทยาศาสตร์รัสเซียประมาณว่าอุกกาบาตก้อนนี้หนักราว 10,000 ตัน ก่อนเข้าสู่ชั้นบรรยากาศโลกและเกิดระเบิดกลางอากาศที่ความสูงระหว่าง 30-50 กิโลเมตรเหนือพื้นดิน พร้อมทั้งองค์การอวกาศนาซาของสหรัฐอเมริกาประมาณว่าอุกกาบาตลูกนี้มีเส้นผ่านศูนย์กลางราว 17 เมตร และหนัก 9,000 ตัน โดยมีพลังงานที่ปลดปล่อยออกมาเทียบเท่ากับทีเอ็นที 500 กิโลตัน สะเก็ดดาวนี้ไม่ถูกตรวจพบก่อนเข้าสู่ชั้นบรรยากาศ จึงนับได้ว่าอุกกาบาตครั้งนี้เป็นวัตถุขนาดใหญ่ที่สุดที่มีบันทึกว่าพุ่งชนโลกนับแต่เหตุการณ์ที่ตุงกุงคาเมื่อปี 2451 และเป็นเหตุการณ์เดียวที่ส่งผลให้มีผู้ประสบภัยมากโดยมีรายงานว่ามีผู้บาดเจ็บสาหัส 2 คน และผู้ได้รับบาดเจ็บ 1,200 คน ส่วนใหญ่เป็นเพราะถูกเศษกระจกที่เกิดจากคลื่นกระแทกบาด และมีรายงานว่าอาคารจำนวน 3,000 แห่ง ใน 6 เมืองใหญ่ได้รับความเสียหายเนื่องจากการระเบิดและแรงกระแทก

เหตุการณ์ที่เป็นอันตรายเหล่านี้จึงทำให้นักวิทยาศาสตร์ส่วนใหญ่พยายามศึกษาเกี่ยวกับวัตถุที่อาจเคลื่อนที่พุ่งชนโลกได้ โดยจากการศึกษาอย่างยาวนานนักวิทยาศาสตร์ได้ค้นพบดาวเคราะห์น้อยจำนวนมากบริเวณระหว่างวงโคจรของดาวอังคารและดาวพฤหัสบดี และเมื่อนักดาราศาสตร์ทราบว่าดาวเคราะห์น้อยเป็นเพียงวัสดุที่พยายามจะรวมตัวกันเป็นดาวเคราะห์แต่ไม่สำเร็จจึงเรียกพวกมันว่า asteroids และเรียกบริเวณที่ดาวเคราะห์น้อยส่วนใหญ่โคจรอยู่ว่า แถบดาวเคราะห์น้อย (asteroid belt) วัตถุจำพวกดาวเคราะห์น้อยที่มีขนาดเล็กกว่า 1 กิโลเมตร เรียกว่า สะเก็ดดาว (meteoroids) และเมื่อสะเก็ดดาวขนาดใหญ่พุ่งเข้าสู่โลกเหลือชิ้นส่วนตกค้างบนพื้นผิวโลกจะเรียกว่า อุกกาบาต (meteorite) และหลุมที่เกิดจากการพุ่งชนเรียกว่า หลุมอุกกาบาต (meteor craters) ทั้งยังพบว่าหลุมอุกกาบาตที่เป็นร่องรอยอยู่บนผิวดินนั้นอาจบ่งชี้การเกิดเหตุการณ์บางอย่างบนโลกได้หากร่องรอยนั้นชัดเจนเพียงพอ

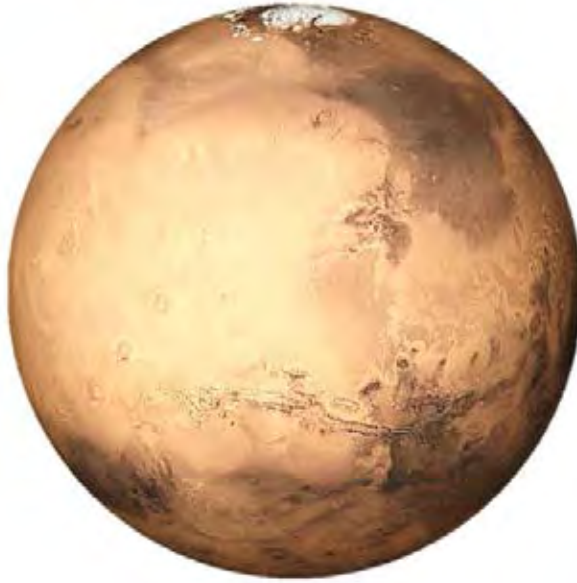
แต่ทั้งนี้โลกนั้นมีกระบวนการเปลี่ยนแปลงลักษณะแผ่นเปลือกโลกที่เรียกว่า ธรณีแปรสัณฐาน (tectonic) หรือ การเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลก โดยการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก (plate motion) คือลักษณะการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก 2 แผ่นที่อยู่ติดกัน สามารถจำแนกได้ออกเป็น 3 รูปแบบ ตามลักษณะการเคลื่อนที่สัมพัทธ์กันระหว่างแผ่นเปลือกโลกทั้งสองคือ 1) การเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกแบบเคลื่อนผ่านกัน (transform) 2) การเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกแบบเคลื่อนแยกจากกัน (divergent) และ 3) การเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกแบบชนเข้าหากัน (convergent) ซึ่งการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกสองแบบท้ายทำให้เปลือกโลกมีการเปลี่ยนแปลงเกิดผิวดินใหม่ขึ้นมาและมีการจมตัวของแผ่นเปลือกโลกเก่า ซึ่งทำให้ไม่สามารถใช้ข้อมูลบนโลกเพื่อวัดค่าการกระจายตัวเชิงความถี่และขนาดของหลุมอุกกาบาตที่พุ่งชนโลกทั้งหมดได้ ทำให้จำเป็นต้องเลือกศึกษาดาวเคราะห์ใกล้เคียงเพื่อศึกษาและเปรียบเทียบเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นบนโลก

ดาวอังคารเป็นดาวที่น่าสนใจเกี่ยวกับภัยพิบัติเนื่องจากเป็นดาวเคราะห์ที่อยู่ใกล้กับโลกและอยู่ใกล้เคียงกับแถบดาวเคราะห์น้อย (asteroid belt) งานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาค่าการกระจายตัวเชิงความถี่และขนาดของหลุมอุกกาบาตบนดาวอังคารเพื่อเปรียบเทียบกับค่าการกระจายตัวเชิงความถี่และขนาดของหลุมอุกกาบาตบนดวงจันทร์ที่มีความสัมพันธ์กับเหตุการณ์บนโลกเพื่อศึกษาผลกระทบจาก แถบดาวเคราะห์น้อยว่ามีผลต่อค่าการกระจายตัวเชิงความถี่และขนาดอุกกาบาตที่จะชนโลกหรือไม่

1.2 วัตถุประสงค์ (Objectives)

1. เพื่อศึกษาพฤติกรรมการตกกระทบของอุกกาบาตในเชิงสถิติและเชิงพื้นที่บนดาวอังคาร
2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบพฤติกรรมการตกกระทบของอุกกาบาตระหว่างการตกกระทบบนดาวอังคารและดวงจันทร์เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาแปลความหมายเชิงความสัมพันธ์กับเหตุการณ์บนโลก
3. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแถบดาวเคราะห์น้อย (asteroid belt) และพฤติกรรมการตกกระทบของอุกกาบาตบนดาวเคราะห์
4. เพื่อทำนายพื้นที่ตกกระทบของอุกกาบาตบนดาวอังคาร

1.3 พื้นที่ศึกษา (Study Area)



รูป 1.1 พื้นผิวของดาวอังคาร (Hamilton, 2012)

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ (Expected Results)

1. ตัวแปรด้านหลุมอุกกาบาต (โอกาสเกิดหลุมอุกกาบาตขนาดใหญ่ที่สุด คาบอุบัติซ้ำ และความน่าจะเป็นในการตกกระทบของอุกกาบาต) ที่บ่งบอกถึงพฤติกรรมการพุ่งชนของอุกกาบาตบนดาวอังคาร
2. ระดับภัยพิบัติอุกกาบาตพุ่งชน (impact craters) ณ ดาวที่ประเมินจากทั้งแนวคิดกำหนดค่าและแนวคิดความน่าจะเป็น
3. เปรียบเทียบค่าการกระจายตัวเชิงความถี่และขนาดของหลุมอุกกาบาตบนดวงจันทร์ที่เป็นตัวแทนของโลกเพื่อเป็นการศึกษาผลกระทบจากแถบดาวเคราะห์น้อยว่ามีผลต่อค่าการกระจายตัวเชิงความถี่และขนาดอุกกาบาตที่จะชนโลก

บทที่ 2 ทฤษฎีและระเบียบวิธีวิจัย (THEORY and METHODOLOGY)

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษาและประเมินภัยพิบัติของเหตุการณ์โดยอิงจากการคำนวณการเกิดเหตุการณ์ภัยพิบัติในเชิงสถิติ (hazard statistic) ด้วยวิธี b value โดยใช้สมการ Gutenberg-Richter relationship (G-R relationship) (Gutenberg and Richter, 1944) แสดงดังสมการ (2.1)

$$\log N_M = a - bM \quad \text{สมการ (2.1)}$$

$N(m)$ = อัตราการเกิดเหตุการณ์ขนาดเกินกว่า m ใน 1 ปี

M = ขนาดเหตุการณ์ที่ต้องการหาความน่าจะเป็นของการเกิด (หน่วย โมเมนต์ (Mw))

a และ b = ค่าคงที่ สามารถหาได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง N_M และ M

จากสมการ 2.1 สามารถหาค่า a และ b ซึ่งเป็นค่าคงที่และสามารถนำมาหาขนาดเหตุการณ์รุนแรงที่สุด(Maximum magnitude) ที่สามารถเกิดขึ้นได้ในช่วงเวลา t ที่พิจารณา ในสมการ 2.2 ได้

$$u_t = \frac{\ln(\alpha t)}{\beta} \quad \text{สมการ (2.2)}$$

u_t = ขนาดเหตุการณ์รุนแรงที่สุด (M_{max})

$\alpha = \exp(\alpha \ln(10 * \text{crater}))$

$\beta = (10)$

โดยสามารถประเมินคาบอุบัติซ้ำ (recurrence interval) ของเหตุการณ์แต่ละขนาดได้จากสมการ (2.3) (Yadav และคณะ, 2011)

$$T_M = \frac{1}{N_M} = \frac{\exp(\beta M)}{\alpha} \quad \text{สมการ (2.3)}$$

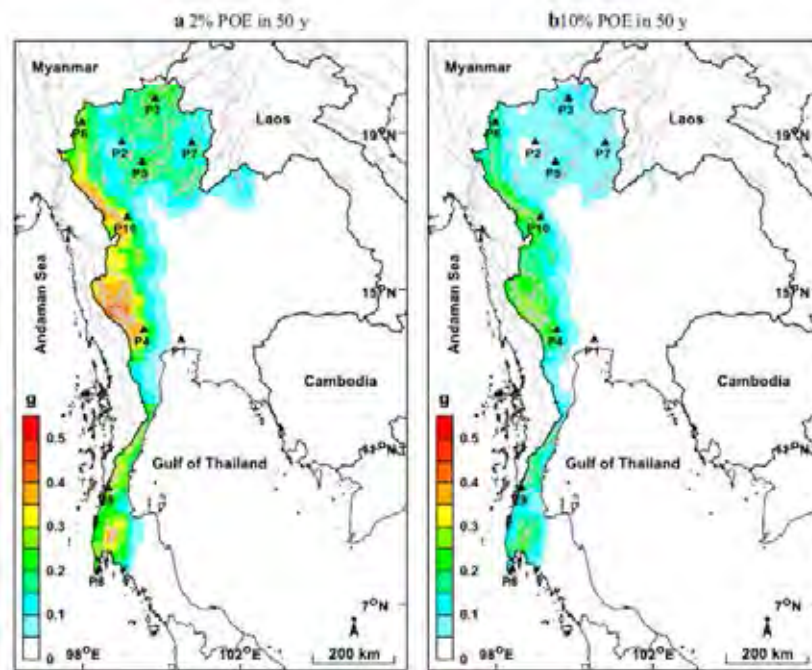
กำหนดให้ T_M คือ คาบอุบัติซ้ำของเหตุการณ์ในแต่ละขนาด M ซึ่งเป็นส่วนกลับของจำนวนหรือความถี่ของการเกิดเหตุการณ์ N_M และสามารถประเมินความน่าจะเป็นของการเกิดเหตุการณ์ (Probability of Occurrence) ในแต่ละขนาดและปีที่พิจารณาได้จากค่า α และ β ดังสมการ (2.4) (Yadav และคณะ, 2011)

$$P_t = 1 - \exp(-\alpha t \cdot \exp(-\beta M)) \quad \text{สมการ (2.4)}$$

$P_t (M)$ คือ ความน่าจะเป็นของการเกิดเหตุการณ์ขนาด M ในช่วงเวลา t ปี ซึ่งโดยทั่วไปสามารถแสดงอยู่ในรูปของกราฟความสัมพันธ์

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Pailoplee (2016) ประเมินพิบัติภัยของแนวรอยต่อระหว่างประเทศไทย-พม่า-ลาว โดยศึกษาด้วยวิธีการประเมินอันตรายจากเหตุการณ์แนวคิดความน่าจะเป็น (PSHA) เพื่อปรับปรุงฐานข้อมูลเหตุการณ์ประกอบไปด้วยจังหวัดกรุงเทพฯ จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดเชียงราย จังหวัดกาญจนบุรี จังหวัดลำปาง จังหวัดแม่ฮ่องสอน จังหวัดน่าน จังหวัดภูเก็ต จังหวัดระนอง จังหวัดตาก ผลการศึกษาพบว่าพื้นที่การศึกษามีโอกาส 2% ใน 50 ปีข้างหน้าที่จะพบแรงสั่นสะเทือนมากที่สุด ส่วนจังหวัดที่ไม่ได้กล่าวมานั้นได้รับแรงสั่นสะเทือนรองลงมา โดยรูป 2.1 แสดงแผนที่โอกาสที่พบแรงสั่นสะเทือน 2% และ 10% ใน 50 ปีข้างหน้า

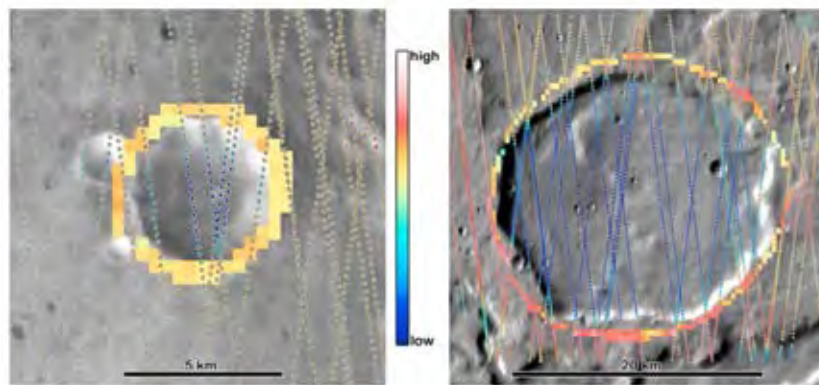


รูป 2.1 แผนที่โอกาส 2% และ 10% ที่จะพบแรงสั่นสะเทือน ในช่วงเวลา 50 ปี

Robbins, S. J., and B. M. Hynek (2012), งานวิจัยที่รวบรวมเป็นฐานข้อมูลของหลุมอุกกาบาตบนดาวอังคารฉบับล่าสุดปี 2012



รูป 2.2 หน้าเว็บไซต์ของงานวิจัยที่ร่วมมือกับองค์กร NASA



รูป 2.3 รูปตัวอย่างการเก็บข้อมูลหลุมอุกกาบาต (Robbins et al., 2012)

International Astronomical Union (IAU) เป็นเว็บไซต์ฐานข้อมูลเกี่ยวกับดาราศาสตร์ที่มีโดยดำเนินการโดยสถาบัน National Aeronautics and Space Administration (NASA) ร่วมกับ The United States Geological Survey (USGS) ซึ่งข้อมูลที่น่ามาใช้เป็นข้อมูลหลุมอุกกาบาตที่ตั้งชื่อเพื่อนำไประบุเป็นเครื่องหมายชี้บ่ง (Landmark) บนแผนที่

IAU Gazetteer of Planetary Nomenclature
International Astronomical Union (IAU) Working Group for Planetary System Nomenclature (WGPSN)

USGS NASA

Planetary Names: Search Results

Home
Previous
Mars
Martian System
Mars
Phobos
Deimos

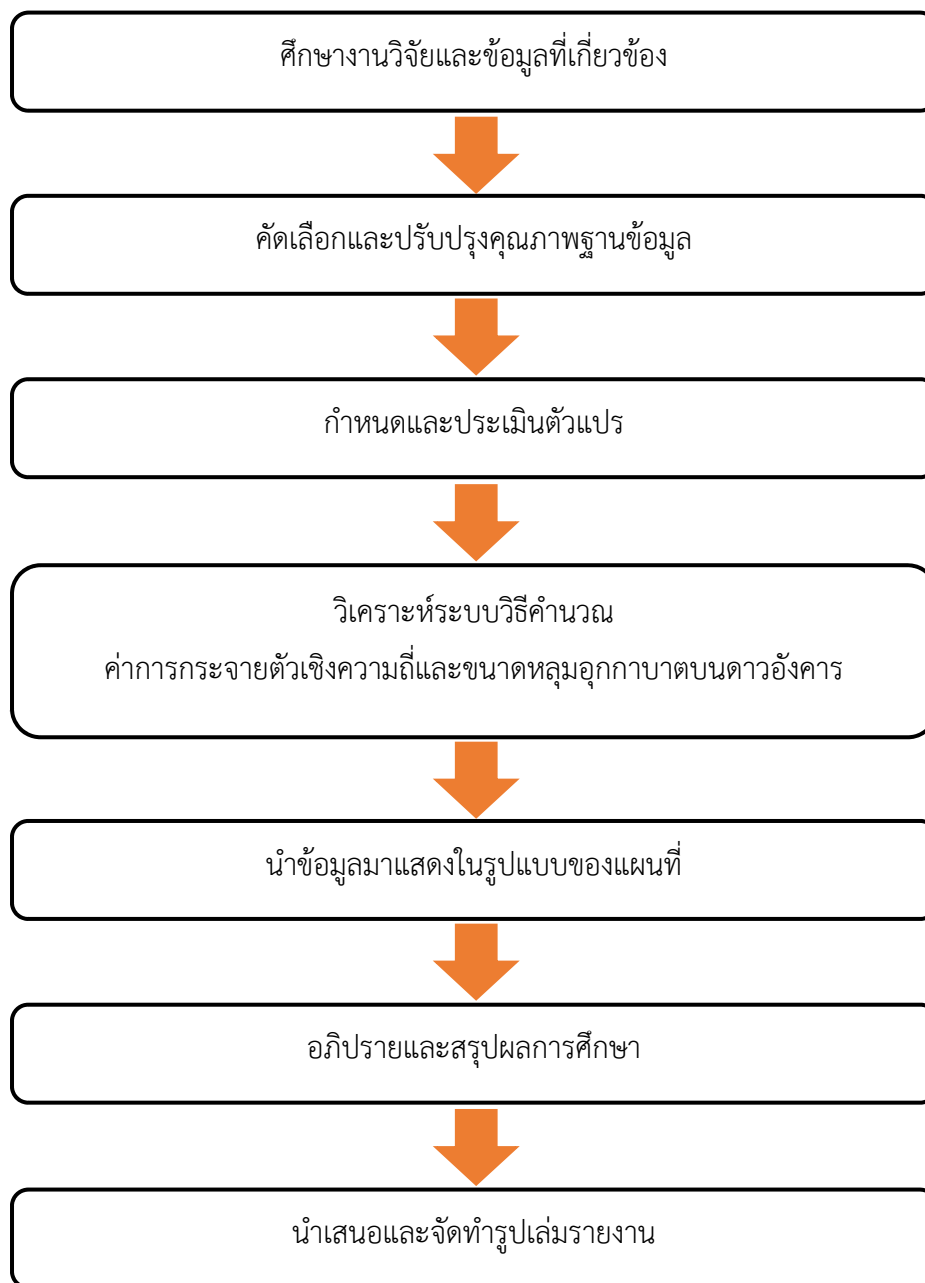
Nomenclature Search Results
Target: MARS [x]
Feature Type: Crater, craters [x]
Go back and Refine your Search.
All search result latitudes are planetocentric.
To show and hide columns, move your mouse over the leftmost column heading with a "+".
Your search results (1 - 50 of 1106) Next Page Per Page: 50

Feature Name	Target	Diameter (km)	Center Latitude	Center Longitude	Coordinate System	Approval Status	Approval Date	Origin
Aban	Mars	4.28	15.91	111.1	+E (0-360)	Approved	1988	Town in Russia.
Achar	Mars	5.36	45.43	123.16	+E (0-360)	Approved	1979	Town in Uruguay.
Ada	Mars	2.09	-3.06	356.78	+E (0-360)	Approved	Sep 14, 2006	Town in Oklahoma, USA.
Adams	Mars	90.22	30.91	163.1	+E (0-360)	Approved	1973	Walter S.; American astronomer (1876-1956).
Agassiz	Mars	108.77	-69.88	271.11	+E (0-360)	Approved	1973	Jean L.; American naturalist (1807-1873).
Airy	Mars	43.05	-5.14	0.05	+E (0-360)	Approved	1973	George B.; British astronomer (1801-1892).
Airy-0	Mars	0.79	-5.07	0	+E (0-360)	Approved	2003	Small crater within crater Airy that defines zero degrees longitude on Mars.
Ajan	Mars	8.06	16.49	103.14	+E (0-360)	Approved	1988	Town in Russia.

รูป 2.4 รูปหน้าเว็บไซต์แสดงข้อมูลหลุมอุกกาบาต (IAU)

2.3 ระเบียบวิธีวิจัย

เพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการศึกษา ได้ทำการแบ่งขั้นตอนการศึกษาออกเป็น 7 ขั้นตอน ดังแสดงในแผนผังแสดงขั้นตอนการศึกษา (รูป 2.5)



รูป 2.5 แผนผังขั้นตอนการทำงาน

1. ศึกษางานวิจัยและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
 - ก. ศึกษาและรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งทางทฤษฎีและการดำเนินงานที่เกี่ยวข้อง
 - ข. รวบรวมข้อมูลหลุมอุกกาบาตบนดาวอังคารที่มีการบันทึกข้อมูลจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ
 - ค. เตรียมซอฟต์แวร์โปรแกรม MATLAB R2010a และ ZMAP ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล
2. รวบรวม คัดเลือก และปรับปรุงคุณภาพฐานข้อมูลค่าการกระจายตัวเชิงความถี่และขนาดหลุมอุกกาบาตบนดาวอังคาร
 - ก. รวบรวมฐานข้อมูลหลุมอุกกาบาตบนดาวอังคาร
 - ข. คัดเลือกชุดข้อมูลโดยชุดข้อมูลที่จะนำมาใช้จะเป็นการวิเคราะห์พื้นผิวโดยข้อมูลที่ใช้จะมีข้อมูลขนาดของหลุมและตำแหน่งของหลุมอุกกาบาตเท่านั้น
 - ค. ปรับปรุงคุณภาพฐานข้อมูลเพื่อกำหนดและประเมินตัวแปรเพื่อนำข้อมูลที่ได้มาเตรียมในรูปแบบที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในโปรแกรมได้
3. ข้อมูลทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้จากการประเมินตัวแปรที่สื่อถึงพฤติกรรมการชนอุกกาบาตบนดาวอังคารรูปแบบแผนที่ด้วยโปรแกรม MATLAB R2010 และ ZMAP
 - ก. แยกฐานข้อมูลสำหรับการประมวลผลข้อมูล
 - ข. นำข้อมูลทั้งหมดเข้าสู่โปรแกรม ZMAP
 - ค. ดำเนินการให้โปรแกรมประมวลผลออกมาเป็นกราฟ FMD (Frequency Magnitude Distribution) โดยคร่าวเพื่อแบ่งช่วงการคำนวณค่า FMD เพื่อให้มีความแม่นยำมากที่สุด
 - ง. สังเกตกราฟและแบ่งช่วงข้อมูลตามขนาดเหตุการณ์เพื่อนำมาคำนวณค่า FMD
 - จ. นำข้อมูลมาประมวลผลเพื่อทำเป็น Resolution map เพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมในการคำนวณต่อไป
4. วิเคราะห์ระบบวิธีคำนวณค่าการกระจายตัวเชิงความถี่และขนาดหลุมอุกกาบาตบนดาวอังคาร
 - ก. การหาค่า a และ b จากสมการความสัมพันธ์ของ (Gutenberg and Richter, 1944)
 - ข. คำนวณค่า standard-b value
 - ค. คำนวณค่า percent Goodness fit
 - ง. คำนวณค่า mc-comp
 - จ. ประเมินพฤติกรรมเหตุการณ์โดยการหาเหตุการณ์ขนาดใหญ่ที่สุด (maximum magnitude) จากการหาค่า a และ b จากสมการความสัมพันธ์ของ (Gutenberg and Richter, 1944)
 - ฉ. การประเมินคาบอุบัติซ้ำของเหตุการณ์ขนาด km (recurrence interval) จากสมการ (Yadav et al., 2011)
 - ช. การประเมินการเกิดเหตุการณ์ในรูปแบบของความน่าจะเป็นของการตกกระทบของอุกกาบาตในแต่ละขนาดและปี (probability of occurrence) จากสมการ (Yadav et al., 2011)
5. นำข้อมูลมาแสดงในรูปแบบของแผนที่
6. อภิปรายและและสรุปผลการศึกษา
7. นำเสนอและจัดทำรูปเล่มรายงาน

บทที่ 3 อัตราการตกกระทบของอุกกาบาตบนดาวอังคาร (THE IMPACT RATE ON MARS)

3.1 รวบรวมฐานข้อมูลค่าการกระจายตัวเชิงความถี่และขนาดหลุมอุกกาบาตบนดาวอังคาร (Crater Data)

ข้อมูลเหตุการณ์ที่จะนำไปวิเคราะห์เพื่อประเมินพฤติกรรมและภัยพิบัติเหตุการณ์จำเป็นต้องผ่านขั้นตอนการคัดเลือกและปรับปรุงฐานข้อมูลเหตุการณ์เพื่อคัดกรองเฉพาะช่วงข้อมูลที่สามารถนำมาใช้ในการคำนวณได้เท่านั้น ซึ่งมีวิธีการคัดเลือกปรับปรุงคุณภาพข้อมูลอย่างละเอียดดังนี้

3.1.1 การรวบรวมข้อมูลหลุมอุกกาบาตบนดาวอังคารจากฐานข้อมูลเหตุการณ์ (Mars 'crater catalogue combination)

รวบรวมข้อมูลเหตุการณ์จากฐานข้อมูลหลุมอุกกาบาตของ National Aeronautics and Space Administration (NASA) โดยค้นหาข้อมูลที่ตรวจวัดได้โดยพิจารณาขนาดตั้งแต่ 1-1164.2 กิโลเมตร

ซึ่งข้อมูลที่ได้จะประกอบไปด้วยข้อมูลเชิงตัวเลขที่วิเคราะห์มาได้จากกระบวนการทางคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ โดยรายงานทั้งจุดศูนย์กลาง (ลองจิจูดและละติจูด) และขนาดหลุมอุกกาบาต ซึ่งผลการบันทึกที่รวบรวมอยู่ตลอดเวลา นับตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ดังตาราง 3.1

CRATER_ID	LATITUDE	LONGITUDE	LATITUDE	LONGITUDE	DIAM_CIR	DIAM_ELL	DIAM_ELL	DIAM_ELL	DIAM_ELL	DIAM_ELL
01-000000	84.367	108.746	84.75	108.663	82.1	82.97	69.43	0.55	1.2	-34
01-000001	72.76	164.464	72.784	164.464	82.02	84.17	79.91	0.31	1.05	44
01-000002	69.244	-27.24	69.241	-27.235	79.63	84.36	75.28	0.45	1.12	-23
01-000003	70.107	160.575	70.151	160.575	74.81	75.12	74.58	0.12	1.01	99
01-000004	77.996	95.617	77.998	95.615	73.53	77.28	70.13	0.42	1.1	-8
01-000005	68.547	137.849	68.551	137.849	72.66	74.01	71.34	0.27	1.04	-44
01-000006	69.492	169.751	69.487	169.751	70.11	70.87	69.35	0.21	1.02	-38
01-000007	78.716	-87.249	78.915	-87.307	63.57	66.86	58.52	0.48	1.14	91
01-000008	75.539	13.829	75.635	13.829	58.4	60.64	56.19	0.38	1.08	68
01-000009	69.371	75.147	69.083	75.152	55.24	56.33	53.8	0.3	1.05	23
01-000010	77.707	-27.314	77.656	-27.341	52.37	53.51	51.21	0.29	1.04	177
01-000011	70.319	139.936	70.298	139.937	51.31	52.65	49.88	0.32	1.06	-25
01-000012	77.17	-145.681	77.165	-145.681	51.08	51.77	50.43	0.23	1.03	76
01-000013	72.26	119.169	72.309	119.169	49.78	50.56	48.91	0.25	1.03	-10
01-000014	65.603	-156.777	65.603	-156.777	49.43	50	48.89	0.21	1.02	77
01-000015	84.687	1.589	84.652	1.619	48.84	48.38	44.28	0.4	1.09	36
01-000016	65.646	152.318	65.638	152.318	48.44	50.23	46.68	0.37	1.08	59
01-000017	65.817	109.151	66.024	109.143	47.2	53.01	42.35	0.6	1.25	-10
01-000018	65.687	64.161	65.674	64.168	46.03	48.84	42.36	0.5	1.15	30
01-000019	72.956	69.923	72.871	69.924	45.85	49.01	42.79	0.49	1.15	28
01-000020	65.135	177.982	65.132	177.982	45.71	46.11	45.34	0.18	1.02	30
01-000021	77.314	-177.834	77.263	-177.832	43.75	44.54	42.78	0.28	1.04	6

ตาราง 3.1 ข้อมูลหลุมอุกกาบาตบนดาวอังคาร (Robbins et al., 2012)

3.1.2 คัดเลือกชุดข้อมูลโดยชุดข้อมูลที่นำมาใช้จะเป็นการวิเคราะห์พื้นผิวโดยข้อมูลที่ใช้จะมีข้อมูลขนาดของหลุมและตำแหน่งของหลุมอวกาศเท่านั้น

CRATER_ID	LATITUDE	LONGITUDE	DIAM
01-000000	84.367	108.746	82.1
01-000001	72.76	164.464	82.02
01-000002	69.244	-27.24	79.63
01-000003	70.107	160.575	74.81
01-000004	77.996	95.617	73.53
01-000005	68.547	137.849	72.66
01-000006	69.492	169.751	70.11
01-000007	78.716	-87.249	63.57
01-000008	75.539	13.829	58.4
01-000009	69.371	75.147	55.24
01-000010	77.707	-27.314	52.37

ตาราง 3.2 ข้อมูลหลุมอวกาศบนดาวอังคาร (Robbins et al., 2012) ที่ได้คัดเลือกข้อมูลที่ต้องการ

3.1.3 ปรับปรุงคุณภาพฐานข้อมูลเพื่อกำหนดและประเมินตัวแปรเพื่อนำข้อมูลที่ได้มาเตรียมในรูปแบบที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในโปรแกรมได้

54.455	88.47	2008	4	6	1	0	21	54	0
-82.253	72.798	2008	4	14	1	0	20	7	0
4.932	70.446	2008	4	15	1	0	9	35	0
-128.37	70.816	2008	4	19	1	0	6	54	0
-12.72	66.431	2008	4	24	1	0	22	27	0
-152.412	69.005	2008	4	24	1	0	0	23	9
96.684	72.441	2008	4	27	1	0	2	44	0
74.742	71.478	2008	4	27	1	0	7	16	0
-144.814	72.611	2008	5	1	1	0	0	20	17
149.803	68.597	2008	5	3	1	0	4	35	0
42.901	65.612	2008	5	5	1	0	13	44	0
145.52	66.887	2008	5	9	1	0	23	24	0
-171.57	71.377	2008	5	10	1	0	3	0	0
-155.486	74.563	2008	5	12	1	0	0	13	5
12.081	76.707	2008	5	16	1	0	21	56	0
54.347	65.866	2008	5	17	1	0	1	4	0
102.9	67.433	2008	5	17	1	0	3	16	0
150.267	69.273	2008	5	25	1	0	5	6	0
102.107	65.576	2008	5	26	1	0	19	0	0
144.67	72.733	2008	6	10	1	0	7	12	0
-106.507	69.379	2008	6	20	1	0	6	4	0
-107.126	70.082	2008	6	24	1	0	1	49	0
-4.906	74.69	2008	6	25	1	0	9	25	0

ตาราง 3.3 รูปแบบข้อมูลที่ใช้ประมวลผลในโปรแกรม

3.1.4 ข้อมูลทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้จากการประเมินตัวแปรที่สื่อถึงพฤติกรรมการณ์การชนอวกาศบนดาวอังคาร

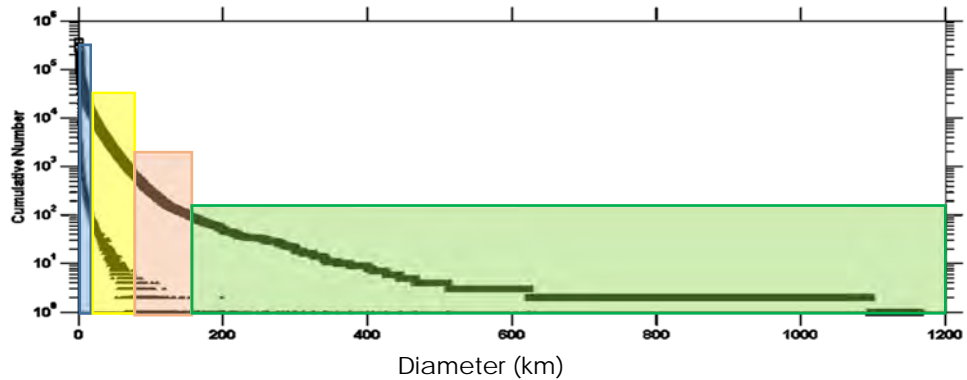
แยกฐานข้อมูลสำหรับการประมวลผลข้อมูล

เป็นค่าขนาดหลุมอวกาศที่นำมาประยุกต์ใช้ในโปรแกรมคำนวณเหตุการณ์อวกาศ

รูป 3.1 ตัวเลขเหตุการณ์ทั้งหมดที่เกิดขึ้น

3.2 การประเมินพฤติกรรมการตกของอุกกาบาต (Meteorite Impact Activity)

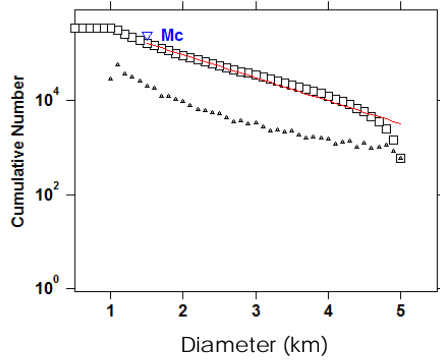
การคำนวณการเกิดเหตุการณ์ภัยพิบัติในเชิงสถิติ (hazard statistic) ด้วยวิธี b value ทำให้ได้ผลออกมาดังรูป 3.2 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และขนาดของหลุมอุกกาบาต ซึ่งช่วงที่ขนาดของหลุมอุกกาบาตต่ำกว่าค่าที่กำหนด กราฟจะไม่เป็นเส้นตรง จากการวิจัยพบว่าอันเนื่องมาจากความไม่สมบูรณ์ของการตรวจวัดหลุมอุกกาบาต ดังนั้นจึงมีการกำหนดค่าหลุมอุกกาบาตต่ำสุดและมีความสมบูรณ์ของข้อมูลจำนวนหลุมอุกกาบาตมากที่สุดของการตรวจวัดหลุมอุกกาบาตจากเครื่องมือ



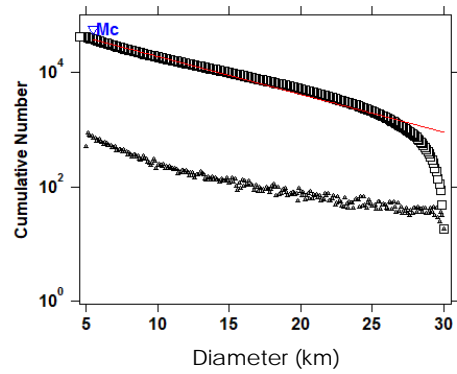
รูป 3.2 กราฟ FMD ของข้อมูลทั้งหมดและสีแบ่งข้อมูลออกเป็น 4 ช่วง

ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลบริเวณพื้นที่ศึกษาสามารถจัดกลุ่มเหตุการณ์ได้ 4 กลุ่ม ประกอบด้วยเหตุการณ์ขนาด 1-5 กิโลเมตร 5-30 กิโลเมตร 30-120 กิโลเมตร และ 120 กิโลเมตรขึ้นไป ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเหตุการณ์สะสมและช่วงเวลาในแต่ละปี นอกจากนี้หลังจากการแยกกลุ่มเหตุการณ์หลักแล้วพบว่ากราฟเริ่มเป็นเส้นตรง

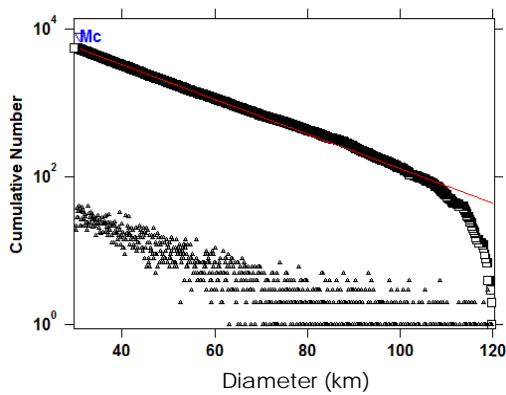
ก. หลุมอุกกาบาตขนาดตั้งแต่ 1-5 กิโลเมตร



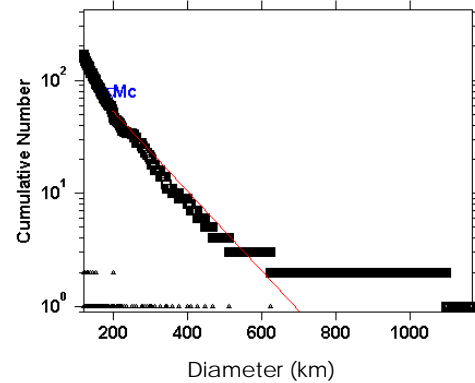
ข. หลุมอุกกาบาตขนาดตั้งแต่ 5-30 กิโลเมตร



ค. หลุมอุกกาบาตขนาดตั้งแต่ 30-120 กิโลเมตร



ง. หลุมอุกกาบาตขนาดตั้งแต่ 120 กิโลเมตรขึ้นไป



รูป 3.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดหลุมอุกกาบาตและความถี่

ค่า a คืออัตราการเกิดเหตุการณ์โดยรวมจากทุก ๆ ขนาดเหตุการณ์ ดังนั้นสามารถแปลความได้ว่า แหล่งกำเนิดที่มีค่า a สูง ๆ นั้นจะมีอัตราการเกิดเหตุการณ์โดยรวมจากทุก ๆ ขนาดเหตุการณ์มากกว่า แหล่งกำเนิดเหตุการณ์อื่น ๆ ค่า b คือสัดส่วนของเหตุการณ์ขนาดใหญ่ต่อขนาดเล็ก บริเวณที่มีค่า b สูง แสดงถึงโอกาสการเกิดเหตุการณ์ขนาดใหญ่มีน้อยกว่าบริเวณที่มีค่า b ต่ำและเพื่อเป็นการตรวจสอบค่า a และค่า b ที่นำมาใช้เราจึงต้องมีการคำนวณค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (BSD) ของค่า b แสดงถึงความถูกต้องของค่า b ยิ่งส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อย ค่า b ยิ่งมีความน่าเชื่อถือมากและค่า %goodness fit ว่า ข้อมูลในกราฟนั้นมีประสิทธิภาพในการคำนวณเหตุการณ์

จากรูป 3.4 จะแสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของค่าตัวแปรในการประเมินอัตราการตกกระทบของ อุกกาบาตบนดาวอังคารขนาด 1-5 กิโลเมตร (รูป 3.4ก) แสดงให้เห็นว่าค่า a มีค่าอยู่ระหว่าง 1-3 โดย บริเวณอัตราการตกกระทบของอุกกาบาตสูงสุดกระจายทั่วบริเวณยกเว้นบริเวณทางตะวันตกของดาวินชี (Da Vinci) (รูป 3.4ข) จากการคำนวณพบว่า b มีค่าอยู่ในช่วง 0.27 – 0.69 ค่าที่มากที่สุดของค่า b คือบริเวณเหนือของกราฟ (Graff) ส่วนค่า b ที่ต่ำที่สุดส่วนใหญ่จะปรากฏบริเวณขั้วใต้ของดาวอังคาร

(รูป 3.4ค) แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (BSD) ของค่า b ตั้งแต่ 0-1 ซึ่งจะมีบริเวณทางตะวันตกของดาวินชี (Da Vinci) ที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูง (รูป 3.4ง) ส่วนคุณภาพของข้อมูลโดยรวมมีค่าความถูกต้องมากกว่า 80% ยกเว้นบริเวณตอนเหนือของฮอยเก้นส์ (Huygens) ที่มีค่าต่ำถึง 25%

จากรูป 3.5 จะแสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของค่าตัวแปรในการประเมินอัตราการตกกระทบของอุกกาบาตบนดาวอังคารขนาด 5-30 กิโลเมตร (รูป 3.5ก) แสดงให้เห็นว่าค่า a มีค่าอยู่ระหว่าง 1.2-3 โดยบริเวณอัตราการตกกระทบของอุกกาบาตสูงสุดกระจายอยู่บริเวณตอนใต้ของฮอยเก้นส์ (Huygens) โดยบริเวณที่มีอัตราการตกกระทบมากคือบริเวณเอต้า (Ada) กราฟฟ์ (Graff) และเฮนบุรี (Henbury) (รูป 3.5ข) จากการคำนวณพบว่าค่า b มีค่าอยู่ในช่วง 0.05-0.13 ค่าที่มากที่สุดของค่า b คือบริเวณเหนือของกราฟฟ์ (Graff) และบริเวณทางตะวันตกของดาวินชี (Da Vinci) ส่วนค่า b ที่ต่ำที่สุดส่วนใหญ่จะปรากฏบริเวณเอต้า (Ada) กราฟฟ์ (Graff) และเฮนบุรี (Henbury) (รูป 3.5ค) แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (BSD) ของค่า b ตั้งแต่ 0-0.1 ซึ่งจะมีบริเวณทางตะวันตกของดาวินชี (Da Vinci) ที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงกว่าทุกพื้นที่ (รูป 3.5ง) ส่วนคุณภาพของข้อมูลโดยรวมมีค่าความถูกต้องมากกว่า 75% ยกเว้นบริเวณฮอยเก้นส์ (Huygens) ที่มีค่าต่ำถึง 38%

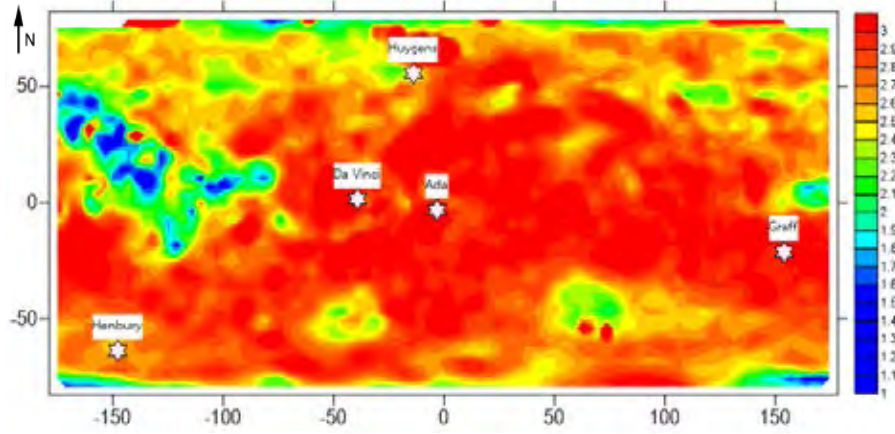
จากรูป 3.6 จะแสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของค่าตัวแปรในการประเมินพฤติกรรมของการตกกระทบของอุกกาบาตบนดาวอังคารขนาด 30-120 กิโลเมตร (รูป 3.6ก) แสดงให้เห็นว่าค่า a มีค่าอยู่ระหว่าง 1.8 – 3.5 โดยบริเวณอัตราการตกกระทบของอุกกาบาตสูงสุดกระจายทั่วพื้นที่ ยกเว้นบริเวณตอนเหนือของกราฟฟ์ (Graff) และบริเวณทางตะวันตกของดาวินชี (Da Vinci) (รูป 3.6ข) จากการคำนวณพบว่าค่า b มีค่าอยู่ในช่วง 0.016-0.033 ค่าที่มากที่สุดของค่า b คือบริเวณเหนือฮอยเก้นส์ (Huygens) ไล่ไปถึงบริเวณทางตะวันตกเฉียงเหนือของดาวินชี (Da Vinci) ส่วนค่า b ที่ต่ำที่สุดปรากฏบริเวณเหนือของกราฟฟ์ (Graff) (รูป 3.6ค) แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (BSD) ของค่า b ตั้งแต่ 0-0.12 ซึ่งจะมีบริเวณทางตะวันตกของดาวินชี (Da Vinci) ที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงกว่าทุกพื้นที่รวมถึงบางพื้นที่ทางด้านตะวันออกและตะวันตกของฮอยเก้นส์ (Huygens) (รูป 3.6ง) ส่วนคุณภาพของข้อมูลโดยรวมมีค่าความถูกต้องมากกว่า 79% ยกเว้นบริเวณทางตะวันตกเฉียงเหนือของดาวินชี (Da Vinci) ที่มีค่าต่ำถึง 73%

3.2.1 การประเมินอัตราการตกกระทบของอุกกาบาต (The impact rate on Mars) ขนาดตั้งแต่ 1-5 กิโลเมตร

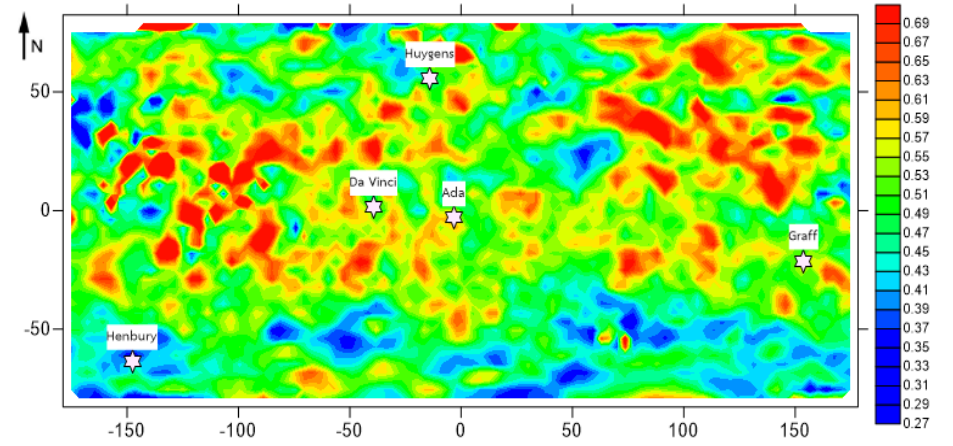
LAT	LONG	A	a (annual)	B	Alpha	Beta
178.23	79.31	9.85	2.19×10^9	2.89	1.00	6.66
178.23	-16.68	2.96	6.57×10^{10}	0.45	1.00	1.05
178.23	-31.68	2.90	6.46×10^{10}	0.49	1.00	1.15
178.23	-13.68	2.88	6.42×10^{10}	0.49	1.00	1.13
178.23	-37.68	2.86	6.37×10^{10}	0.60	1.00	1.38
178.23	-34.68	2.84	6.33×10^{10}	0.51	1.00	1.18
178.23	-28.68	2.80	6.24×10^{10}	0.46	1.00	1.06
178.23	-19.68	2.79	6.20×10^{10}	0.38	1.00	0.89
178.23	-22.68	2.78	6.18×10^{10}	0.37	1.00	0.87
178.23	-25.68	2.78	6.18×10^{10}	0.43	1.00	0.99
178.23	-40.68	2.77	6.17×10^{10}	0.50	1.00	1.15
178.23	16.31	2.77	6.15×10^{10}	0.56	1.00	1.30
178.23	13.31	2.76	6.14×10^{10}	0.49	1.00	1.15
178.23	-43.68	2.74	6.09×10^{10}	0.43	1.00	1.00
178.23	-49.68	2.69	5.98×10^{10}	0.43	1.00	1.00
178.23	19.31	2.68	5.97×10^{10}	0.52	1.00	1.22
178.23	-52.68	2.65	5.90×10^{10}	0.47	1.00	1.09

ตาราง 3.4 ตัวอย่างตัวแปรในการคำนวณอัตราการตกกระทบของอุกกาบาตบนดาวอังคารขนาด 1-5 กิโลเมตร

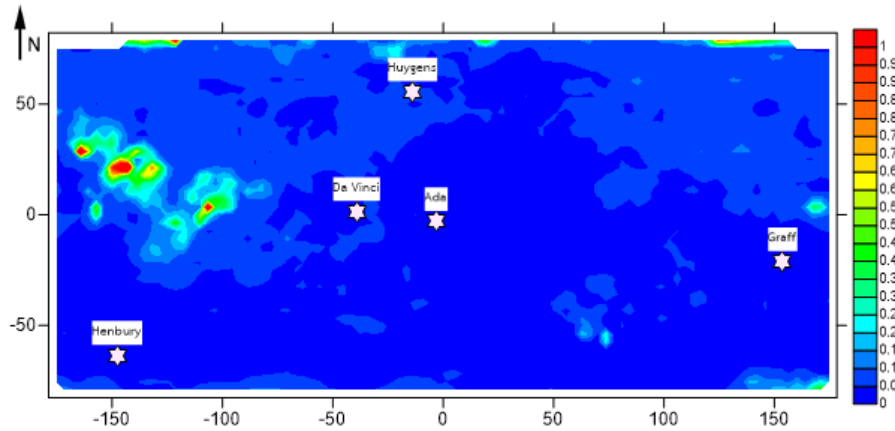
(ก)



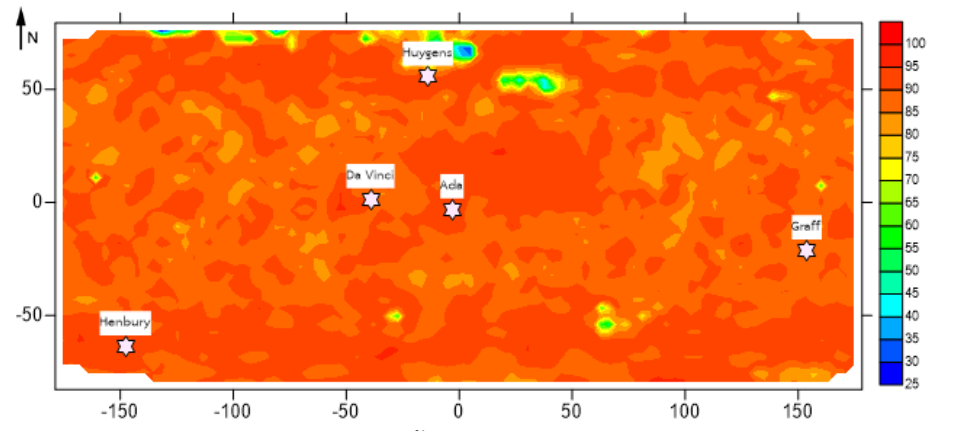
(ข)



(ค)



(ง)



รูป 3.4 (ก) แผนที่แสดงค่าการกระจายตัวของค่า a (ข) แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า b ตั้งแต่ 0.27-0.69

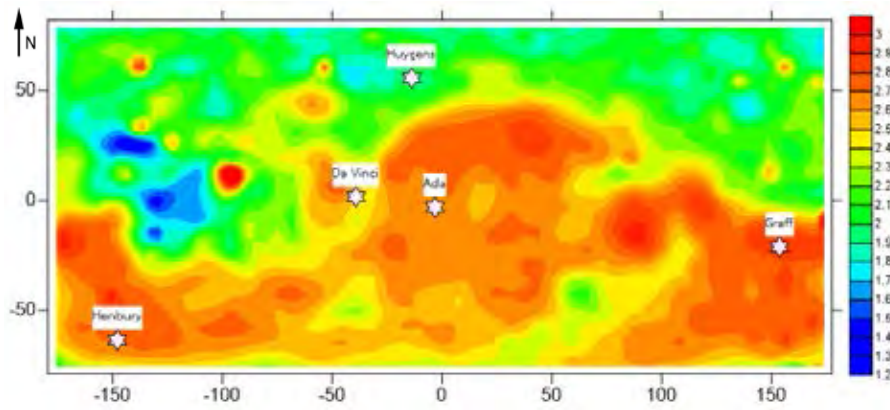
(ค) แผนที่แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (BSD) ของค่า b ตั้งแต่ 0-1 (ง) แผนที่แสดงคุณภาพของข้อมูล (%goodness) ตั้งแต่ 25-100%

3.2.2 การประเมินอัตราการตกกระทบของอุกกาบาต (The impact rate on Mars) ขนาดตั้งแต่ 5-30 กิโลเมตร

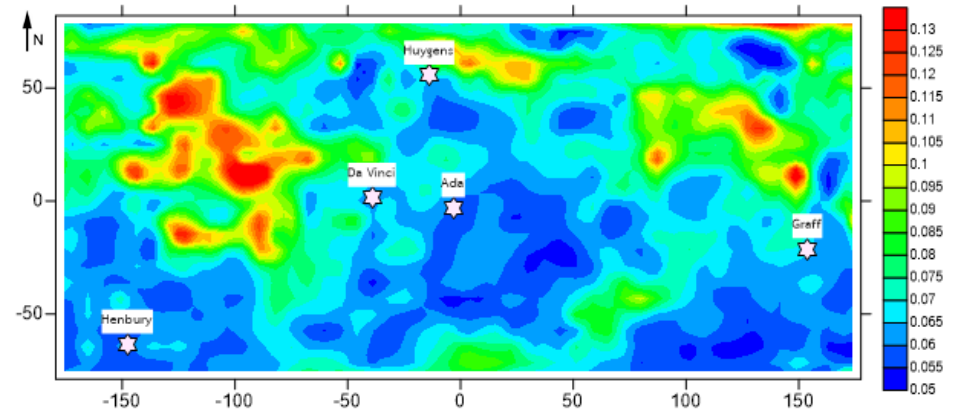
LAT	LONG	A	a (annual)	B	Alpha	Beta
135.53	82.05	2.29	5.09×10^{10}	0.18	1.00	0.42
128.53	82.05	2.24	5.00×10^{10}	0.17	1.00	0.41
-95.46	12.05	3.97	8.82×10^{10}	0.17	1.00	0.41
-88.46	12.05	2.48	5.52×10^{10}	0.17	1.00	0.40
149.53	12.05	2.74	6.10×10^{10}	0.16	1.00	0.38
177.53	-8.94	4.21	9.36×10^{10}	0.16	1.00	0.37
121.53	82.05	2.17	4.83×10^{10}	0.15	1.00	0.36
177.53	82.05	1.95	4.35×10^{10}	0.15	1.00	0.35
-137.46	61.05	3.24	7.22×10^{10}	0.15	1.00	0.35
114.53	82.05	2.18	4.85×10^{10}	0.15	1.00	0.35
-123.46	-15.94	1.88	4.20×10^{10}	0.14	1.00	0.34
-144.46	12.05	2.61	5.82×10^{10}	0.14	1.00	0.33
-137.46	33.05	3.07	6.82×10^{10}	0.13	1.00	0.32
-130.46	47.05	2.37	5.27×10^{10}	0.13	1.00	0.31
170.53	82.05	1.91	4.26×10^{10}	0.13	1.00	0.31
-130.46	40.05	2.43	5.40×10^{10}	0.13	1.00	0.31
-123.46	47.05	2.32	5.16×10^{10}	0.13	1.00	0.30

ตาราง 3.5 ตัวอย่างตัวแปรในการคำนวณอัตราการตกกระทบของอุกกาบาตบนดาวอังคารขนาด 5-30 กิโลเมตร

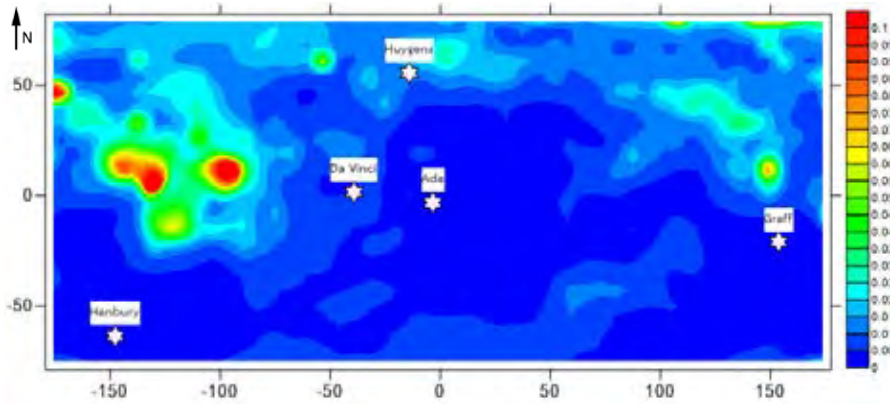
(ก)



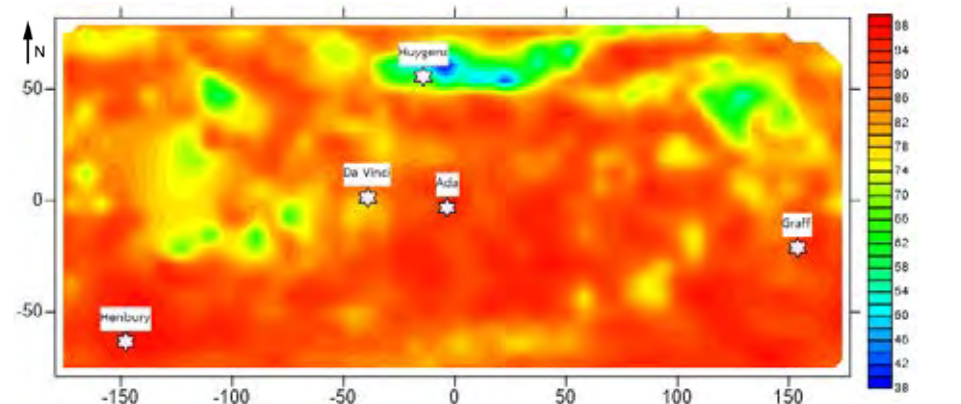
(ข)



(ค)



(ง)



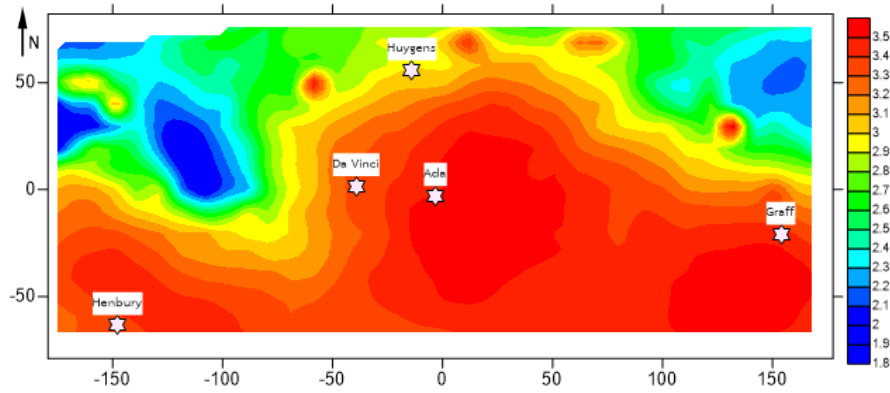
รูป 3.5 (ก) แผนที่แสดงค่าการกระจายตัวของค่า a (ข) แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า b ตั้งแต่ 0.27-0.69 (ค) แผนที่แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (BSD) ของค่า b ตั้งแต่ 0-0.1 (ง) แผนที่แสดงคุณภาพของข้อมูล (%goodness) ตั้งแต่ 38-98%

3.2.3 การประเมินอัตราการตกกระทบของอุกกาบาต (The impact rate on Mars) ขนาดตั้งแต่ 30-120 กิโลเมตร

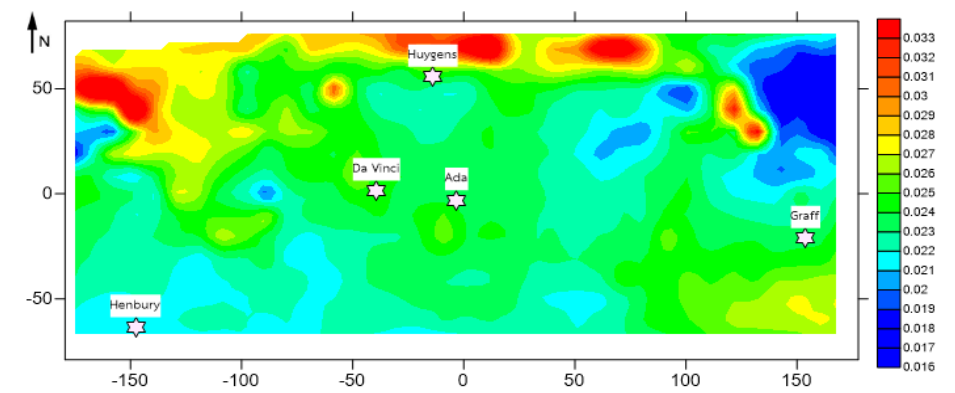
LAT	LONG	A	a (annual)	B	Alpha	Beta
-178.67	19.41	1.74	3.87×10^{10}	0.015	1.00	0.04
151.32	49.41	2.14	4.77×10^{10}	0.016	1.00	0.04
161.32	49.41	2.17	4.84×10^{10}	0.016	1.00	0.04
161.32	59.41	2.15	4.79×10^{10}	0.016	1.00	0.04
141.32	49.41	2.22	4.95×10^{10}	0.017	1.00	0.04
161.32	29.41	2.30	5.52×10^{10}	0.017	1.00	0.04
141.32	39.41	2.19	4.87×10^{10}	0.017	1.00	0.04
171.32	39.41	2.24	4.99×10^{10}	0.017	1.00	0.04
161.32	39.41	2.26	5.02×10^{10}	0.017	1.00	0.04
171.32	19.41	2.31	5.15×10^{10}	0.017	1.00	0.04
171.32	29.41	2.28	5.06×10^{10}	0.018	1.00	0.04
171.32	49.41	2.26	5.04×10^{10}	0.018	1.00	0.04
151.32	59.41	2.22	4.93×10^{10}	0.018	1.00	0.04
101.32	49.41	2.36	5.26×10^{10}	0.018	1.00	0.04
-158.67	29.41	1.98	4.41×10^{10}	0.018	1.00	0.04
151.32	39.41	2.24	4.98×10^{10}	0.019	1.00	0.04
-88.67	-0.58	2.21	4.91×10^{10}	0.019	1.00	0.04

ตาราง 3.6 ตัวอย่างตัวแปรในการคำนวณอัตราการตกกระทบของอุกกาบาตบนดาวอังคารขนาด 30-120 กิโลเมตร

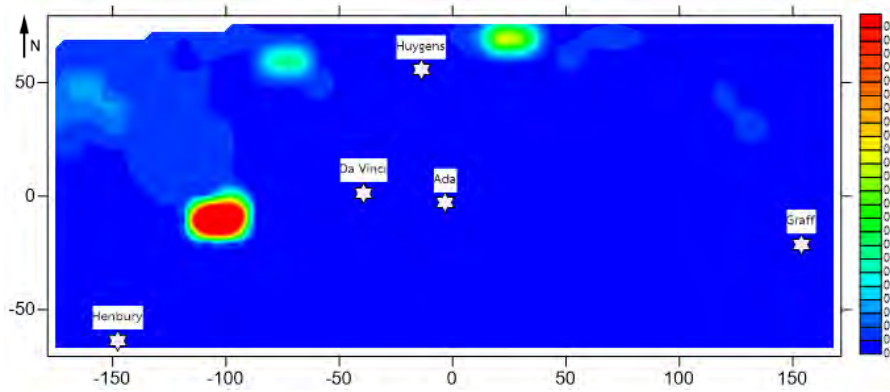
(ก)



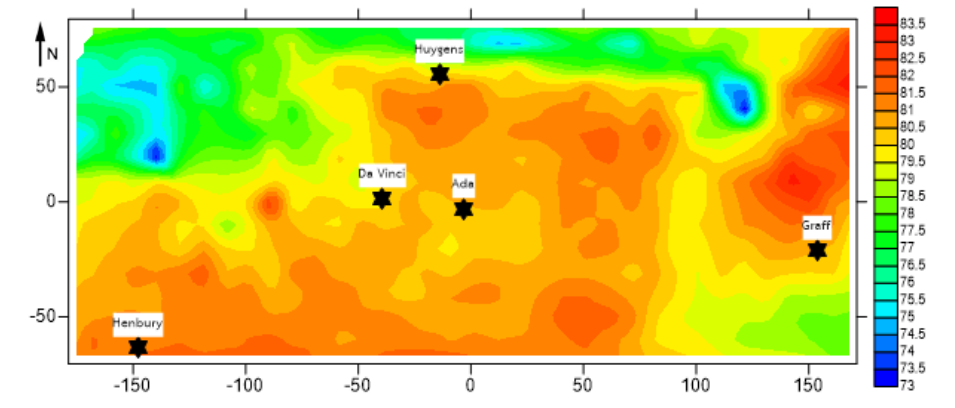
(ข)



(ค)

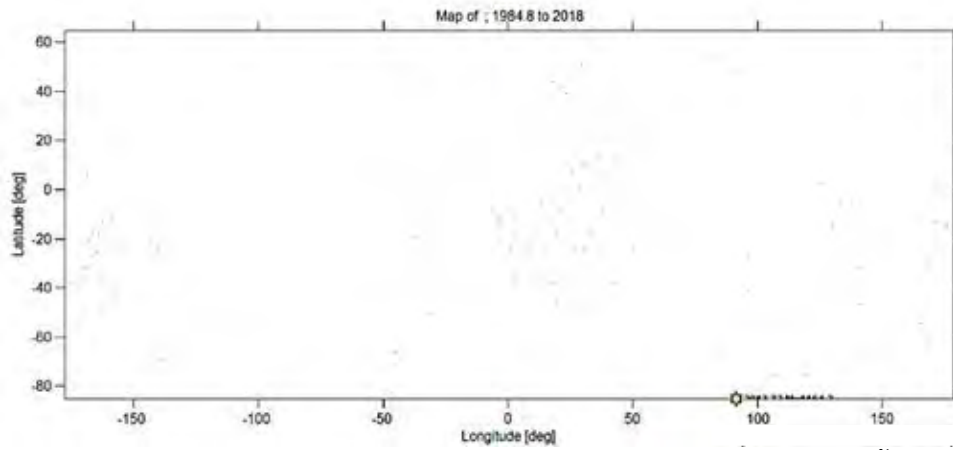


(ง)



รูป 3.6 (ก) แผนที่แสดงค่าการกระจายตัวของค่า a (ข) แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า b ตั้งแต่ 0.016–0.033
(ค) แผนที่แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (BSD) ของค่า b ตั้งแต่ 0–0.12 (ง) แผนที่แสดงคุณภาพของข้อมูล (%goodness) ตั้งแต่ 73–83.5%

3.2.4 การประเมินอัตราการตกกระทบของอุกกาบาต (The impact rate on Mars) ขนาดตั้งแต่ 120 กิโลเมตรขึ้นไป



รูป 3.7 แผนที่การกระจายตัวของข้อมูลหลุมอุกกาบาตขนาด 120 กิโลเมตรขึ้นไป

เนื่องจากการกระจายตัวของข้อมูลในพื้นที่ของหลุมอุกกาบาตขนาด 120 กิโลเมตรขึ้นไปมีค่าไม่สม่ำเสมอและค่านั้นน้อยเกินกว่าที่จะสามารถนำมาคำนวณเพื่อหาอัตราเชิงพื้นที่ได้จึงได้เป็นอัตราโดยรวมจากค่า a และค่า b โดยรวมแทน โดยค่า a โดยรวมมีค่าเท่ากับ 2.43 และค่า b โดยรวมมีค่าเท่ากับ 0.0035 ± 0.0007

บทที่ 4 พหุติกรรมการตกกระทบของอุกกาบาต (IMPACT EVENT)

การประเมินภัยพิบัติเป็นการประเมินระดับอันตรายเหตุการณ์โดยประเมินในเชิงปริมาณของหลุมอุกกาบาตขนาดจากเหตุการณ์ที่มีโอกาสเกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่ซึ่งจะแสดงอยู่ในรูปของอุกกาบาตขนาดใหญ่ที่สุด (maximum size of impaction) คาบอุบัติซ้ำการชนของอุกกาบาต (return period) และโอกาสเกิดอุกกาบาตพุ่งชนขนาดใหญ่สุด (probability of impaction) ซึ่งจะนำข้อมูลของแต่ละช่วงขนาดที่เราศึกษามาคำนวณเหตุการณ์

4.1 อุกกาบาตขนาดใหญ่ที่สุด (Maximum Size of Impaction)

จากสมการความสัมพันธ์ FMD ซึ่งนำเสนอโดย Ishimoto และ Iida (1939) และ Gutenberg and Richter (1944) (สมการ 2.1) ในเวลาต่อมา Yadav และคณะ (2011) ได้ประยุกต์ใช้สมการความสัมพันธ์ FMD ดังกล่าวเพื่อประเมินพหุติกรรมการเกิดภัยพิบัติในรูปแบบต่าง ๆ โดยปรับเทียบสมการความสัมพันธ์ FMD ให้อยู่ในรูปแบบของสมการ 2.2

4.2 คาบอุบัติซ้ำการชนของอุกกาบาต (Return Period)

นอกจากนี้ Yadav และคณะ (2011) ยังสามารถประเมินคาบอุบัติซ้ำของการตกกระทบของอุกกาบาตในแต่ละขนาดได้จากสมการ 2.3 กำหนดให้ T_M คือ คาบอุบัติซ้ำการตกกระทบอุกกาบาตในแต่ละขนาดกิโลเมตร (หน่วย ปี) ซึ่งเป็นส่วนกลับของจำนวนหรือความถี่ของการเกิดอุกกาบาต N_M โดยประเมินจากค่า α และ β ในแต่ละจุดตกกระทบอุกกาบาต ดังที่อธิบายในข้างต้น

4.3 โอกาสเกิดอุกกาบาตพุ่งชนขนาดใหญ่สุด (Probability of Impaction)

นอกจากอุกกาบาตขนาดใหญ่ที่สุดที่สามารถเกิดขึ้นได้และคาบอุบัติซ้ำการพุ่งชนอุกกาบาต Yadav และคณะ (2011) ยังสามารถประเมินและแสดงพหุติกรรมการพุ่งชนอุกกาบาตในรูปแบบของโอกาสเกิดอุกกาบาต (probability of impaction) (หน่วย %) ในแต่ละขนาดอุกกาบาตและเวลาที่พิจารณาตั้งแสดงในสมการ 2.4

ก. การประเมินพฤติกรรมการตกกระทบของอุกกาบาต (Impact event) ขนาดตั้งแต่ 1-5 กิโลเมตร

LAT	LONG	Mmax in 600Yr	Mmax in 300 Yr	Mmax in 100 Yr	Mmax in 40 Yr	RI 5	RI 4	RI 3	RI 2	POE 4 in 50 Yr	POE 3 in 50 Yr	POE 2 in 50 Yr	POE 5 in 50 Yr
178.23	-16.68	6.09	5.43	4.39	3.51	190	67	23	8	52.78	88.28	99.78	52.78
178.23	-31.68	5.56	4.96	4.00	3.21	315	100	32	10	39.45	79.51	99.33	39.45
178.23	-13.68	5.63	5.02	4.05	3.24	294	94	30	10	41.11	80.81	99.42	41.11
178.23	-37.68	4.61	4.11	3.32	2.66	1027	257	64	16	17.71	54.16	95.59	17.71
178.23	-34.68	5.38	4.80	3.87	3.10	381	116	35	11	34.99	75.68	99.03	34.99
178.23	-28.68	5.99	5.34	4.31	3.45	209	72	25	8	50.11	86.80	99.73	50.11
178.23	-19.68	7.18	6.41	5.17	4.14	86	35	14	6	75.83	96.85	99.98	75.83
178.23	-22.68	7.36	6.56	5.30	4.24	77	32	14	6	78.63	97.48	99.98	78.63
178.23	-25.68	6.46	5.76	4.65	3.72	142	53	20	7	61.33	92.26	99.90	61.33
178.23	-40.68	5.53	4.93	3.98	3.19	325	102	32	10	38.66	78.86	99.29	38.66
178.23	16.31	4.90	4.37	3.53	2.82	685	186	50	14	23.61	63.00	97.45	23.61
178.23	-46.68	7.04	6.28	5.07	4.06	94	38	15	6	73.34	96.23	99.97	73.34

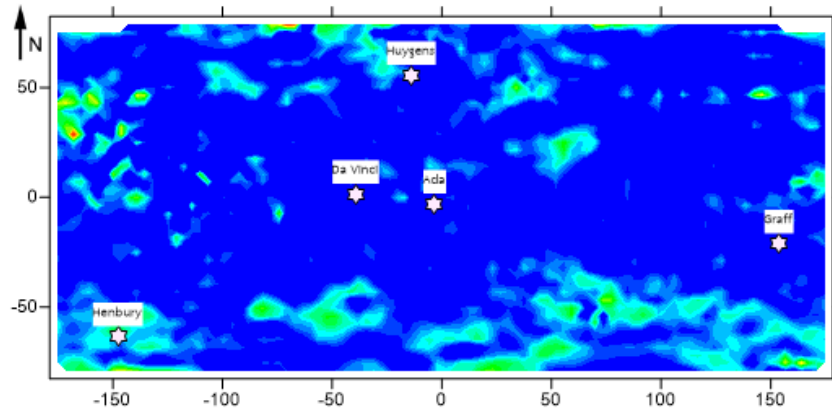
ตาราง 4.1 ตัวอย่างขนาดเหตุการณ์สูงสุด (Mmax) คาบอุบัติซ้ำของการตกกระทบของอุกกาบาต (RI) และความน่าจะเป็นของการตกกระทบของอุกกาบาต (POE) ของอุกกาบาตขนาดตั้งแต่ 1-5 กิโลเมตร

รูป 4.1 แสดงขนาดเหตุการณ์รุนแรงที่สุด (Mmax) ในรอบ 10 30 40 และ 50 ปี โดยขนาดเหตุการณ์รุนแรงที่สุดในรอบ 10 ปีจะมีหลุมอุกกาบาตสูงสุดขนาด 3 กิโลเมตร (รูป 4.1ก) เหตุการณ์รุนแรงที่สุดในรอบ 30 ปีจะมีหลุมอุกกาบาตสูงสุดขนาด 3.6 กิโลเมตร (รูป 4.1ข) เหตุการณ์รุนแรงที่สุดในรอบ 40 ปีจะมีหลุมอุกกาบาตสูงสุดขนาด 3.8 กิโลเมตร (รูป 4.1ค) เหตุการณ์รุนแรงที่สุดในรอบ 50 ปี จะมีหลุมอุกกาบาตสูงสุดขนาด 4 กิโลเมตร (รูป 4.1ง) ซึ่งพบว่าบริเวณที่จะมีการตกกระทบที่กล่าวไปนั้น อยู่บริเวณฮอยเก้นส์ (Huygens) ตอนเหนือและใต้บริเวณเอต้า (Ada) และบริเวณเฮนบุรี (Henbury) และบริเวณตอนใต้ของจุดกราฟฟ์ (Graff) โดยพื้นที่ ที่มีโอกาสการเกิดหลุมอุกกาบาตขนาดใหญ่อย่างมาก ๆ คือบริเวณทางตะวันตกของดาวินชี (Da Vinci)

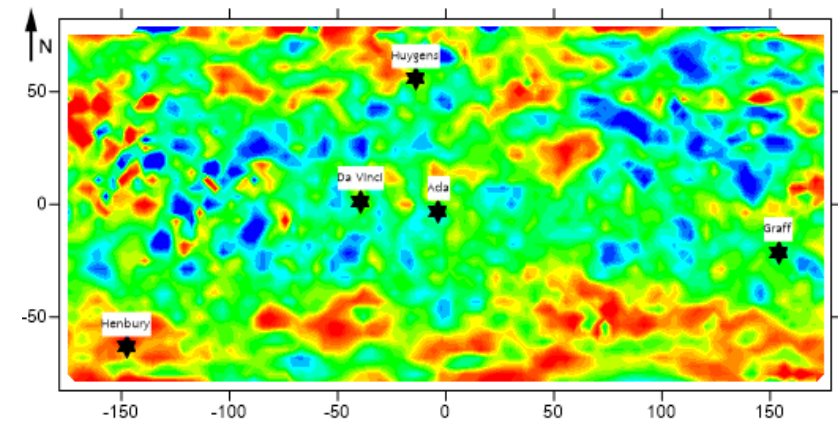
รูป 4.2 แสดงคาบอุบัติซ้ำของการตกกระทบ (RI) ขนาด 2 3 4 และ 5 กิโลเมตร สำหรับอุกกาบาตขนาด 2 กิโลเมตรจะมีคาบอุบัติซ้ำนานที่สุดเท่ากับ 20 ปี (รูป 4.2ก) อุกกาบาตขนาด 3 กิโลเมตรจะมีคาบอุบัติซ้ำนานที่สุดเท่ากับ 100 ปี (รูป 4.2ข) อุกกาบาตขนาด 4 กิโลเมตรจะมีคาบอุบัติซ้ำนานที่สุดเท่ากับ 600 ปี (รูป 4.2ค) อุกกาบาตขนาด 5 กิโลเมตรจะมีคาบอุบัติซ้ำนานที่สุดเท่ากับ 1500 ปี (รูป 4.2ง) ซึ่งพบว่าบริเวณที่มีคาบอุบัติซ้ำยาวนานคือบริเวณทางตะวันตกไปจนถึงตะวันตกเฉียงเหนือของดาวินชี (Da Vinci) มาถึงบริเวณฮอยเก้นส์ (Huygens) และบริเวณตอนเหนือของกราฟฟ์ (Graff)

รูป 4.3 แสดงความน่าจะเป็นในการตกกระทบของอุกกาบาต (POE) ขนาด 2 3 4 และ 5 กิโลเมตร ในรอบ 50 ปี ความน่าจะเป็นในการตกกระทบของอุกกาบาตขนาด 2 กิโลเมตรมีค่าเท่ากับ 94% (รูป 4.3ก) ความน่าจะเป็นในการตกกระทบคือกระจายทั่วทั้งดาวยกเว้นบริเวณตะวันตกของดาวินชี (Da Vinci) ความน่าจะเป็นในการตกกระทบของอุกกาบาตขนาด 3 กิโลเมตรมีค่าเท่ากับ 83% (รูป 4.3ข) ความน่าจะเป็นของการตกกระทบคือกระจายทั่วทั้งดาวยกเว้นบริเวณตะวันตกของดาวินชี (Da Vinci) และทางตอนเหนือของกราฟฟ์ (Graff) ความน่าจะเป็นในการตกกระทบของอุกกาบาตขนาด 4 กิโลเมตรมีค่าเท่ากับ 69% (รูป 4.3ค) ความน่าจะเป็นในการตกกระทบคือบริเวณบริเวณฮอยเก้นส์ (Huygens) ตอนเหนือและใต้บริเวณเอต้า (Ada) และบริเวณเฮนบุรี (Henbury) และบริเวณตอนใต้ของจุดกราฟฟ์ (Graff) โดยพื้นที่ ที่มีค่าความน่าจะเป็นต่ำมาก ๆ คือบริเวณทางตะวันตกของดาวินชี (Da Vinci) และความน่าจะเป็นในการตกกระทบของอุกกาบาตขนาด 5 กิโลเมตรมีค่าเท่ากับ 50% (รูป 4.3ง) บริเวณของความน่าจะเป็นในการตกกระทบคือตอนเหนือของบริเวณเฮนบุรี (Henbury) ทอดยาวลงมาทางใต้จนถึงบริเวณเฮนบุรี (Henbury) ไปจนถึงบริเวณใต้กราฟฟ์ (Graff) ตะวันตกเฉียงเหนือของฮอยเก้นส์ (Huygens)

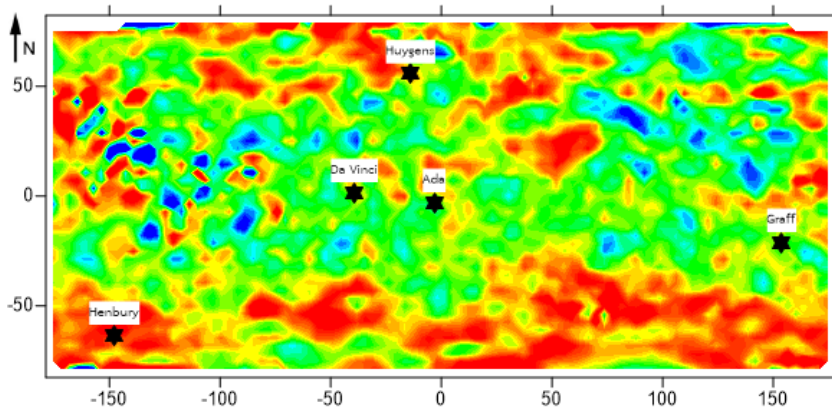
(ก)



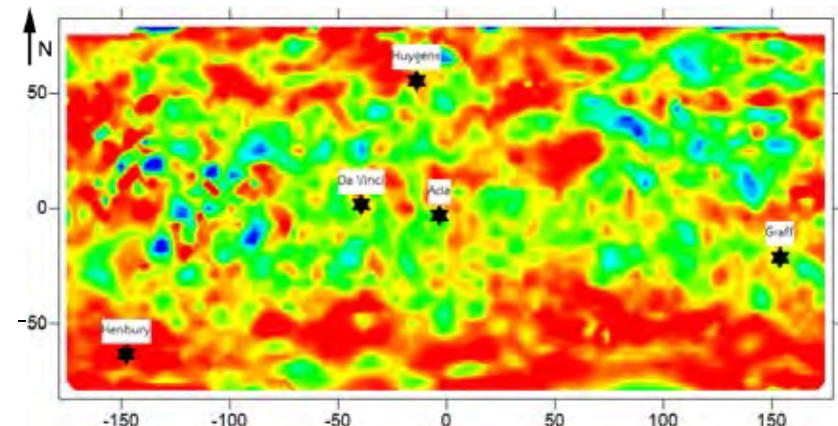
(ข)



(ค)

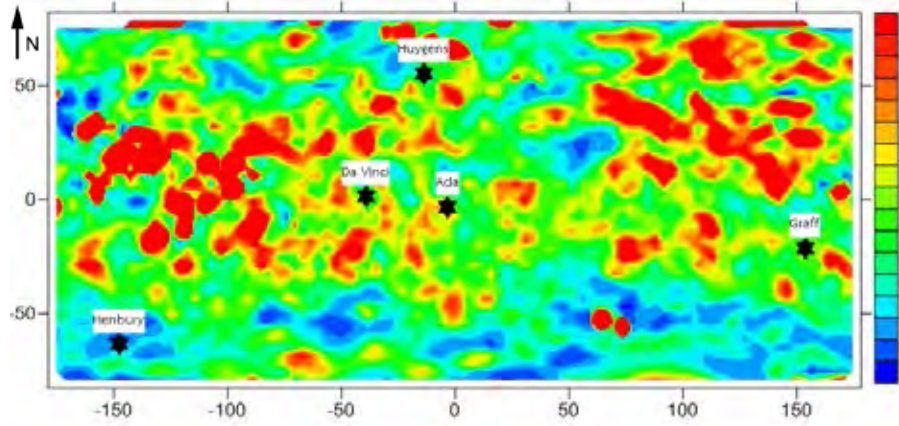


(ง)

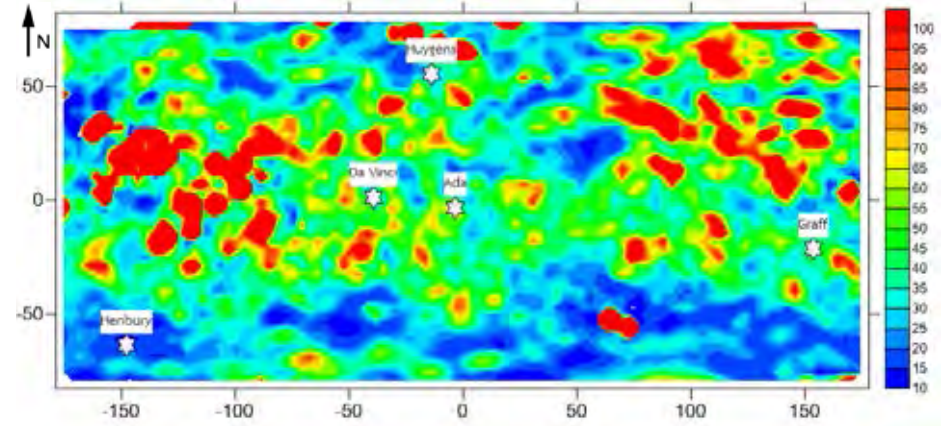


รูป 4.1 แผนที่แสดงขนาดเหตุการณ์รุนแรงที่สุด (Mmax) ในรอบ (ก) 10 ปี (ข) 30 ปี (ค) 40 ปี (ง) 50 ปี

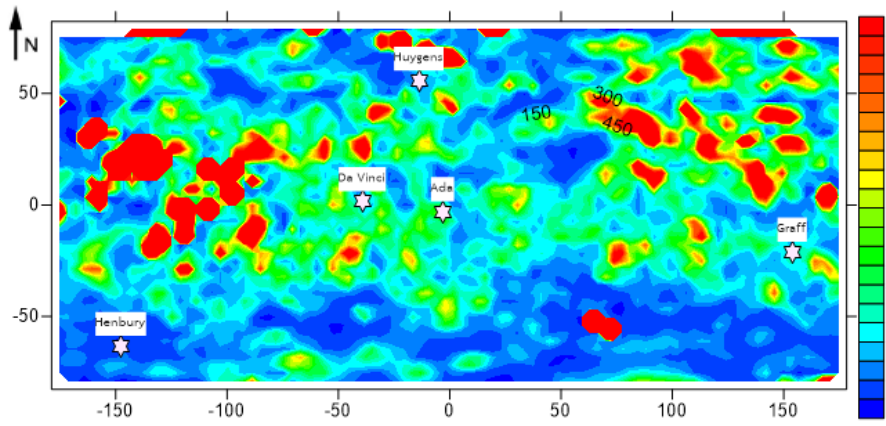
(ก)



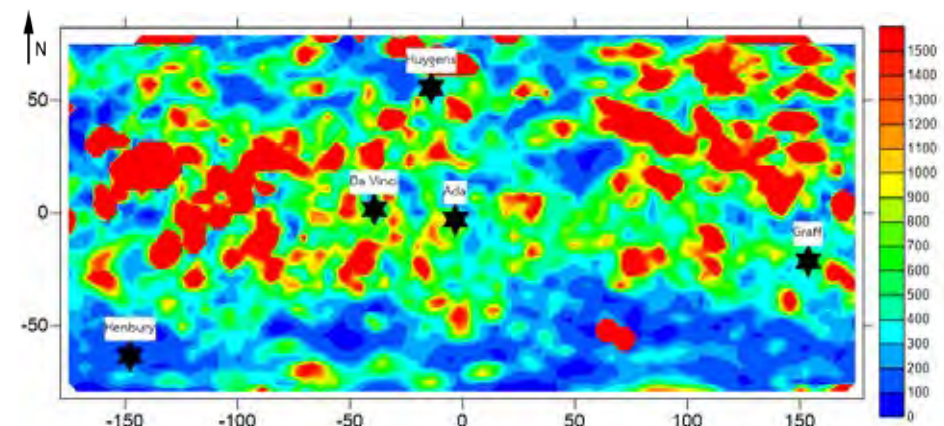
(ข)



(ค)

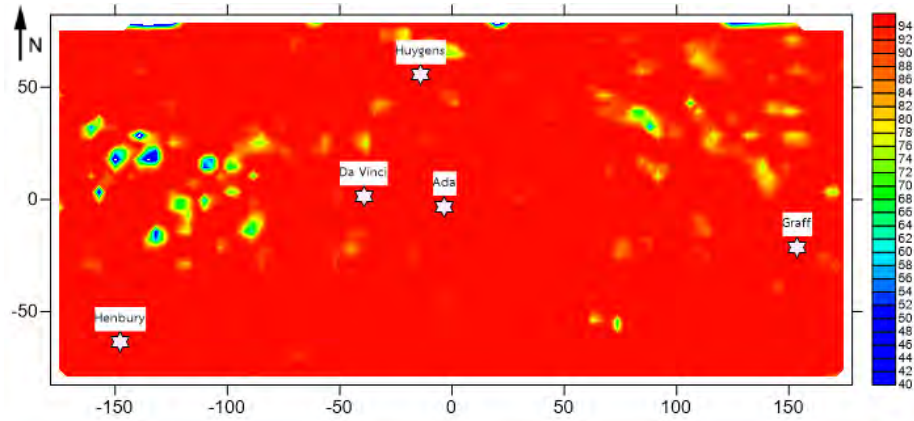


(ง)

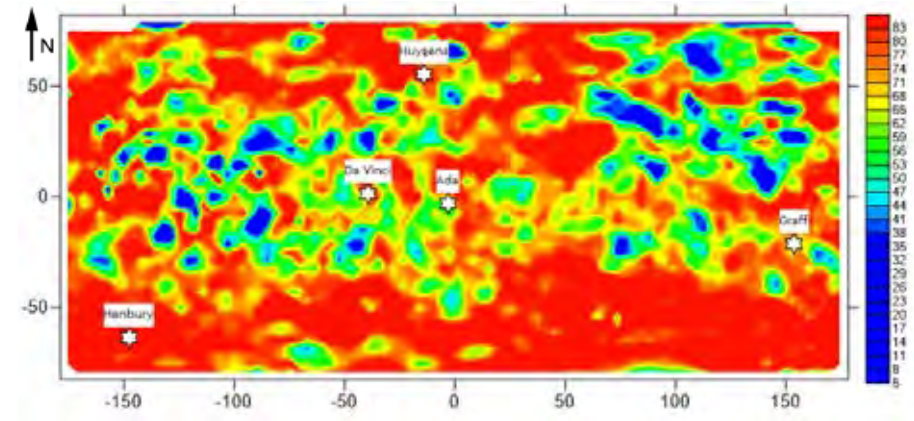


รูป 4.2 แผนที่แสดงคาบอุบัติซ้ำของการตกกระทบของอุกกาบาตขนาด (ก) 2 กิโลเมตร (ข) 3 กิโลเมตร (ค) 4 กิโลเมตร (ง) 5 กิโลเมตร

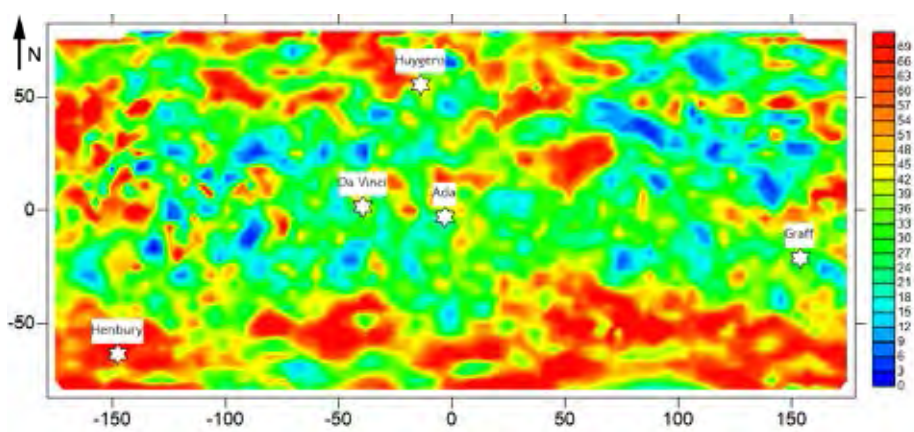
(ก)



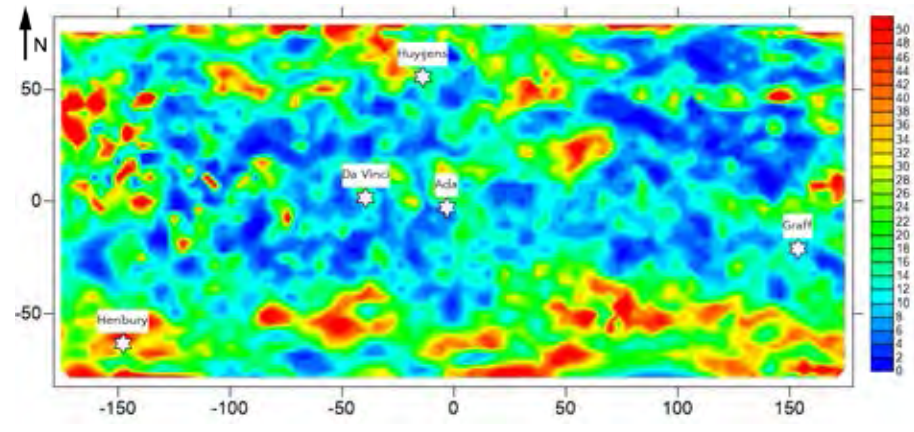
(ข)



(ค)



(ง)



รูป 4.3 แผนที่แสดงความน่าจะเป็นในการตกกระทบของอุกกาบาตในรอบ 50 ปีที่มีขนาด (ก) 2 กิโลเมตร (ข) 3 กิโลเมตร (ค) 4 กิโลเมตร (ง) 5 กิโลเมตร

รูป 4.4 แสดงขนาดเหตุการณ์รุนแรงที่สุด (Mmax) ในรอบ 10 15 20 และ 30 ปี โดยขนาดเหตุการณ์รุนแรงที่สุดในรอบ 10 ปีจะมีหลุมอุกกาบาตสูงสุดขนาด 18 กิโลเมตร (รูป 4.4ก) เหตุการณ์รุนแรงที่สุดในรอบ 15 ปีจะมีหลุมอุกกาบาตสูงสุดขนาด 21 กิโลเมตร (รูป 4.4ข) เหตุการณ์รุนแรงที่สุดในรอบ 20 ปีจะมีหลุมอุกกาบาตสูงสุดขนาด 21 กิโลเมตร (รูป 4.4ค) เหตุการณ์รุนแรงที่สุดในรอบ 30 ปีจะมีหลุมอุกกาบาตสูงสุดขนาด 27 กิโลเมตร (รูป 4.4ง) ซึ่งพบว่าบริเวณที่จะมีโอกาสเกิดหลุมอุกกาบาตขนาดใหญ่สุดอยู่บริเวณเอด้า (Ada) และบริเวณดาวินชี (Da Vinchi) ทางใต้ของฮอยเกินส์ (Huygens) รวมไปถึงบริเวณเฮนบุรี (Henbury) และทางตอนใต้ของกราฟฟ์ (Graff)

รูป 4.5 แสดงคาบอุบัติซ้ำของการตกกระทบของอุกกาบาต (RI) ขนาด 10 15 20 และ 30 กิโลเมตร สำหรับอุกกาบาตขนาด 10 กิโลเมตรจะมีคาบอุบัติซ้ำนานที่สุดเท่ากับ 15 ปี (รูป 4.5ก) อุกกาบาตขนาด 15 กิโลเมตรจะมีคาบอุบัติซ้ำนานที่สุดเท่ากับ 49 ปี (รูป 4.5ข) อุกกาบาตขนาด 20 กิโลเมตรจะมีคาบอุบัติซ้ำนานที่สุดเท่ากับ 150 ปี (รูป 4.5ค) อุกกาบาตขนาด 30 กิโลเมตรจะมีคาบอุบัติซ้ำนานที่สุดเท่ากับ 600 ปี (รูป 4.5ง) ซึ่งพบว่าบริเวณที่มีคาบอุบัติซ้ำยาวนานคือบริเวณทางตะวันตกไปจนถึงตะวันตกเฉียงเหนือของดาวินชี (Da Vinchi) บริเวณตะวันออกเฉียงเหนือฮอยเกินส์ (Huygens) และทางตะวันตกเฉียงเหนือมาจนถึงตอนเหนือของกราฟฟ์ (Graff)

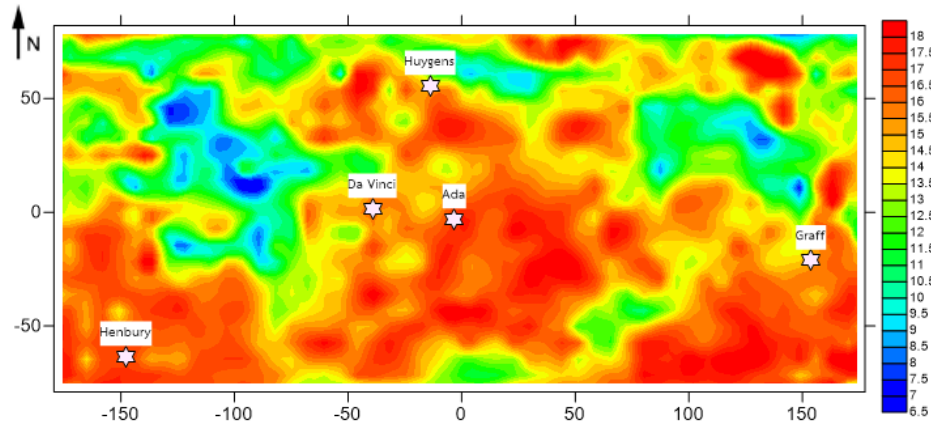
รูป 4.6 แสดงความน่าจะเป็นในการตกกระทบของอุกกาบาต (POE) ขนาด 10 15 20 และ 30 กิโลเมตร ในรอบ 50 ปีความน่าจะเป็นในการตกกระทบอุกกาบาตขนาด 10 กิโลเมตรมีค่าเท่ากับ 97% (รูป 4.6ก) บริเวณที่มีโอกาสตกกระทบสูงกระจายทั่วทั้งดาวยกเว้นบริเวณตะวันตกของดาวินชี (Da Vinchi) ที่มีโอกาสเกิดหลุมอุกกาบาตค่อนข้างน้อย ความน่าจะเป็นในการตกกระทบอุกกาบาตขนาด 15 กิโลเมตรมีค่าเท่ากับ 95% (รูป 4.6ข) ความน่าจะเป็นของการตกกระทบอุกกาบาตขนาด 20 กิโลเมตรมีค่าเท่ากับ 95% (รูป 4.6ค) ความน่าจะเป็นในการตกกระทบอุกกาบาตขนาด 15 และ 20 กิโลเมตร บริเวณที่มีคาบอุบัติซ้ำยาวนานมีพื้นที่เดียวกันคือกระจายทั่วทั้งดาวยกเว้นบริเวณตะวันตกเฉียงเหนือไปจนถึงตะวันตกของดาวินชี (Da Vinchi) บริเวณตะวันออกเฉียงเหนือฮอยเกินส์ (Huygens) และทางตอนตะวันตกเฉียงเหนือมาจนถึงตอนเหนือของกราฟฟ์ (Graff) ที่มีโอกาสที่อุกกาบาตตกกระทบค่อนข้างถี่และความน่าจะเป็นในการตกกระทบอุกกาบาตขนาด 30 กิโลเมตรมีค่าเท่ากับ 60% (รูป 4.6ง) บริเวณของความน่าจะเป็นในการตกกระทบคือบริเวณใต้ฮอยเกินส์ (Huygens) จนไปถึงบริเวณตะวันออกเฉียงใต้ของเอด้า (Ada) บริเวณเฮนบุรี (Henbury) และทางตอนใต้ของกราฟฟ์ (Graff)

ข. การประเมินพฤติกรรมการตกรกระทบของอุกกาบาต (Impact event) ขนาดตั้งแต่ 5-30 กิโลเมตร

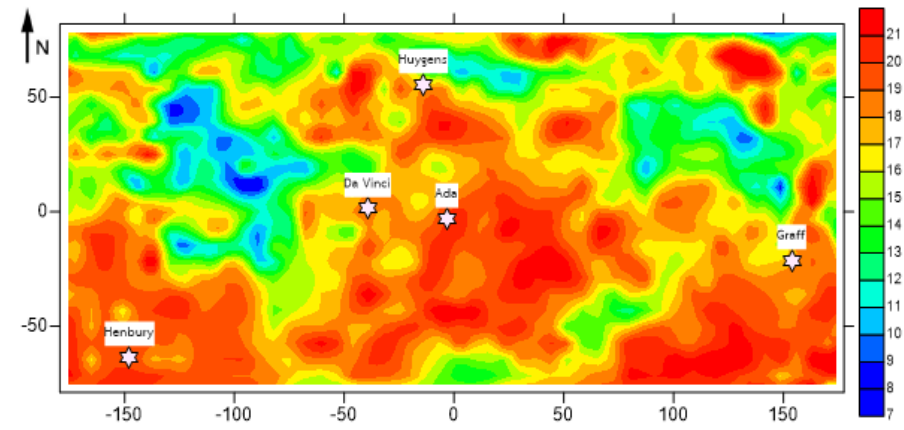
LAT	LONG	Mmax in 10Yr	Mmax in 15Yr	Mmax in 20Yr	Mmax in 30Yr	RI 10	RI 15	RI 20	RI 30	POE 10 in 50Yr	POE 15 in 50Yr	POE 20 in 50Yr	POE 30 in 50Yr
135.53	82.05	5.46	6.42	7.10	8.29	68	561	4624	314413	52.06	8.53	1.08	0.02
128.53	82.05	5.58	6.56	7.26	8.47	62	487	3835	237520	55.40	9.75	1.30	0.02
-95.46	12.05	5.64	6.63	7.34	8.57	59	456	3509	207874	57.00	10.39	1.41	0.02
-88.46	12.05	5.76	6.77	7.49	8.74	55	403	2981	162780	59.98	11.66	1.66	0.03
149.53	12.05	6.10	7.18	7.94	9.27	44	287	1895	82490	68.29	15.98	2.60	0.06
177.53	-8.94	6.20	7.29	8.07	9.42	41	263	1681	68929	70.46	17.34	2.93	0.07
121.53	82.05	6.33	7.45	8.24	9.62	38	234	1441	54689	73.21	19.25	3.41	0.09
177.53	82.05	6.54	7.69	8.51	9.93	34	196	1141	38557	77.24	22.48	4.29	0.13
-137.46	61.05	6.56	7.72	8.54	9.97	33	193	1116	37273	77.62	22.82	4.38	0.13
114.53	82.05	6.58	7.74	8.56	10.00	33	190	1092	36108	77.97	23.14	4.47	0.14
-123.46	-15.94	6.77	7.96	8.81	10.28	30	164	898	26922	81.14	26.27	5.41	0.19
-130.46	40.05	7.51	8.83	9.76	11.40	21	100	462	9936	90.23	39.44	10.25	0.50

ตาราง 4.2 ตัวอย่างขนาดเหตุการณ์สูงสุด (Mmax) คาบอุบัติซ้ำของการตกรกระทบของอุกกาบาต (RI) และความน่าจะเป็นในการตกรกระทบของอุกกาบาต (POE) ของอุกกาบาตขนาดตั้งแต่ 5-30 กิโลเมตร

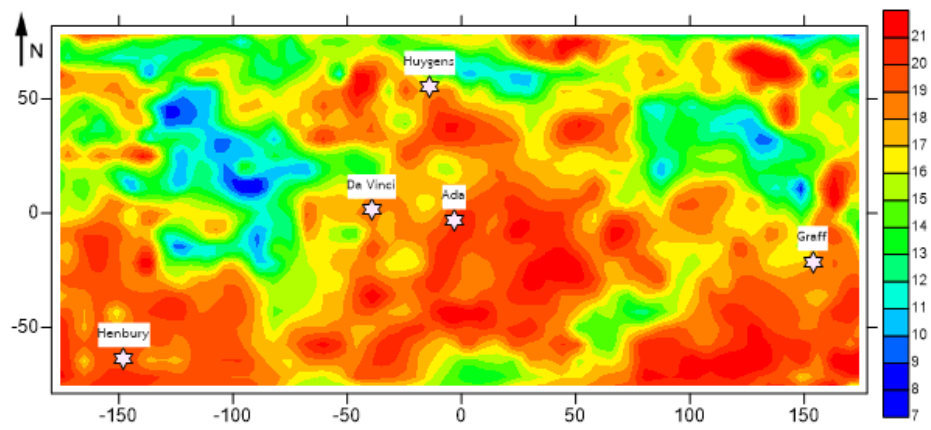
(ก)



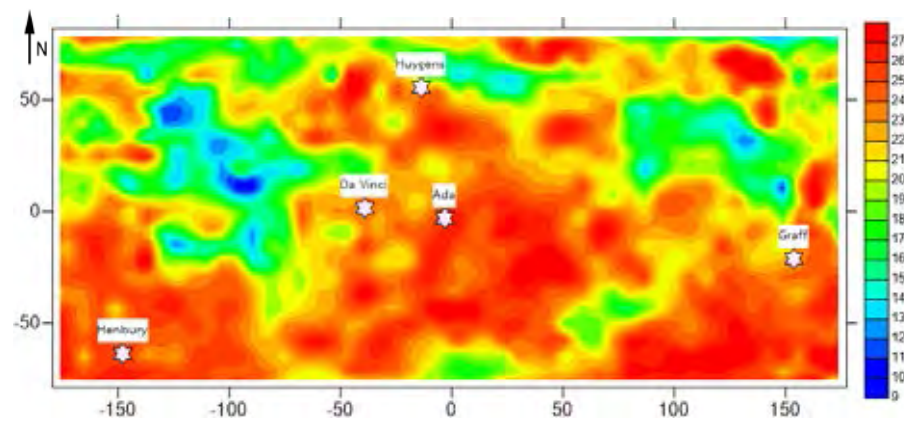
(ข)



(ค)

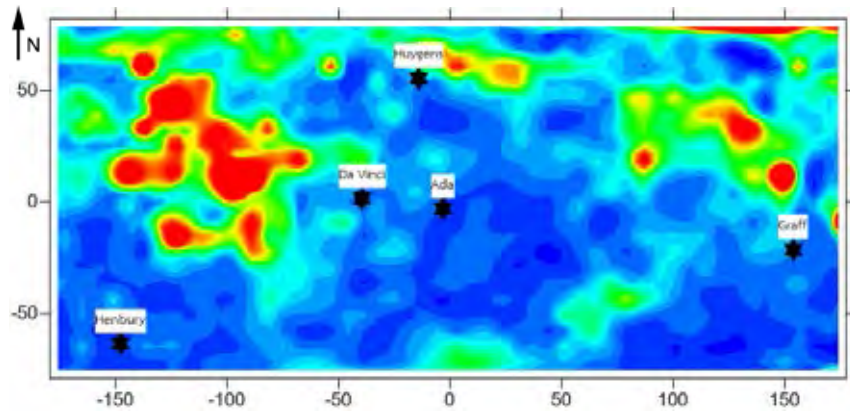


(ง)

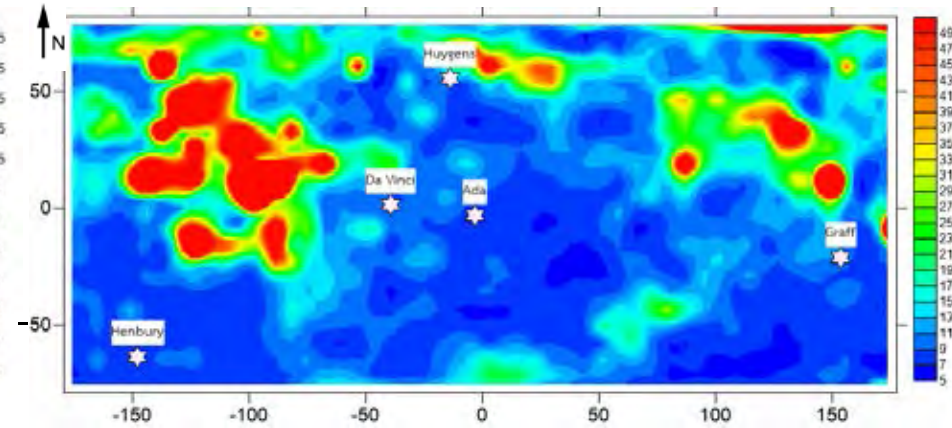


รูป 4.4 แผนที่แสดงขนาดเหตุการณ์รุนแรงที่สุด (Mmax) ในรอบ (ก) 10 ปี (ข) 15 ปี (ค) 20 ปี (ง) 30 ปี

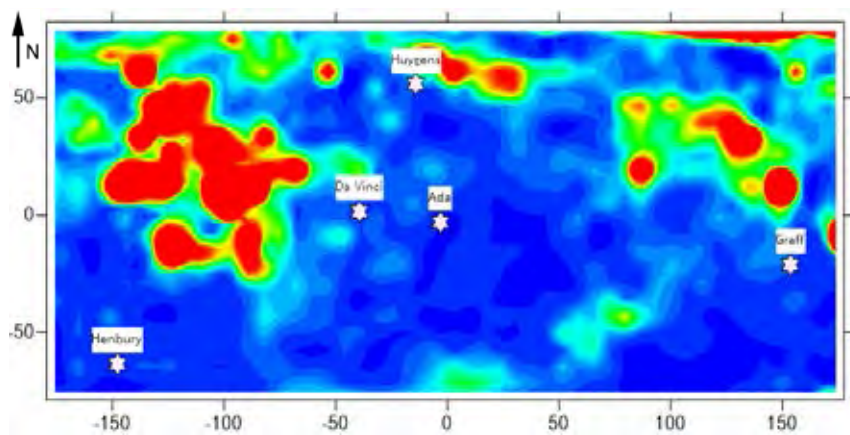
(ก)



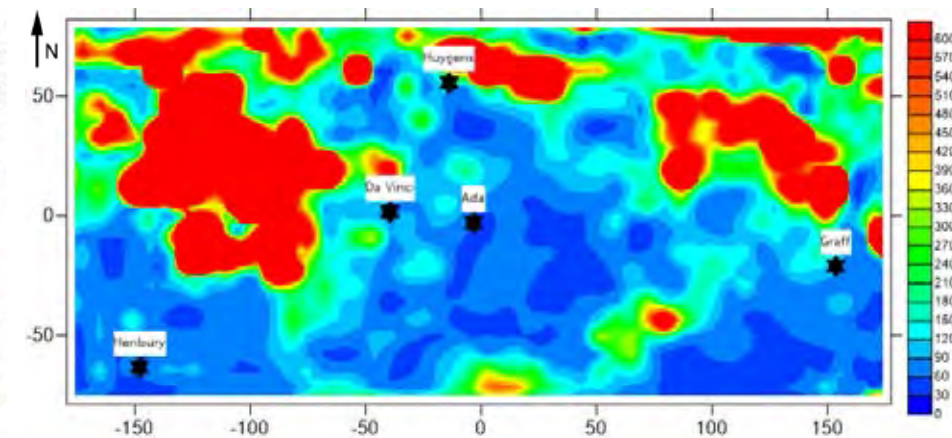
(ข)



(ค)

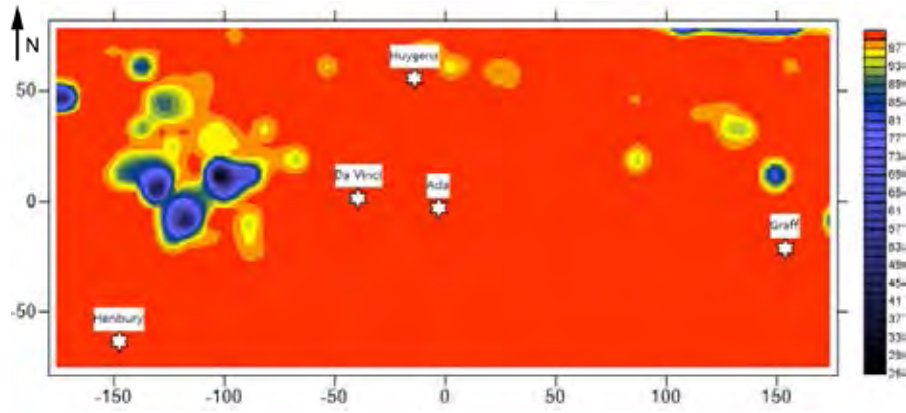


(ง)

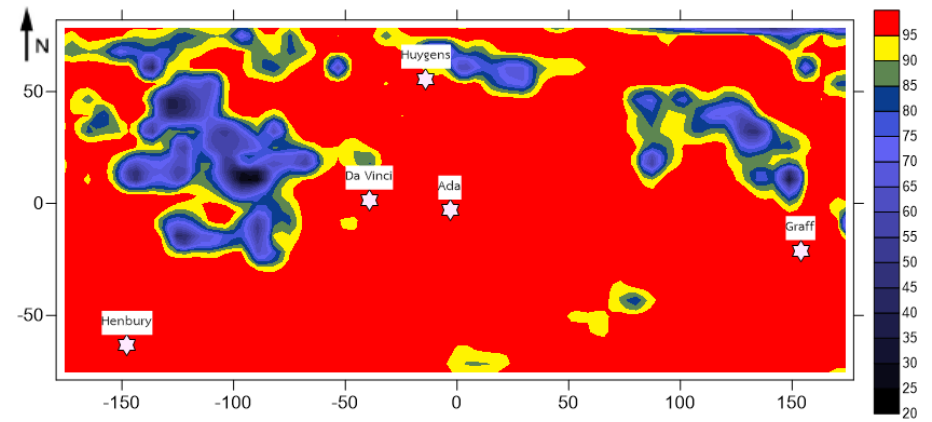


รูป 4.5 แผนที่แสดงคาบอุบัติซ้ำของการตกกระทบของอุกกาบาตขนาด (ก) 10 กิโลเมตร (ข) 15 กิโลเมตร (ค) 20 กิโลเมตร (ง) 30 กิโลเมตร

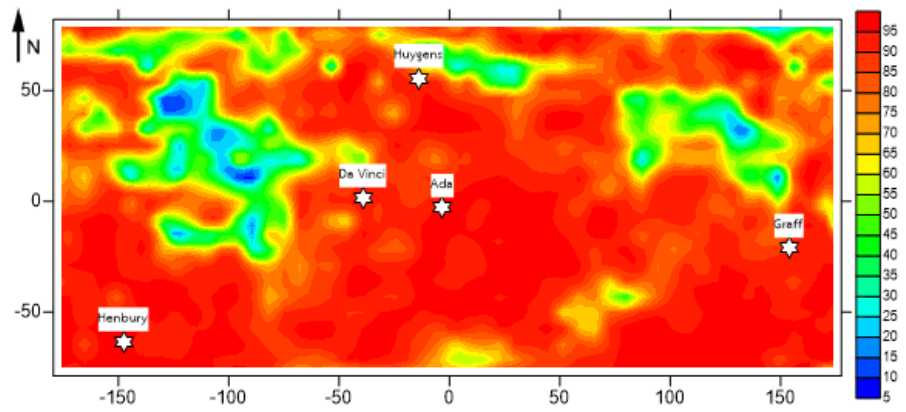
(ก)



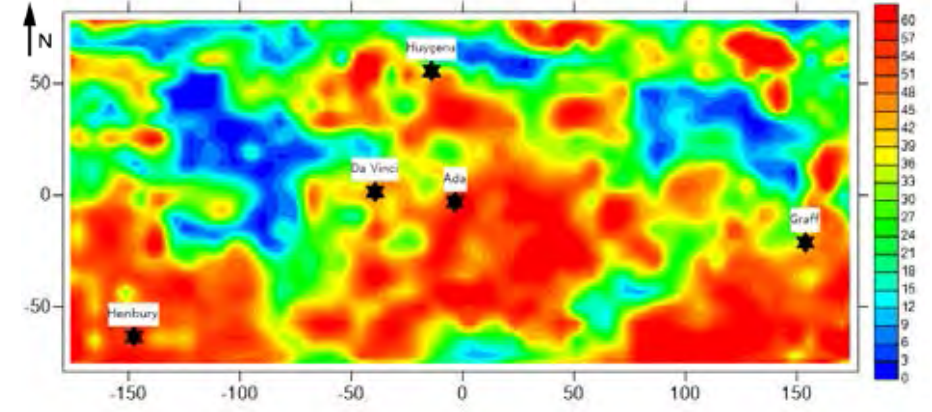
(ข)



(ค)



(ง)



รูป 4.6 แผนที่แสดงความน่าจะเป็นในการตกกระทบของอุกกาบาตในรอบ 50 ปีที่มีขนาด (ก) 10 กิโลเมตร (ข) 15 กิโลเมตร (ค) 20 กิโลเมตร (ง) 30 กิโลเมตร

ค. การประเมินพฤติกรรมการตกระทบของอุกกาบาต (Impact event) ขนาดตั้งแต่ 30-120 กิโลเมตร

LAT	LONG	Mmax in 13Yr	Mmax in 40Yr	Mmax in 60Yr	Mmax in 80Yr	RI 30	RI 60	RI 90	RI 120	POE 30 in 50Yr	POE 40 in 50Yr	POE 60 in 50Yr	POE 80 in 50Yr
-178.67	19.41	70.59	101.5	112.7	120.60	3	9	26	78	100.00	99.65	85.04	47.21
151.32	49.41	69.32	99.7	110.7	118.43	3	9	28	85	100.00	99.56	83.29	44.55
161.32	49.41	67.59	97.2	107.9	115.48	3	10	30	95	100.00	99.41	80.67	40.93
161.32	59.41	67.02	96.4	107.0	114.51	3	10	31	99	100.00	99.35	79.74	39.74
141.32	49.41	64.17	92.3	102.4	109.62	3	11	37	121	100.00	98.94	74.58	33.82
161.32	29.41	63.80	91.8	101.8	109.00	3	11	37	125	100.00	98.87	73.85	33.07
141.32	39.41	63.11	90.8	100.7	107.82	3	11	39	131	100.00	98.73	72.46	31.68
171.32	39.41	62.86	90.4	100.3	107.40	3	12	39	134	100.00	98.67	71.95	31.18
161.39	39.41	62.37	89.7	99.6	106.56	3	12	40	139	100.00	98.56	70.91	30.20
171.32	19.41	62.34	89.7	99.5	106.50	3	12	41	139	100.00	98.55	70.83	30.13
171.32	29.41	61.78	88.9	98.6	105.55	3	12	42	146	100.00	98.41	69.64	29.04
171.32	59.41	59.51	85.6	95.0	101.66	4	13	48	176	100.00	97.68	64.41	24.69

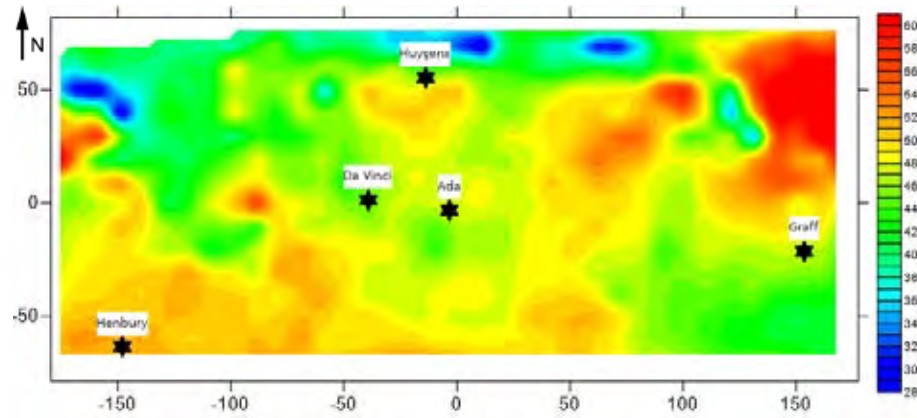
ตาราง 4.3 ตัวอย่างขนาดเหตุการณ์สูงสุด (Mmax) คาบอุบัติซ้ำของการตกระทบของอุกกาบาต (RI) และความน่าจะเป็นในการตกระทบของอุกกาบาต (POE) ของอุกกาบาตขนาดตั้งแต่ 30-120 กิโลเมตร

รูป 4.7 แสดงขนาดเหตุการณ์รุนแรงที่สุด (Mmax) ในรอบ 13 40 60 และ 80 ปี โดยขนาดเหตุการณ์รุนแรงที่สุดในรอบ 50 ปีจะมีหลุมอุกกาบาตสูงสุดขนาด 60 กิโลเมตร (รูป 4.7ก) เหตุการณ์รุนแรงที่สุดในรอบ 13 ปีจะมีหลุมอุกกาบาตสูงสุดขนาด 80 กิโลเมตร (รูป 4.7ข) เหตุการณ์รุนแรงที่สุดในรอบ 40 ปีจะมีหลุมอุกกาบาตสูงสุดขนาด 95 กิโลเมตร (รูป 4.7ค) เหตุการณ์รุนแรงที่สุดในรอบ 60 ปีจะมีหลุมอุกกาบาตสูงสุดขนาด 100 กิโลเมตร (รูป 4.7ง) เหตุการณ์รุนแรงที่สุดในรอบ 80 ปี ซึ่งพบว่าบริเวณที่จะมีโอกาสเกิดการตกกระทบที่รุนแรงที่สุด อยู่บริเวณทางตอนเหนือของกราฟฟ์ (Graff)

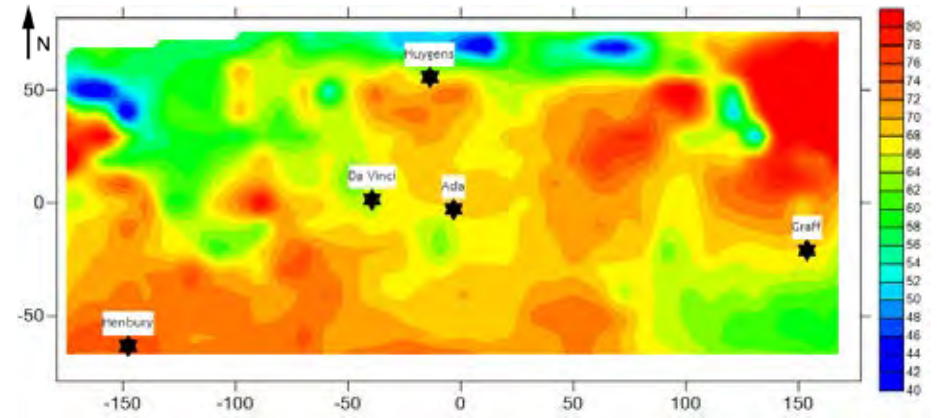
รูป 4.8 แสดงคาบอุบัติซ้ำของการตกกระทบ (RI) ขนาด 30 60 90 และ 120 กิโลเมตรสำหรับอุกกาบาตขนาด 30 กิโลเมตรจะมีคาบอุบัติซ้ำนานที่สุดเท่ากับ 7 ปี (รูป 4.8ก) อุกกาบาตขนาด 60 กิโลเมตรจะมีคาบอุบัติซ้ำนานที่สุดเท่ากับ 50 ปี (รูป 4.8ข) อุกกาบาตขนาด 90 กิโลเมตรจะมีคาบอุบัติซ้ำนานที่สุดเท่ากับ 200 ปี (รูป 4.8ค) อุกกาบาตขนาด 120 กิโลเมตรจะมีคาบอุบัติซ้ำนานที่สุดเท่ากับ 980 ปี (รูป 4.8ง) ซึ่งพบว่าบริเวณที่มีช่วงเวลาในการตกกระทบนานอยู่บริเวณทางตะวันตกเฉียงเหนือของดาวินชี (Da Vinchi) ไปจนถึงบริเวณตอนเหนือของฮอยเก้นส์ (Huygens) และทางตอนใต้ของกราฟฟ์ (Graff)

รูป 4.9 แสดงความน่าจะเป็นในการตกกระทบ (POE) ขนาด 30 60 90 และ 120 กิโลเมตรในรอบ 50 ปี ความน่าจะเป็นในการตกกระทบอุกกาบาตขนาด 30 กิโลเมตรมีค่าเท่ากับ 99.8% (รูป 4.9ก) บริเวณที่มีโอกาสในการตกกระทบของอุกกาบาตต่ำคือบริเวณเหนือและตะวันตกของจุดฮอยเก้นส์ (Huygens) ความน่าจะเป็นในการตกกระทบอุกกาบาตขนาด 60 กิโลเมตรมีค่าเท่ากับ 95% (รูป 4.9ข) ความน่าจะเป็นในการตกกระทบอุกกาบาตขนาด 90 กิโลเมตรมีค่าเท่ากับ 50% (รูป 4.9ค) และความน่าจะเป็นในการตกกระทบอุกกาบาตขนาด 120 กิโลเมตรมีค่าเท่ากับ 20% (รูป 4.9ง) บริเวณของความน่าจะเป็นในการตกกระทบอุกกาบาตขนาด 60 90 และ 120 กิโลเมตรมีโอกาสในการตกกระทบของอุกกาบาตต่ำพื้นที่บริเวณเดียวกันคือเหนือและตะวันตกของจุดฮอยเก้นส์ (Huygens) ไล่ไปทางตะวันตกเฉียงเหนือของดาวินชี (Da Vinchi) และทางตอนใต้ของกราฟฟ์ (Graff)

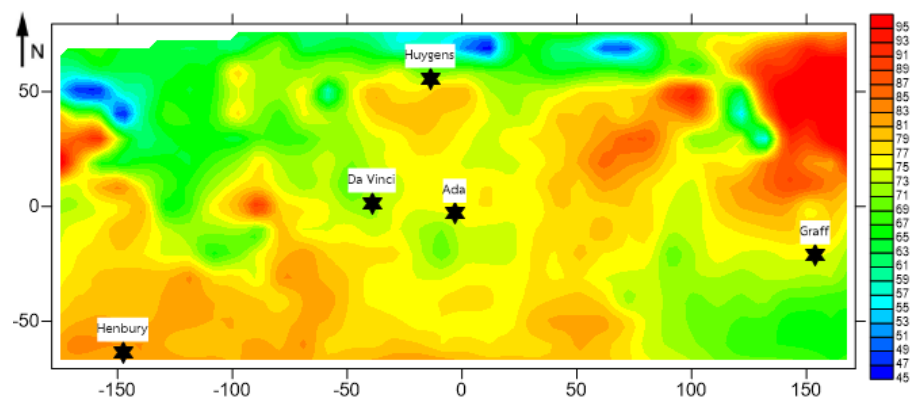
(ก)



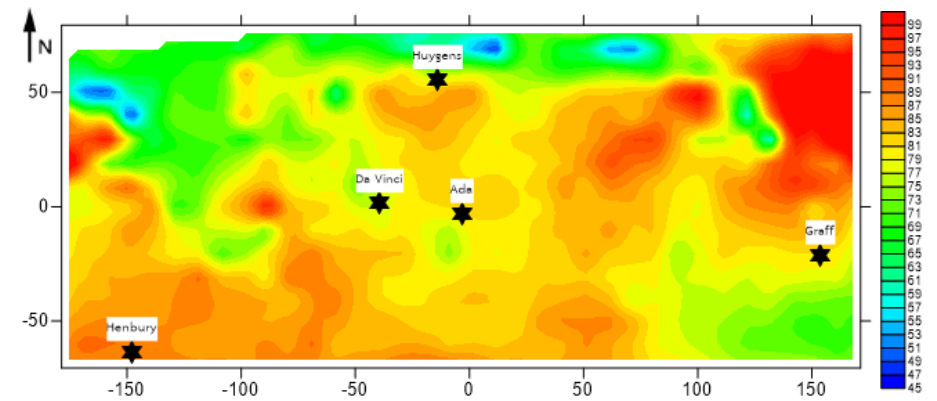
(ข)



(ค)

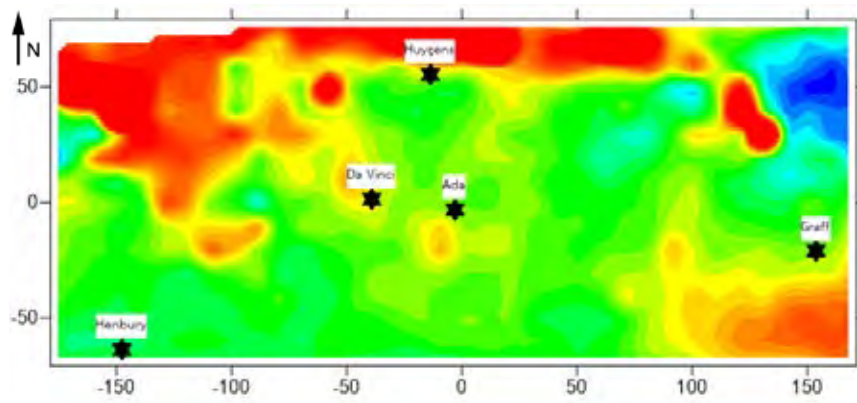


(ง)

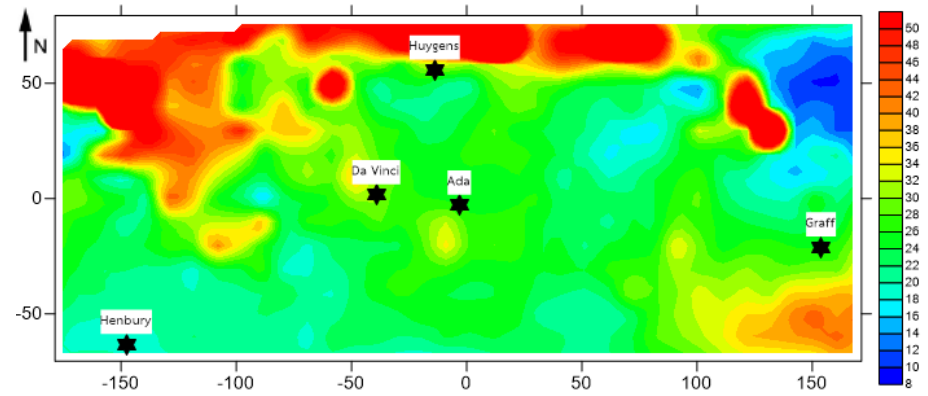


รูป 4.7 แผนที่แสดงขนาดเหตุการณ์รุนแรงที่สุด (Mmax) ในรอบ (ก) 13 ปี (ข) 40 ปี (ค) 60 ปี (ง) 80 ปี

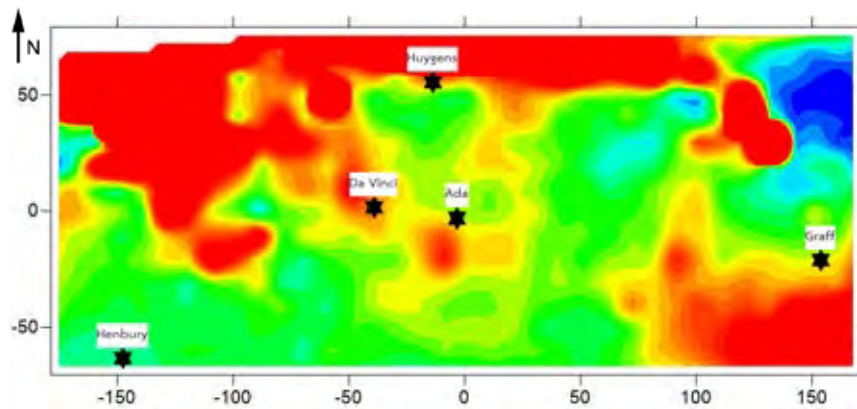
(ก)



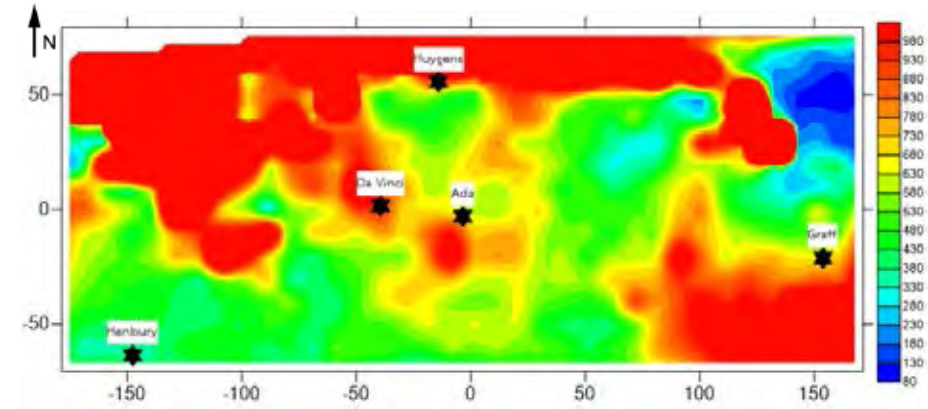
(ข)



(ค)

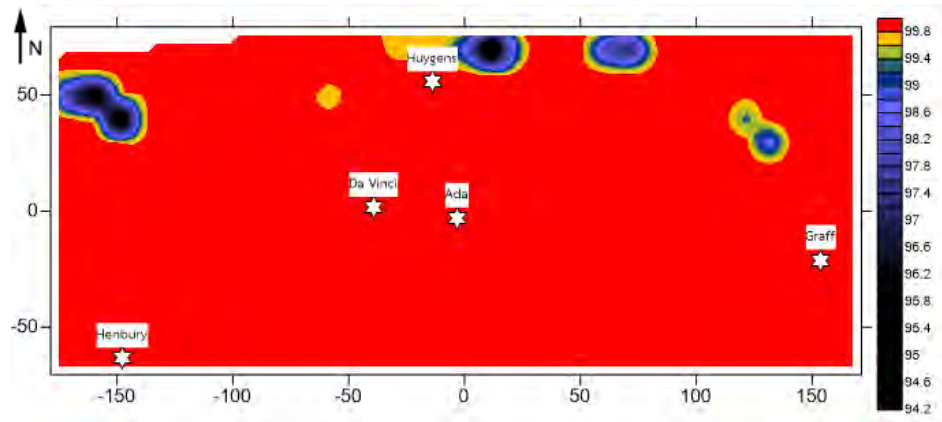


(ง)

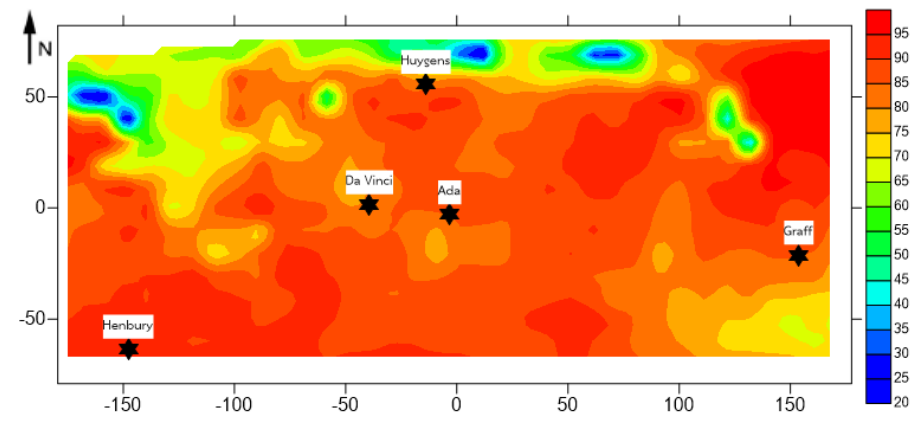


รูป 4.8 แผนที่แสดงคาบอุบัติซ้ำของการตกกระทบของอุกกาบาตขนาด (ก) 30 กิโลเมตร (ข) 60 กิโลเมตร (ค) 90 กิโลเมตร (ง) 120 กิโลเมตร

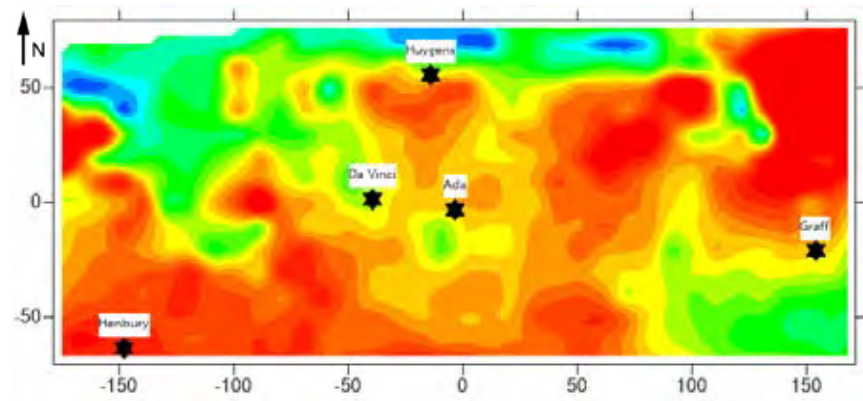
(ก)



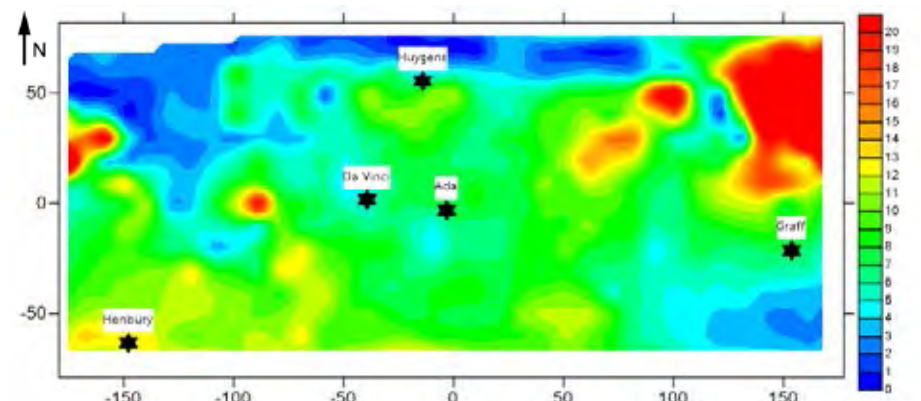
(ข)



(ค)



(ง)



รูป 4.9 แผนที่แสดงความน่าจะเป็นในการตกกระทบของอุกกาบาตในรอบ 50 ปีที่มีขนาด (ก) 30 กิโลเมตร (ข) 60 กิโลเมตร (ค) 90 กิโลเมตร (ง) 120 กิโลเมตร

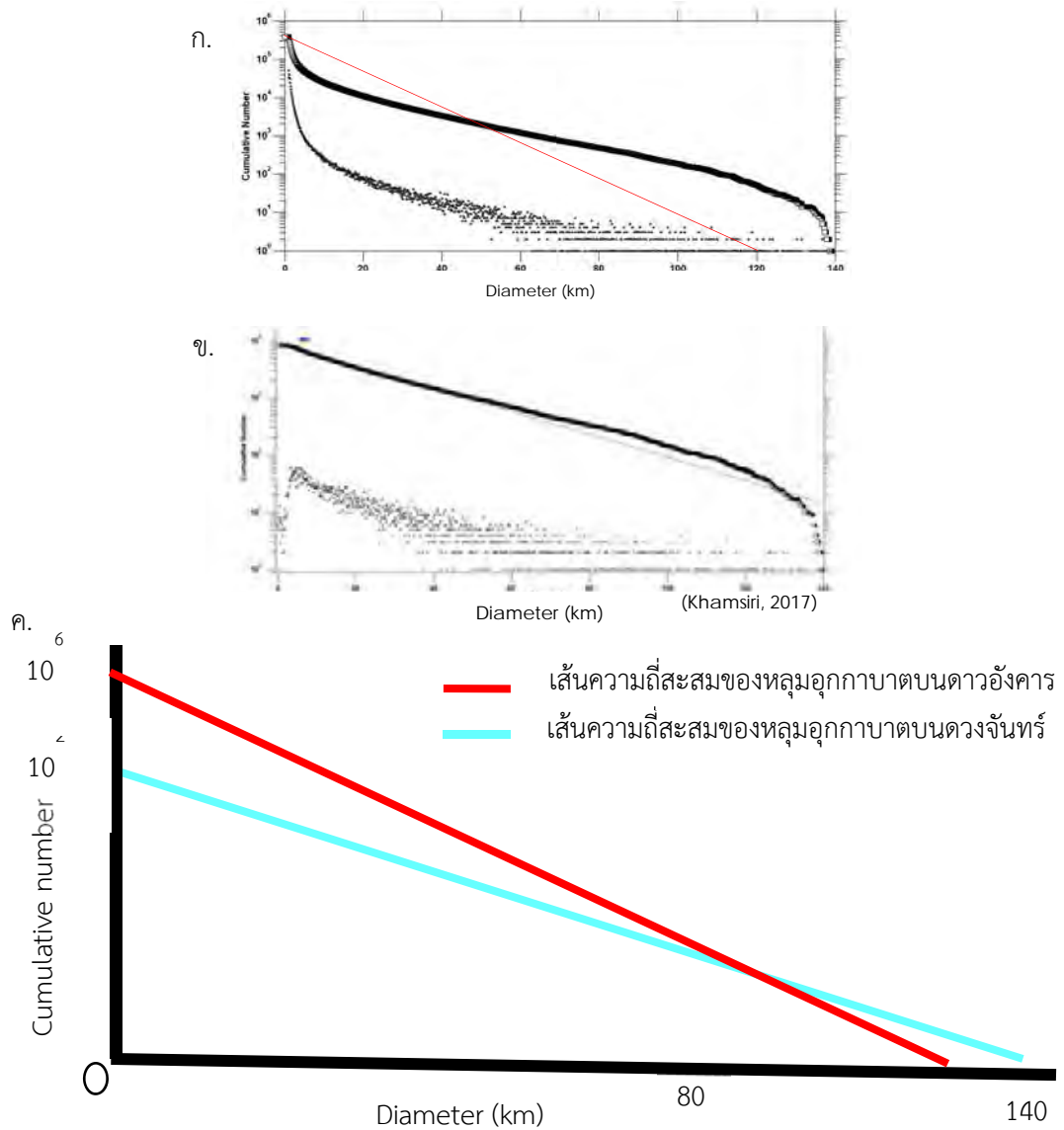
บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผล (DISCUSSION AND CONCLUSION)

ในปัจจุบันดาวอังคารเป็นดาวเคราะห์ที่มนุษย์ให้ความสนใจมากยิ่งขึ้น อาทิเมื่อปี พ.ศ.2558 องค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติหรือองค์การนาซา ประกาศถึงความสำเร็จในการค้นพบลำธารน้ำโบราณขนาดเล็ก ๆ บนดาวอังคาร จากการสำรวจของยานอวกาศมาร์ส เรคองเนสซ็องส์ ออบิเตอร์ (Mars Reconnaissance Orbiter) ที่โคจรอยู่รอบดาวเคราะห์สีแดงดวงนี้ การพบว่าบนดาวมีร่องรอยแหล่งน้ำ นักวิทยาศาสตร์จึงตั้งข้อสังเกตเพิ่มมากขึ้นว่าน่าจะมีสิ่งมีชีวิตอาศัยอยู่ และอาจกลายเป็นบ้านที่ 2 สำหรับมนุษย์ในกาลข้างหน้าก็เป็นได้ นอกจากนี้ปีที่แล้วจะมีโครงการให้คนทั่วโลกร่วมส่งชื่อตนเองไปดาวอังคารแล้ว ในช่วงเดือนพฤษภาคม ปี พ.ศ.2560 องค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติสหรัฐอเมริกาหรือองค์การนาซายังส่งหุ่นยนต์นักธรณีวิทยา (robotic geologist) ไปพร้อมกับยานอวกาศมาร์ส อินไซต์ (Mars Insight) ซึ่งเป็นภารกิจมูลค่ามหาศาลกว่า 32,000 ล้านบาท เนื่องจากดาวอังคารมีขนาดเล็กกว่าโลกและมีสภาพทางธรณีวิทยาที่ยังไม่ถูกใช้งานหนักเมื่อเทียบกับโลก อีกทั้งยังรักษาสภาพและร่องรอยการวิวัฒนาการในช่วงต้นของดวงดาวไว้ได้ นักวิทยาศาสตร์คาดว่าต้องใช้หุ่นยนต์นักธรณีวิทยาที่มีเครื่องมือชุดรูปทรงกระบอกเรียวยาวเจาะลงไปใต้ผิวดาวที่แห้งแล้งได้ลึกถึง 5 เมตรและใช้ไซสโมมิเตอร์ (seismometer) วัดการสั่นสะเทือนเพื่อตรวจจับแผ่นดินไหวบนดาวอังคาร (Marsquakes) และติดตามหุนรอบที่ไม่นั่นนอนบนแกนของดวงดาวที่จะช่วยให้เข้าใจถึงขนาดและการขึ้นรูปของแกนดวงดาวได้

จากการปรับปรุงคุณภาพข้อมูลเหตุการณ์ของหลุมอุกกาบาตบนดาวอังคาร ตั้งแต่การคัดเลือกข้อมูล การกำจัดเหตุการณ์ที่เกิดจากความผิดพลาดของการตรวจวัดและการคัดเลือกเหตุการณ์ที่มีความสมบูรณ์ของข้อมูล พบว่าข้อมูลเหตุการณ์ที่ได้มีทั้งหมด 124,515 เหตุการณ์ (ตาราง 5.1)

ข้อมูล	จำนวน เหตุการณ์	ช่วงเวลา (ปี)	ขนาดเหตุการณ์
ข้อมูลก่อนการปรับปรุง	384,343	4,500,000,000	1-1164.22
กำจัดเหตุการณ์ที่เกิดจาก ความผิดพลาดของการ ตรวจวัด	259,828	4,500,000,000	1-120
คัดเลือกเหตุการณ์ที่สมบูรณ์	124,515	4,500,000,000	4.0-8.1

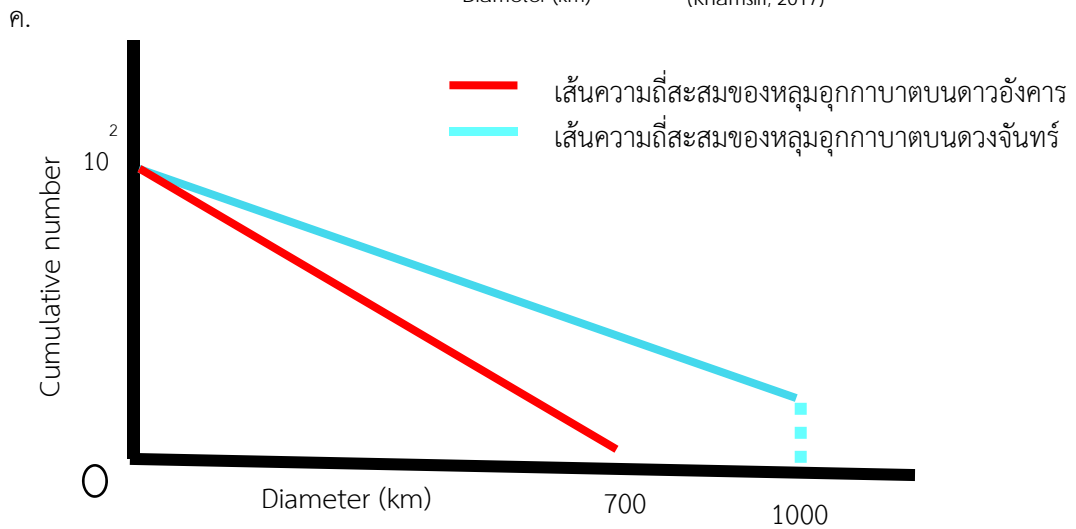
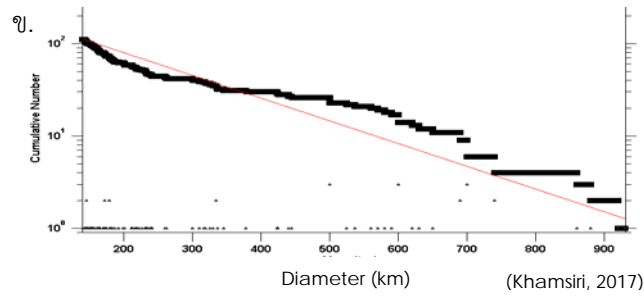
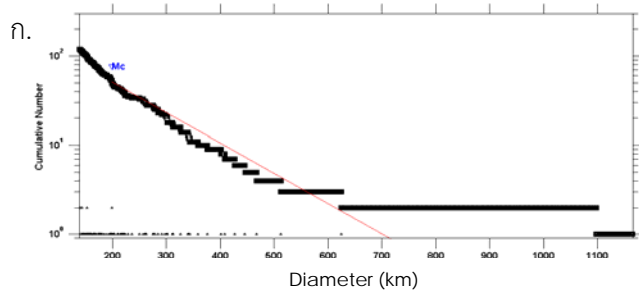
ตาราง 5.1 รายละเอียดข้อมูลเหตุการณ์ในแต่ละการปรับปรุงคุณภาพข้อมูล



รูป 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และขนาดของหลุมอุกกาบาตขนาด 1-140 กิโลเมตร

- ก. ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และขนาดของขนาดหลุมอุกกาบาตบนดาวอังคาร
- ข. ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และขนาดของขนาดหลุมอุกกาบาตบนดวงจันทร์
- ค. เส้นเทียบเส้นความถี่สะสมของหลุมอุกกาบาตบนดาวอังคารและดวงจันทร์

จากรูป 5.1 สามารถสรุปได้ว่าการตกกระทบของอุกกาบาตขนาดเล็กถึงปานกลางบนดาวอังคารมีความถี่สะสมมากกว่าดวงจันทร์ตามสมมติฐานจากที่วงโคจรของดาวอังคารมีวงโคจรใกล้กับแถบดาวเคราะห์น้อย (asteroid belt) มากกว่าดวงจันทร์ทำให้มีโอกาสที่อุกกาบาตจะชนดาวอังคารมีมากกว่า แต่ทว่าอัตราการตกกระทบของอุกกาบาตขนาดใหญ่ที่หลุมอุกกาบาตบนดวงจันทร์มีความถี่สะสมที่มากกว่าหลุมอุกกาบาตบนดาวอังคาร (รูป 5.2) ซึ่งไม่เป็นไปตามสมมติฐาน



รูป 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และขนาดของหลุมอุกกาบาตขนาด 140 กิโลเมตรขึ้นไป

- ก. ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และขนาดของขนาดหลุมอุกกาบาตบนดาวอังคาร
- ข. ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และขนาดของขนาดหลุมอุกกาบาตบนดวงจันทร์
- ค. เส้นเทียบเส้นความถี่สะสมของหลุมอุกกาบาตบนดวงจันทร์และดาวอังคาร

โดยอาจจะมาจากปัจจัยหลักอยู่ 2 ปัจจัยคือ

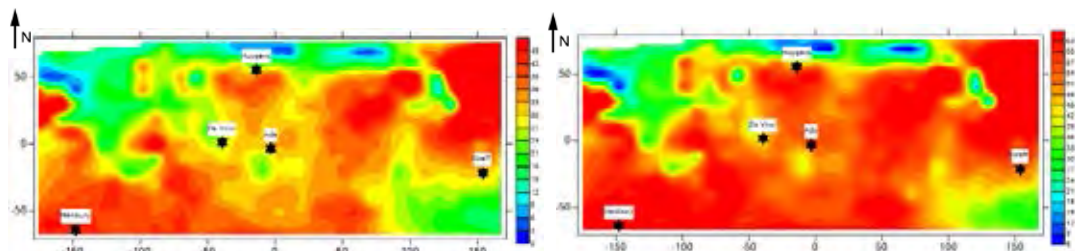
1. บริเวณที่พบหลุมอุกกาบาตขนาดใหญ่บนดวงจันทร์ส่วนใหญ่จะพบบริเวณเปลือกดวงจันทร์ด้านที่บางกว่าทำให้เวลาอุกกาบาตพุ่งชนด้านที่เปลือกบางหลุมอุกกาบาตจะมีขนาดใหญ่กว่าหลุมอุกกาบาตบนดาวอังคาร (Khamsiri, 2017)
2. ดาวอังคารเป็นดาวเคราะห์ที่มีดาวบริวาร 2 ดวงนั่นคือ โฟบอสและดีมอส

แต่ทว่าผลในเชิงพื้นที่หรือตำแหน่งนั้นไม่สามารถเปรียบเทียบระหว่างดาวอังคารกับดวงจันทร์ได้ เนื่องจากวงโคจรของดวงจันทร์และวงโคจรของดาวอังคารนั้นมีความแตกต่างกัน ดวงจันทร์เป็นดาวบริวารของโลกจึงมีปัจจัยในการโคจรรอบโลกและโคจรรอบตัวเองพร้อมกัน ทำให้อุกกาบาตส่วนใหญ่จะพุ่งชนดวงจันทร์เพียงข้างเดียว แต่ดาวอังคารนั้นมีวงโคจรหลักเป็นของตนเองและมีการหมุนรอบตัวเอง ด้วยปัจจัยนี้เองจึงไม่สามารถเปรียบเทียบอัตราตกกระทบในเชิงพื้นที่ระหว่างดวงจันทร์และดาวอังคารได้

จากการประเมินพฤติกรรมเหตุการณ์การตกกระทบของอุกกาบาตบนดาวอังคาร พบว่าผลการประเมินที่ได้สามารถให้ตัวแปรตามที่กำหนดได้ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการประเมินเฝ้าระวังเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต นอกจากนั้นยังนำไปใช้ในการประเมินในการสร้างพื้นที่ที่นักวิทยาศาสตร์สามารถลงสำรวจและขุดเจาะได้อย่างปลอดภัยมากที่สุด

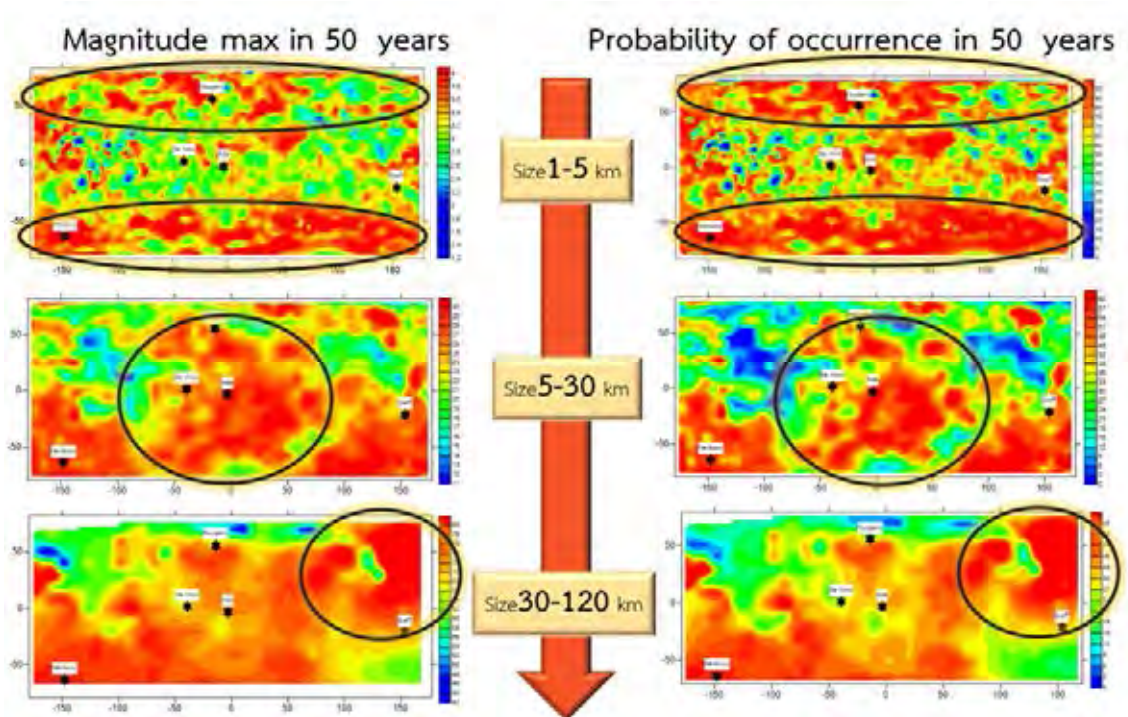
โดยจากค่า a และค่า b ในสมการของ Gutenberg-Richter relationship ก็จะสามารถนำมาคำนวณในสมการ 2.1 โดยค่าอุกกาบาตขนาดใหญ่ที่สุด (maximum size of impaction) และค่าโอกาสเกิดอุกกาบาตพุ่งชนขนาดใหญ่สุด (probability of impaction) มีลักษณะคล้ายกันคือค่าที่สูงจะอยู่บริเวณเดียวกันแต่ค่าคาบอุบัติซ้ำการชนของอุกกาบาต (return period) จะแปลผกผันเนื่องจากเป็นระยะเวลาที่เหตุการณ์จะเกิดขึ้นอีกครั้ง

จากค่าอุกกาบาตขนาดใหญ่ที่สุด (maximum size of impaction) (รูป 4.1) (รูป 4.4) (รูป 4.7) สามารถบ่งบอกได้ว่ายิ่งกำหนดช่วงเวลาที่คำนวณมากโอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ขนาดความรุนแรงสูงก็จะยิ่งมาก จากแผนที่แสดงคาบอุบัติซ้ำการชนของอุกกาบาต (รูป 4.2) (รูป 4.5) (รูป 4.8) จะสังเกตได้ว่ายิ่งขนาดเหตุการณ์ใหญ่คาบอุบัติซ้ำก็จะยิ่งยาวนานและจากแผนที่ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ (รูป 4.3) (รูป 4.6) (รูป 4.9) ที่เกิดขึ้นในรอบปีและในช่วงระยะเวลาเดียวกันจะสังเกตได้ว่ายิ่งขนาดเหตุการณ์ที่ใหญ่โอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ที่รุนแรงก็ยิ่งมากขึ้น



รูป 5.3 แผนที่แสดงการกระจายตัวของโอกาสในการชนของอุกกาบาตบนดาวอังคารขนาด 90 กิโลเมตร ในช่วงเวลา 50 ปีและ 100 ปี

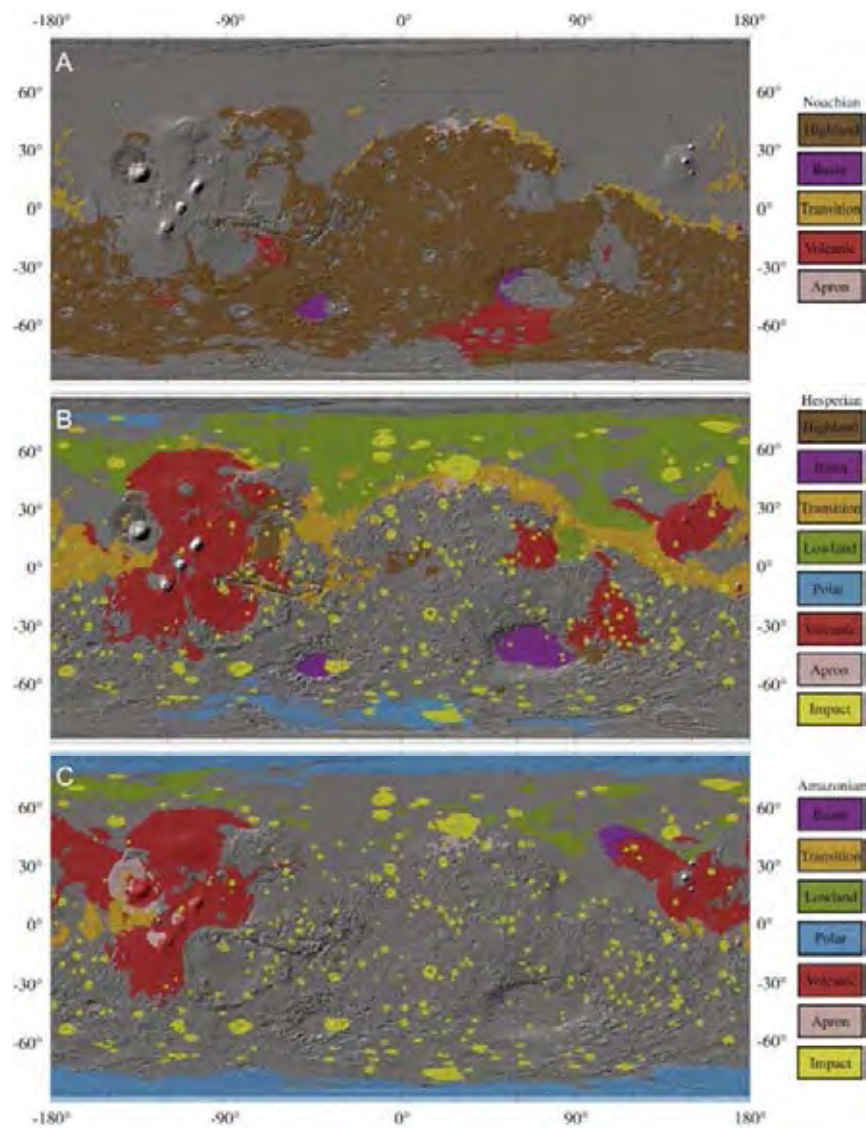
จากรูป 5.3 กำหนดขนาดเหตุการณ์เดียวกันแต่ในช่วงระยะเวลาที่ไม่เท่ากันจะสังเกตได้ว่ายิ่งกำหนดช่วงระยะเวลาที่ยาวนานในการคำนวณค่าความรุนแรงก็จะยิ่งมากขึ้นค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์ความรุนแรงก็จะยิ่งมากขึ้น



รูป 5.4 แผนที่แสดงการกระจายตัวของขนาดอุกกาบาตขนาดใหญ่ที่สุดและโอกาสในการชนของอุกกาบาตบนดาวอังคารในแต่ละขนาด

จากรูปค่าอุกกาบาตขนาดใหญ่ที่สุด (maximum size of impaction) และค่าโอกาสเกิดอุกกาบาตพุ่งชนขนาดใหญ่ที่สุด (probability of impaction) จะสังเกตได้ว่าในช่วงลูกอุกกาบาตขนาด 1-5 กิโลเมตรจะมีแนวโน้มหรือลักษณะการชนคือทางตอนเหนือและทางตอนใต้ของเอต้า (Ada) และดาวินชี (Da Vinci) และจากเหตุการณ์ขนาดกลางขนาด 5-30 กิโลเมตร จะสังเกตได้ว่าค่าอุกกาบาตขนาดใหญ่ที่สุดและค่าโอกาสเกิดอุกกาบาตพุ่งชนขนาดใหญ่ที่สุดในช่วงเขตบริเวณเอต้า (Ada) และบริเวณดาวินชี (Da Vinci) และทางตอนใต้ของกราฟฟ์ (Graff) จะมีความรุนแรงของเหตุการณ์ค่อนข้างมาก ในส่วนของหลุมอุกกาบาตขนาดใหญ่นั้นบริเวณที่เกิดเหตุการณ์มีลักษณะการชนแล้วเกิดเหตุการณ์ความรุนแรงขนาดใหญ่คือบริเวณตอนเหนือของกราฟฟ์ (Graff) และบริเวณเฮนบุรี (Henbury) และมีบริเวณทางใต้ของฮอยเกินส์ (Huygens) ที่มีความรุนแรงเกิดขึ้นเป็นวงแคบ ๆ

แต่ถ้าสังเกตจากรูปแล้วบริเวณทางตะวันตกเฉียงเหนือของดาวินชี (Da Vinci) นั้นจะสังเกตได้ว่าค่าของทุก ๆ ข้อมูลจะมีค่าต่ำกว่าหรือสูงกว่ามาตรฐานสืบเนื่องจากบริเวณพื้นที่นั้นตามงานวิจัยของทานากะและคณะ (Tanaka et al., 2014) ได้ตรวจสอบหินที่เก็บมาจากแต่ละพื้นที่และการวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของหลุมอุกกาบาตที่บนดาวอังคารได้ระบุไว้ว่าเป็นบริเวณที่เป็นหินอัคนี (Volcanic) ปกคลุมเพราะฉะนั้นในบริเวณตะวันตกเฉียงเหนือของดาวินชี (Da Vinci) อาจจะมีการระเบิดของภูเขาไฟ (Volcanic activity) อยู่ทำให้ข้อมูลที่เก็บในบริเวณตะวันตกเฉียงเหนือของดาวินชี (Da Vinci) จึงไม่สามารถแสดงถึงลักษณะการตกกระทบของอุกกาบาตในพื้นที่จริงได้



รูป 5.5 แผนที่ธรณีวิทยาของดาวอังคาร

- A. ยุค Noachian
- B. ยุค Hesperian
- C. ยุค Amazonian

เอกสารอ้างอิง (REFERENCES)

- Gupta, I.D. (2002). The State of the Art in Seismic Hazard Analysis. ISET J. Earthquake Technol. 39(428), 311-346.
- Gutenberg, B. and Richter C. F. (1944). Frequency of earthquakes in California. Bull. Seismol. Soc. Am., 34, 185-188.
- Hoffman J.H., Republished from the pages of National Geographic magazine, The Permian Extinction—When Life Nearly came to an End [Internet]. C200 Available from: <https://www.nationalgeographic.com/science/prehistoric-world/permian-extinction/>
- International Astronomical Union (2012). Nomenclature Search Results. Retrieved April 8 2018, from IAU: Working Group for Planetary System Nomenclature [Internet]
Web site: <https://planetarynames.wr.usgs.gov/nomenclature/SearchResults>
- Pailoplee S., Sugiyama Y., Charusiri P. (2009). Deterministic and probabilistic seismic hazard analyses in Thailand and adjacent areas using active fault data. Earth Planets Space 61:1313–1325
- Pailoplee S., Choowong M. (2013). Probabilities of earthquake occurrences in Mainland South East Asia. Arab J Geosci 6:4993–5006
- Pailoplee S. (2014). Earthquake hazard of dams along the Mekong mainstream. Nat Hazards Natural Hazards: 1813-1827.
- Pailoplee S., Palasri C. (2014). CU-PSHA: A MATLAB Software for Probabilistic Seismic Hazard Analysis. Journal of Earthquake and Tsunami: Vol. 8, No. 4 (July 1 2014)
- Wiemer, S. 2001. A software package to analyze seismicity: ZMAP. Seismological Research Letters 72(2): pp.373-382.
- Robbins, S. J., and Hynek B. M. (2012). A new global database of Mars impact craters ≥ 1 km: Database creation, properties, and parameters, Journal of Geophysical Research, 117, E05004, doi: 10.1029/2011JE003966, 2012
- Tanaka K.L., Robbins S.J., Fortezzo C.M., Skinner J.A., Hare T.M. (2014). The digital global geologic map of Mars: Chronostratigraphic ages, topographic and crater morphologic characteristics, and updated resurfacing history, Planetary and Space Science 95: 11–24

WIGNALL P.B., and BOND D.P.G., The end-Triassic and Early Jurassic mass extinction records in the British Isles. *Proceedings of the Geologists' Association* 2008; 119:73-84.

Yadav, R. B. S., Tripathi J. N., Shanker D., Rastogi B. K., Das M. C., and Kumar V. (2011). Probabilities for the occurrences of medium to large earthquakes in northeast India and adjoining region. *Nat. Hazards.*, 56, 145-167, doi: 10.1007/s11069-010-9557-y.

