

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

火星 HiRISE 數值地形模型之產製及應用於火星地表探測車 定位之研究 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 99-2218-E-004-001-
執行期間：99年03月01日至100年01月31日
執行單位：國立政治大學地政學系

計畫主持人：林士淵

計畫參與人員：大專生-兼任助理人員：張士亮

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 100 年 04 月 15 日

火星 HiRISE 數值地形模型之產製
及應用於火星地表探測車定位之研究

計畫類別：■ 個別型計畫 □ 整合型計畫

計畫編號：NSC 99 — 2218 — E — 004 — 001 —

執行期間：99 年 03 月 01 日至 100 年 1 月 31 日

執行機構及系所：國立政治大學地政學系

計畫主持人：林士淵

共同主持人：

計畫參與人員：張士亮

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)：■ 精簡報告 □ 完整報告

本計畫除繳交成果報告外，另須繳交以下出國心得報告：

- 赴國外出差或研習心得報告
- 赴大陸地區出差或研習心得報告
- 出席國際學術會議心得報告
- 國際合作研究計畫國外研究報告

處理方式：除列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

□ 涉及專利或其他智慧財產權，□ 一年 □ 二年後可公開查詢

中 華 民 國 100 年 04 月 12 日

一、前言

(一) 研究背景與文獻回顧

火星地形資料為以上所列火星探勘工作的基礎，一旦能夠掌握火星的地表情形，便可透過地形分析以及地貌判讀等工作，分析火星曾經發生的地表活動，並可進一步研究推論火星上的氣候變遷與太空生物演化等重要課題。現今唯一的火星全球地形模型是利用 MOLA 雷射測高儀 (Mars Orbiter Laser Altimeter) 所製成 (Smith et al., 1999; 2001)。MOLA 搭載於 Mars Global Surveyor (MGS) 衛星，自 1996 年 11 月發射後便開始環繞火星，利用四年半時間持續進行雷射測高作業，最後再對所測得的雷射測高資料進行處理，於 2001 年 6 月製成涵蓋火星全球，高程精度達 1 公尺的數值地形模型 (Neumann et al., 2001)。由於 MOLA DTM 具備涵蓋面積廣且精度高等特性，此地表模型常作為火星地形資料的參考基準 (Heipke et al., 2007; Kim and Muller, 2009)，亦為進行火星表面各類地形、地貌分析常採用的工具 (Barnett and Nimmo, 2002; Hiesinger and Head, 2002; Chapman, 2003)。

目前仍在火星上空運行的衛星有 Mars Express 以及 Mars Reconnaissance Orbiter (MRO)，裝載在這二顆衛星上可拍攝火星地表影像的光學感測器，為製成火星數值地形模型的另一種來源。其中，Mars Express 衛星上的 High Resolution Stereo Camera (HRSC) 像機，為德國太空中心 (German Aerospace Centre, DLR) 所設計建造，其主要任務為拍攝涵蓋火星全球表面的影像以及火星製圖工作 (Albertz et al., 2005; Scholten et al., 2005)，影像的空間解析度為每像元 12.5–50 公尺，於 2003 年開始正式運作後，至 2009 年 10 月，影像解析度優於 40 公尺的 HRSC 影像全球涵蓋率已達 66.6% (Jaumann, 2008)。值得一提的是，HRSC 是第一部以攝影測量為概念設計的九線式數位掃描儀，採用推掃方式獲取火星表面影像，由於飛行軌道經過的區域皆有重疊影像，因此可利用攝影測量技術，將所攝得之影像製成數值地形模型。DLR 已建立一套處理軟體 Video Image Communication and Retrieval (VICAR)，利用此軟體，可實現以系統化方式製作 HRSC 數值地形模型與正射影像 (Scholten et al., 2005; Gwinner et al., 2008)，目前已完成的部分佔火星全球面積 31.6% (Scholten, 2009)。除了 DLR 之外，世界各國許多研究單位 (例如：美國普渡大學 (Purdue University)、美國地質調查局 (United State Geology Survey, USGS)、英國倫敦大學學院 (University College London, UCL) 等)，也進行各種可能提高 HRSC DTM 準確度的研究 (Heipke et al., 2007)。若使用 HRSC 影像為來源，一般可製成空間解析度達 30–75 公尺的數值地形模型 (Albertz et al., 2005; Scholten et al., 2005; Gwinner et al., 2007)。此 HRSC 資料已廣泛利用於火星相關議題的研究，例如火星表面渠道網絡的分析 (Ansan et al., 2008)，火星上火山活動在空間與時間方面的演化 (Werner, 2009)，多時期洪水發生年代的推論 (Warner et al., 2009b) 以及小範圍地區氣候變遷的情形 (Warner et al., 2009a) 等。

為了能更清楚辨識火星表面的地形、地貌特徵，NASA 發射的 MRO 衛星上裝設一部能攝得更高解析度影像的 High Resolution Imaging Science Experiment (HiRISE) 像機 (McEwen et al., 2007)，針對有興趣的研究地區，利用衛星重複經過該區域的特性，控制 HiRISE 像機以拍攝立體像對 (影像解析度為每像元 25 公分)，接著透過攝影測量解析運算，可獲得該區域之數值地形模型與正射影像。針對 HiRISE 影像之處理方法，目前美國地質調查局太空地質小組 (Astrogeology Group) 正在研究開發一套可系統性處理 HiRISE 影像的系統 (Kirk et al., 2008)，該系統建議採用二段式處理流程，首先是利用 USGS 自行編寫的軟體 Integrated Software for Imagers and Spectrometers (ISIS) 對 HiRISE 影像進行前期處理 (Gaddis et al., 1997; Anderson et al., 2004)，接著將處理後之影像輸入商業攝影測量軟體 SOCET SET，執行後續立體影像外方外判定、影像匹配等工作，最後可製作出地面解析度達 1 公尺之數值地形模型。除了 USGS 所提供的方法，Kim and Muller (2009) 以及 Li et al. (2008) 也各自提出採用有理函數模式 (Rational Function Model) 以及嚴密感測器模式 (Rigorous Sensor Model) 製作高解析度 HiRISE DTM，

目前可達成之最佳地面解析度為 70 公分 (Kim and Muller, 2009)。由於 HiRISE DTM 具備高解析度的特性，可提供地表詳細的地形資訊，因此對於未來登陸艇之最適降落地點的評估選擇，此資料具有相當重要的參考價值，於 2008 年 5 月在火星北極表面登陸的 NASA 鳳凰號 (Phoenix)，其登陸位置的選定便是參考 HiRISE DTM 資料 (Kirk et al., 2008)。此外，HiRISE DTM 亦應用於火星地表小規模公尺等級的峽谷地質研究，成果可參見 Pelletier et al. (2008)。

除了衛星影像的持續拍攝之外，於 2004 年 1 月成功降落在火星地表的二台探測車 Mars Exploration Rovers (簡稱 MER，分別命名為 Opportunity 以及 Spirit)，至今也仍在運作中。MER 的主要任務為火星地表土壤以及岩石樣本的採集，透過探測車上配置的全景立體像機 (Panoramic camera) 所拍攝的影像，以及機械手臂等儀器蒐集所需地表資料，可進一步推論在火星的歷史中，水在火星地表曾發生的活動。事實上，此二台探測車在安全著陸後，便開始對著陸地點附近的地理環境進行觀測，由傳回的資料中發現，該地區的土壤由玄武岩的細砂與不同大小的赤鐵礦顆粒和碎片構成，而某些地區可發現豐富的硫磺與硫酸鹽，綜合這些資訊，再配合地面沈積物的判釋，專家們研判水曾經在此地區與地表發生作用 (Squyres et al., 2004)。此外，全景像機亦可拍攝多光譜影像，由影像中紀錄的光譜特性可判斷地表物質的組成，例如由 Opportunity 探測車在 Meridian 平原攝得之多光譜影像，發現該地區的土壤、岩石光譜特性，與具有矽酸鹽的輝石與橄欖石相同，而某些較平滑地區露出地面物質的光譜反應，則說明了含鐵的氧化物或是氫氧化物的存在 (Bell III et al., 2004)。除了藉由 MER 提供之地表資料判斷該地區的地質現象之外，亦可由拍攝到的地貌現象 (例如由強風造成的波紋)，解釋強風與火星表面侵蝕現象之間的交互影響關係 (Sullivan et al., 2007)。

(二) 研究目的

由以上敘述及文獻的整理可知，大部分的火星探勘工作皆需要準確之火星地形資料提供協助，因此對於高解析度之火星數值地形模型有相當大的需求。由於 MOLA 火星全球資料已經製作完成，且 HRSC 資料的處理已趨成熟，本計畫之首要目的將針對 HiRISE 影像，採用 USGS 建議的製作流程，建置 HiRISE 影像處理系統，製作正確且高解析度之數值地形模型以及正射影像，可提供國內外專家學者相關研究使用。

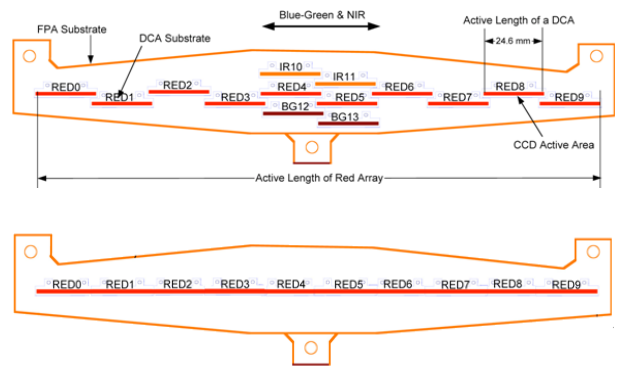
本計畫的另一個研究重點為衛載 HiRISE DTM 與地面 MER 資料的整合。利用已完成對位之高解析度 HiRISE 數值地形模型，配合地面探測車 MER 所拍攝的影像，採用自率光束平差法 (Self-calibrating bundle adjustment)，定出 MER 像機在拍攝當時於火星表面的位置以及方位 (Cooper and Robson, 2001; Fryer, 2001)。如此，即可繪製出 MER 的每日前進路線以及每組影像拍攝的位置。

二、研究方法

本計畫的首要目標為建置火星 HiRISE 衛星影像處理系統，完成後可依計畫需求自行製作火星數值地形模型以及正射影像。此系統將採用美國地質調查局所建議的二段式處理流程 (Kirk et al., 2008)，首先是利用 USGS 自行編寫的 ISIS 軟體對 HiRISE 影像進行前期處理，接著將處理後之影像輸入商業攝影測量軟體 SOCET SET，執行後續立體影像外方外判定、影像匹配等工作，最後製成高解析度數值地形模型。由於 HiRISE 像機的構造比較特殊，因此以下將說明 HiRISE 像機及影像前期處理的流程。基本上 HiRISE 為推掃式掃描儀器，但是像機內所採用的掃描元件，並非一般可獲取較大航寬的單一 CCD 線陣列，而是由十四個較小尺寸的線陣列 (2048 個像元) 組成；此外，這些線陣列可分別獲取不同波段之影像，包括紅、紅外以及藍綠波段，不同波段 CCD 線陣列的數量與排列方式如圖一所示。

針對 HiRISE 像機的特殊設計，HiRISE 影像前期處理的主要工作便是組合所需要的波段資料，構成一完整航寬的影像，以最常用的紅色波段資料為例，將十個紅色波段影像組合後，可得一影像寬度

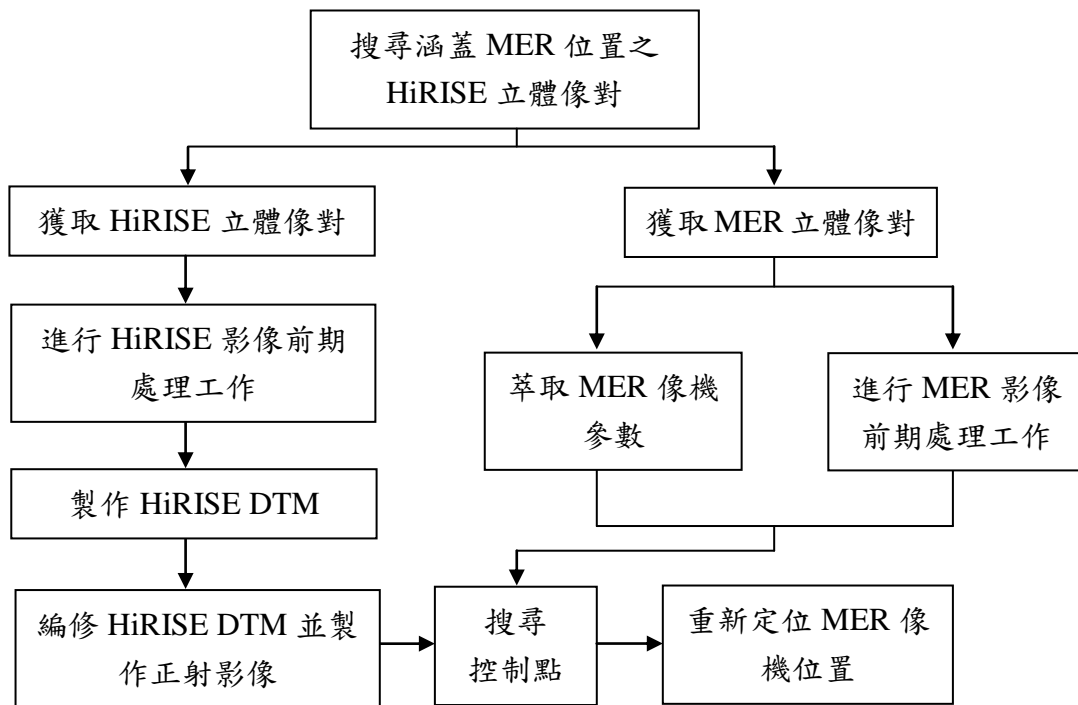
為 20,000 像元之 HiRISE 影像（如圖一（下）所示）。除 CCD 影像重組之外，影像之輻射糾正為另一重要工作，輻射糾正主要處理在重新組合 CCD 影像的過程中，鄰近影像重疊區域的色調調整，以及影像中出現的各類雜訊等問題。經 CCD 影像重組並完成輻射糾正後之成果，將輸入 SOCET SET 軟體，作為後續攝影測量解析處理所需之原始影像。



圖一、HiRISE 像機之構造 (McEwen et al., 2007)。

本研究下一階段的目標為整合 HiRISE DTM 與 MER 影像，即利用 HiRISE DTM 進行 MER 像機的定位與拍攝方位解算。此項工作將採用自率光束平差法，在 MER 影像以及 MER 影像所涵蓋的物空間中，找到足夠數量的共同特徵點作為控制，以求解像機之內方位以及外方位參數。根據此原則，本研究首先選取目標 MER 影像，確定後除了由影像的檔頭資料中萃取 MER 像機以及相關影像參數之外，同時亦利用 ISIS 軟體進行影像的前期處理，以獲得自率光束平差計算中所需之影像。

影像所涵蓋的物空間將由 HiRISE 數值地形模型為基礎模擬製作，因此第一個步驟為搜尋並下載涵蓋 MER 所在位置之 HiRISE 立體像對，再將此像對輸入本研究建置之處理系統，製成高解析度 HiRISE 數值地形模型以及正射影像，並將 HiRISE 正射影像數貼於數值地形模型表面，以提高模型之真實程度。第二個步驟則是在 MER 影像的檔頭資料中取得拍攝影像當時像機在火星表面的位置，依據此資訊在已製成之 HiRISE 數值地形模型中找到對應的點位之後，模擬製作出該點位（即 MER 像機所在位置）為中心全周圍 360°之三維模型。接著便在 MER 影像以及 MER 像機拍攝視角之物空間中，選取共同點作為控制，最後再利用共線條件的最小二乘法計算，求得 MER 像機之外方位參數；此外，由於影像檔頭資料中紀錄的探測車位置是利用雙向 Doppler 無線電定位技術初步定位，對於位置精度的提高仍有改善空間 (Li et al., 2005)，因此，本研究透過自率光束平差，同時求解 MER 像機之外方位參數，可對 MER 像機重新定位。根據前述方法，本研究之進行步驟如圖二所示：

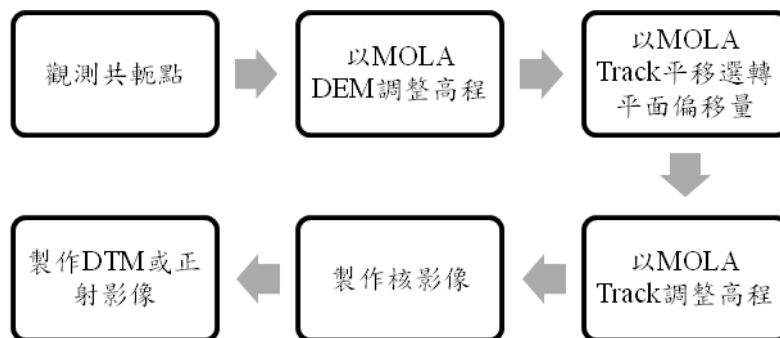


圖二、研究流程圖。

三、研究成果

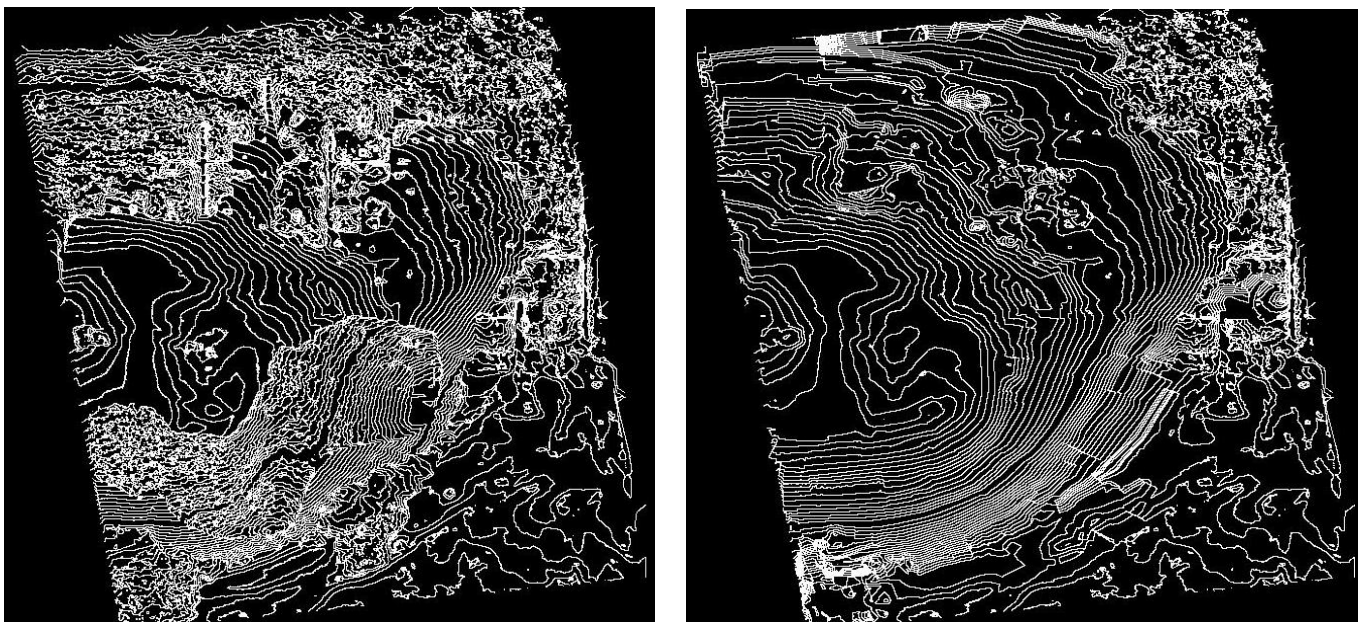
(一) HiRISE DTM 處理

USGS 利用航空攝影測量之原理進行 HiRISE DTM 之處理，以 USGS 自行編寫的 ISIS 軟體對 HiRISE 影像進行前期處理，接著將處理後之影像輸入商業攝影測量軟體 SOCET SET，以航測處理方法製成高解析度數值地形模型。其製作概念與地球衛星像對之處理相當接近，然而由於在火星地表上控制點的佈設與選取仍有限制，因此此項處理便改採用 MOLA 資料作為控制的依據。MOLA 包括二項資料型式：MOLA Track 以及 MOLA DEM。MOLA Track 為 MOLA 利用雷射光反射測距並搭配 MGS 周期運動所真實測得的地表離散點位資料；而 MOLA DEM 為依據 MOLA Track 的點位經過內差而得到的規則網格資料，上述二者為無法人工實地測量地形的火星提供了最精準的地表資訊，因此此二項資料在 USGS 提出的方法中便作為平面控制及高程控制的依據。其基本工作流程如圖三所示：

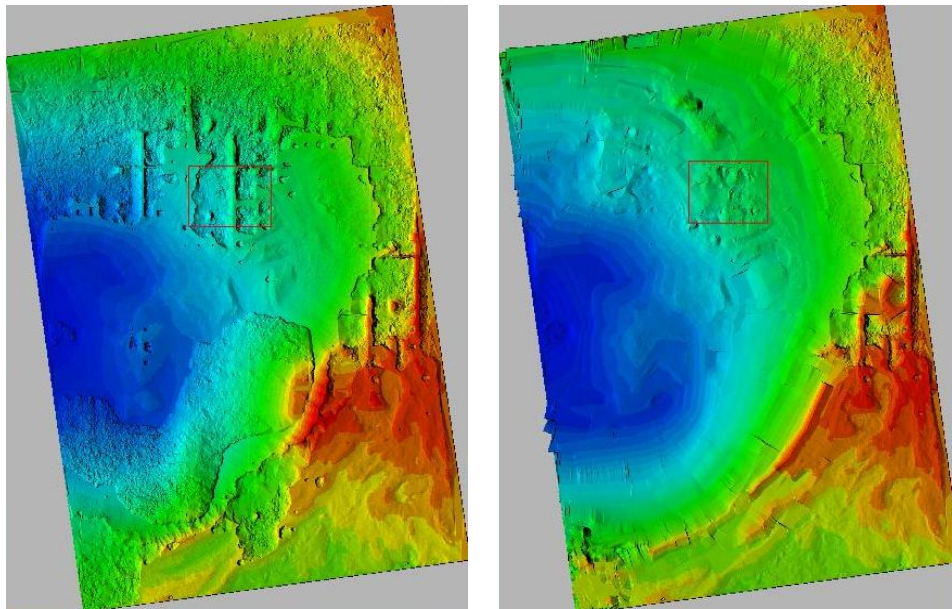


圖三、HiRISE DTM 製作流程。

首先，在立體像對中觀測足夠且分布均勻的共軌點，建立其像對的相對方位；再者，將較靠近 MOLA DEM 的共軌點轉為高程控制點並輸入 MOLA DEM 的高程值；接下來人工觀測像對和 MOLA Track 的平移量並以之作調整；最後針對數個較靠近特徵點（例如谷底或丘峰）的控制點（或共軌點）以 MOLA Track 做最後一次的高程控制，便進入核影像製作。之後再以核影像進行影像匹配，以製作 DTM 以及正射影像。最後進入地形編修作業，下圖四與五分別以等高線與 Hill-shaded DTM 表示編修前後之地形成果。



圖四、編修前（左像）後（右像）之 HiRISE DTM（等高線型式表示）。



圖五、編修前（左像）後（右像）之 HiRISE Hill-shaded DTM。

（二）MER 定位

MER Mission 全名為 Mar Exploration Rover Mission，是 NASA 於 2003 年進行的另一項火星探測計畫，主要任務為觀測地形、氣候以及生命跡象，並為將來人工登陸做準備。主要工作是藉由發射兩台備有各種設備的火星探測車—精神號（Spirit）及機會號（Opportunity），近距離蒐集火星地表資料，其中上面裝載了數台不同功能的攝影機，如下頁表一所示：

表一、裝載於火星探測車之攝影機

| 相機種類 | 特性 |
|------------------------------------|---|
| Hazard Avoidance Cameras (Hazcams) | <ol style="list-style-type: none"> 1. Black-and-white 2. A wide field of view 120 degrees 3. Safeguard |
| Navigation Cameras (Navcams) | <ol style="list-style-type: none"> 1. Black-and-white 2. 45-degree field of view 3. Stereopair of cameras |
| Panoramic Cameras (Pancams) | <ol style="list-style-type: none"> 1. Color 2. Multispectral images 3. Stereopair of cameras 4. Filters |
| Microscopic Imager | <ol style="list-style-type: none"> 1. Extreme close-up pictures of rocks and soil |

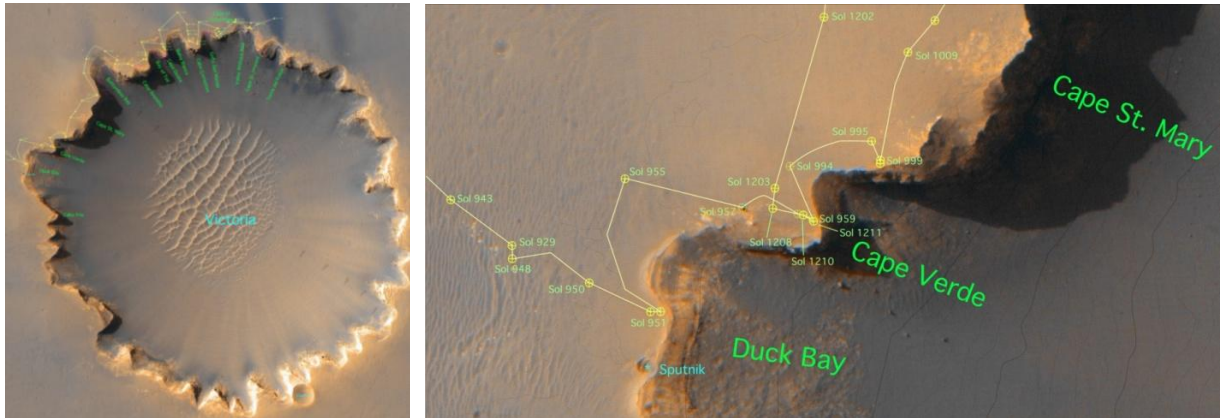
其中 Navcams 和 Hazcams 為導航及避險攝影機；Pancams 為多光譜攝影機，且附有各種濾鏡可以拍攝不同波段之影像；最後 Microscopic Imager 用於近距離觀測識別岩石及土壤，並檢測其形成過程。由於 Navcams 為定點且為框幅式拍攝，不像其餘攝影機為推掃式拍攝或是取景過小，故在研究中選擇以 Navcams 所拍攝之影像為定位資料，下表二為 Navcams 的相機資料。

表二、Navcams 相機資料

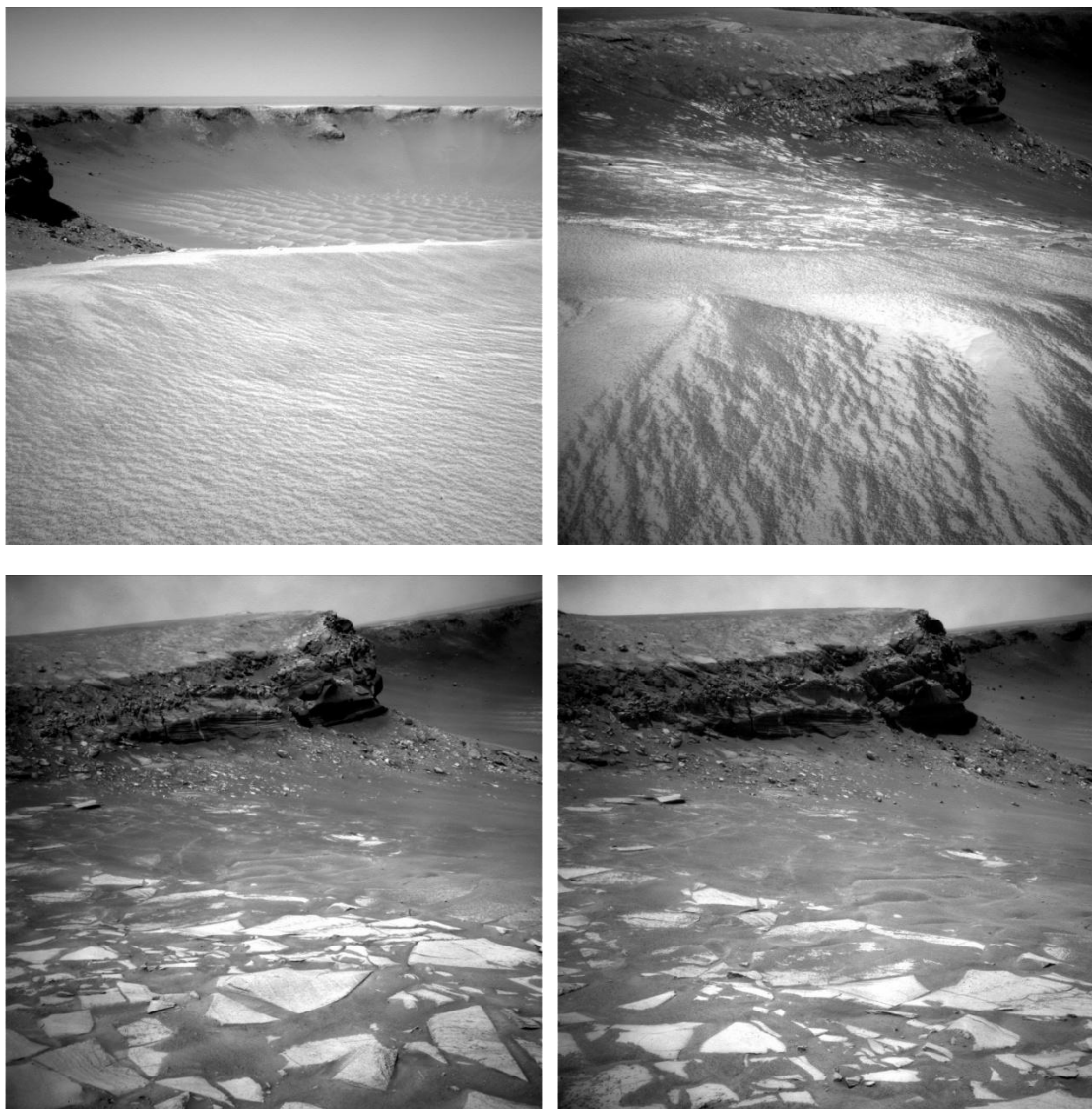
| | | | |
|--------------|-------------------|-----------------|---------------------------|
| Focal Length | 14.67mm | Principal Point | 6.145mm* 6.145mm |
| Format Size | 12.29mm * 12.29mm | Image Size | 1024 pixels * 1024 pixels |

1、研究區域選擇

MER Mission 的官方網頁上不僅提供探測車每個火星日所拍攝的影像，也包括探測車的行走路線，據此，本計畫依網頁上所記錄的探測車路徑，選定 Victoria 隕石坑之 Duck Bay 及 Cape Verde 區域（如圖六），並挑選由機會號於 Duck Bay 附近不同位置所記錄的 Cape Verde 影像各一張進行實驗，其影像如下頁圖七所示。



圖六、Victoria 隕石坑全景（左像）以及 Duck Bay 與 Cape Verde 放大圖（右像）。



圖七、取自第 951（左上）、1289（右上）、1329（左下）、1402（右下）火星日（Sol）之 MER 影像。

2、控制點的選取

因為 MER 影像為近景攝影影像，而 HiRISE 影像為正射影像，故在 HiRISE 影像選擇控制點的時候，盡可能選取影像上位於高處岩石的平面，以搭配 MER 影像上的可視度。

本計畫利用 ENVI 軟體查詢 HiRISE 影像資訊。首先，將 Victoria 隕石坑的 HiRISE DTM 及正射影像同時匯入 ENVI 進行套合，接著以人工方式觀察適當的控制點，並用 Cursor Location/Value 功能記錄三維坐標，選取四個控制點的位置如圖八所示，其坐標值列於表三。

表三、HiRISE 影像中控制點坐標

| | X (m) | Y (m) | Z (m) |
|----|-----------|--------------|----------|
| 01 | -89.5492 | -121461.5654 | -1377.87 |
| 02 | -95.6203 | -121463.5891 | -1379.66 |
| 03 | -98.6559 | -121463.5891 | -1380.85 |
| 04 | -102.7033 | -121462.5772 | -1379.47 |

3、解算曝光站之外方位參數

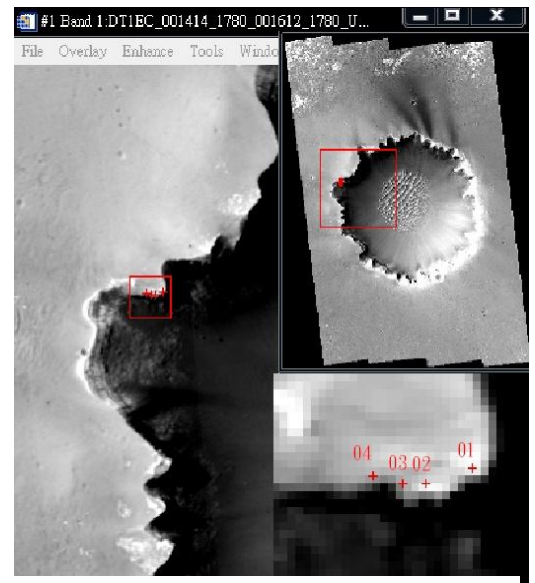
將 NacCam 像機資訊、已選定四張 MER 影像以及上述之控制點資料輸入 Photomodeler 軟體，接著在四張影像中點選控制點並設立連結，最後解算得到曝光站之三維坐標及旋轉參數（參見表四），接著將此組參數輸出成 DXF 檔，再以 ENVI 軟體觀看其曝光站位置，如圖九所示。

表四、解算之外方位參數

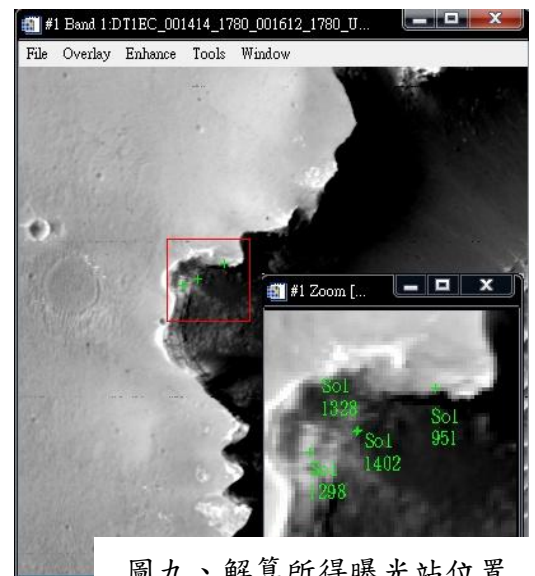
| | Sol 591 | Sol 1289 | Sol 1329 | Sol 1402 |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| X (m) | -12.4610 | -136.2862 | -123.8215 | -123.6218 |
| Y (m) | -121409.9622 | -121479.8042 | -121474.6621 | -121474.2905 |
| Z (m) | -1331.2359 | -1389.4273 | -1388.1053 | -1387.8007 |
| Ω (d) | -87.3844 | 95.0886 | 97.4314 | 98.1272 |
| Φ (d) | 55.1073 | -46.2100 | -51.3754 | -49.9597 |
| K (d) | -59.8728 | -29.9693 | -36.1429 | -31.4220 |

四、成果討論

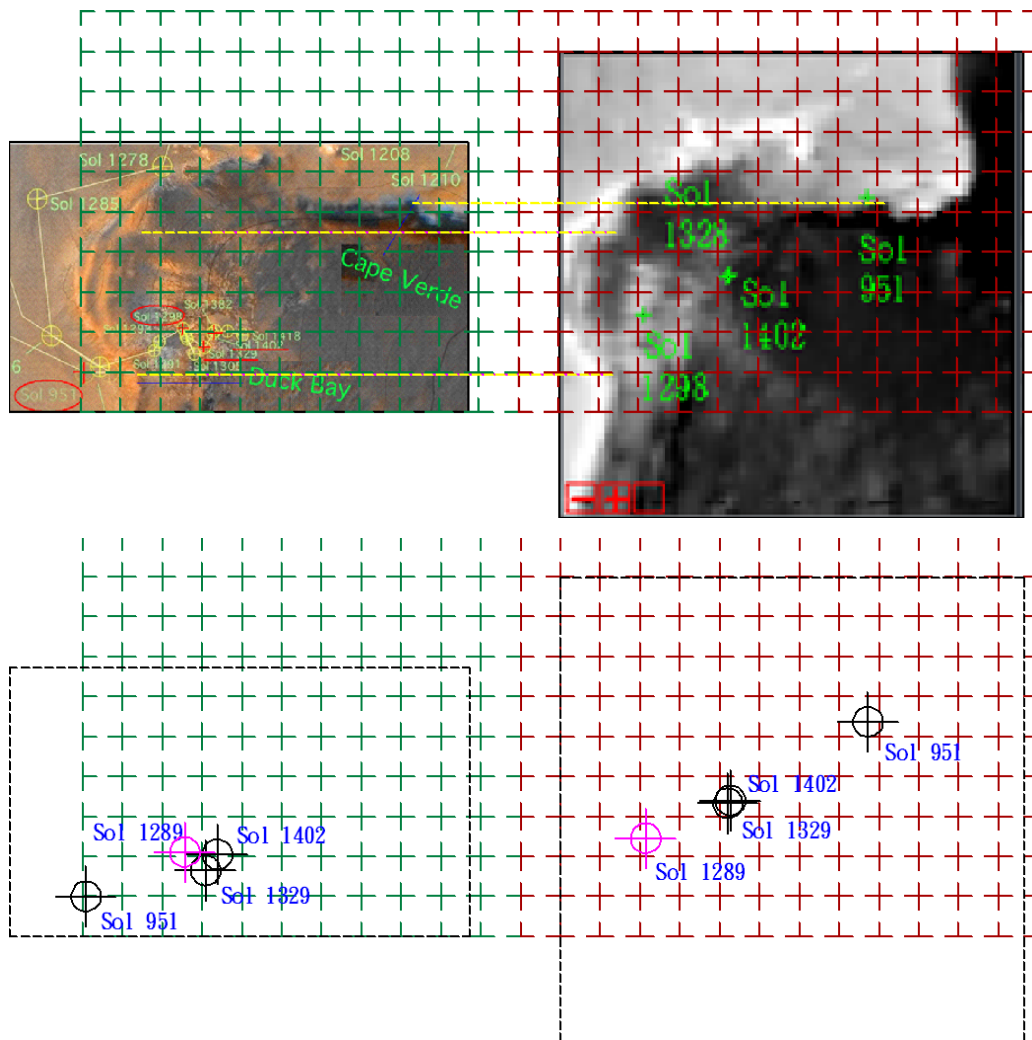
為了比較 MER 網站提供之探測車路線圖與計算成果的差別，將此二圖調整至相同比例，並確定相對位置後，放入間距為 5 公尺的網格中（如圖十（上）），再將影像移除以利觀察（如圖十（下）），可以發現 Sol 1298 的位置與探測車路線圖所紀錄之位置差距最小，約為 0.5 個網格；Sol 1329 以及 Sol 1402 二天的位置偏移量稍大，在東西與南北向約為 1 個網格差距；而 Sol 951 的位置從原本的 Duck Bay 偏移至 Cape Verde，產生錯誤之定位結果。



圖八、HiRISE 影像中控制點位置



圖九、解算所得曝光站位置



圖十、以網格比較四個火星日 MER 的定位點。

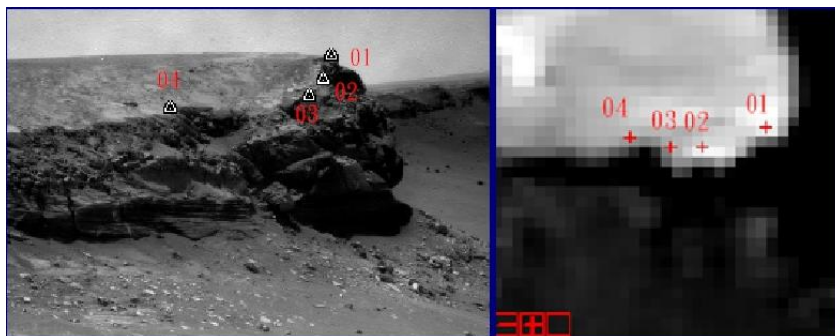
根據以上比較成果，提出造成本計畫定位偏差的幾項可能原因：

1、影像解析度不同

HiRISE 影像為大範圍影像，其解析度為 25~32cm/pixel，而 MER 影像為小範圍的近景攝影影像，其解析度為 12.26mm/pixel，實驗中在 HiRISE 影像與 MER 影像中搜尋共同的控制點時，便容易因為其解析度不同而造成誤差。

2、影像拍攝角度不同

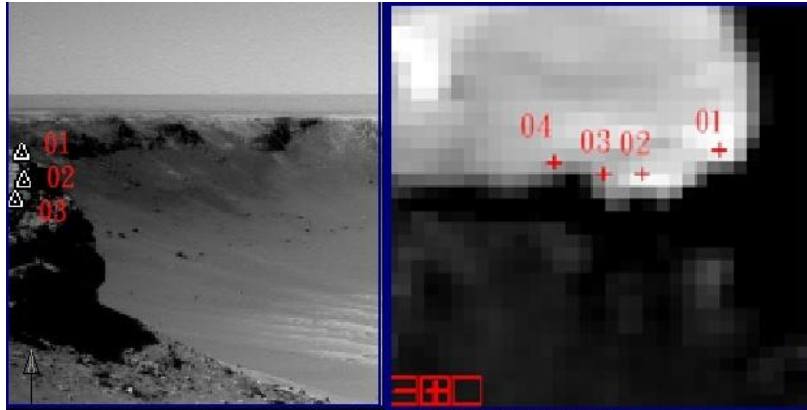
HiRISE 影像為正射影像，而 MER 影像為近景攝影影像，故在人工判釋控制點位置時，容易因拍攝角度不同而造成對點誤差，如圖十一所示。



圖十一、Sol 1402 所攝得 MER 影像與 HiRISE 影像中控制點位置。

3、Sol 951 的定位偏移量

在本實驗所嘗試的四組影像中，Sol 951 的定位結果出現錯誤的偏移量，主要是由於 Sol 951 影像與其他三張相比其之重疊率較低，造成影像上控制點數量較少且分布不均，導致其解算外方位參數的誤差較大，由圖十二所示，可見控制點集中分布在影像的左方，對於求解外方位造成錯誤的解算成果。



圖十二、Sol 951 獲取之 MER 影像中控制點與 HiRISE 影像控制點位置比較。

五、結論與建議

火星地形資料為火星探勘工作的基礎，一旦能夠掌握火星的地表情形，便可透過地形判讀，推論火星過去的地表活動、氣候變遷與太空生物演化等課題。因此，本計畫利用高解析度 HiRISE 火星影像，採用 USGS 所提出的方法，建置 HiRISE 影像處理系統，透過 ISIS 以及 SOCET SET 軟體之整合，目前已可製作 HiRISE 數值地形模型以及正射影像，在經過適當的編修後，此成果將可提供國內外專家學者在火星相關課題之研究使用。

本計畫的另一個研究重點為衛載 HiRISE DTM 與地面移動車 (MER) 資料的整合，利用 HiRISE DTM，配合 MER 所拍攝的影像，本實驗採用自率光束法定位 MER 像機在拍攝時位於火星表面的位置，雖然目前成果在定位精度上仍有改善空間，但以實驗成果來看，本計畫所使用的方法亦屬可行。

定出 MER 在拍攝當時於火星表面所在位置後，未來若從已敷貼正射影像之 HiRISE DTM 中萃取該點至下一目標測站之間的坡度，以及地表粗糙度等地形資訊，即可繪製出所有可行的路線，供 MER 操作者決定 MER 前進的最適移動路線。

使用 HiRISE 與 MER 影像於不同視野方向獲取資料時，加上蒐集此二種資料的儀器及載具皆仍正常運作，使得 HiRISE 與 MER 資料的整合或比較，相當具有研究價值。除本計畫之研究成果外，後續應用將可延續此成果繼續發展，例如：利用 HiRISE DTM，配合 MER (或是之後計畫登陸火星的其他地面探測車，如 NASA 預計於 2011 年底送至火星的 Rover 好奇號 (Curiosity) 歐洲太空總署計畫於 2013 年發射的 ExoMars) 傳回之地面影像，即時求解探測車之位置，並引導其前進至所在位置附近的目標地區進行取樣。

參考文獻

Albertz, J., Attwenger, M., Barrett, J., Casley, S., Dorninger, P., Dorrer, E., Ebner, H., Gehrke, S., Giese, B., Gwinner, K., Heipke, C., Howington-Kraus, E., Kirk, R.L., Lehmann, H., Mayer, H., Muller, J.-P., Oberst, J., Ostrovskiy, A., Renter, J., Reznik, S., Schmidt, R., Scholten, F., Spiegel, M., Stilla, U., Wahlisch, M., Neukum, G. and the HRSC CoI-Team, 2005. HRSC on Mars Express – Photogrammetric and cartographic research. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 71(10): 1153–1166.

- Anderson, J.A., Sides, S.C., Soltesz, D.L., Sucharski, T.L. and Becker, K.J., 2004. Modernization of the Integrated Software for Imagers and Spectrometers. The 35th Lunar and Planetary Science Conference, abstract #2039. Houston, USA.: 2 pages. (on CD-ROM.)
- Ansan, V., Mangold, N., Masson, P., Neukum, G. and the HRSC Co-investigator team, 2007. Topography of valley networks on Mars: comparison between MOLA and HRSC DTM. The 38th Lunar and Planetary Science Conference, abstract #1660. League City, Texas, USA.: 2 pages. (on CD-ROM.)
- Barnett, D.N. and Nimmo, F., 2002. Strength of faults on Mars from MOLA topography. *Icarus*, 157(1): 34-42.
- Bell III, J.F., Squyres, S.W., Arvidson, R.E., Arneson, H.M., Bass, D., Calvin, W., Farrand, W.H., Goetz, W., Golombek, M., Greeley, R., Grotzinger, J., Guinness, E., Hayes, A.G., Hubbard, M.Y.H., Herkenhoff, K.E., Johnson, M.J., Johnson, J.R., Joseph, J., Kinch, K., Lemmon, M.T., Li, R., Madsen, M.B., Maki, J.N., Malin, M., McCartney, E., McLennan, S., McSween, H.Y., Ming, D.W., Morris, R.V., Noe Dobra, E.Z., Parker, T.J., Proton, J., Rice, J., Seelos, F., Soderblom, J., Soderblom, L.A., Sohl-Dickstein, J.N., Sullivan, R.J., Weitz, C. and Wolff, M.J., 2004. Pancam multispectral imaging results from the Opportunity rover at Meridiani Planum. *Science*, 306(5702): 1703-1709.
- Chapman, M.G., 2003. Sub-ice volcanoes and ancient oceans/lakes: a Martian challenge. *Global and Planetary Change*, 35(3-4): 185-198.
- Cooper, M.A.R. and Robson, S., 2001. Theory of close range photogrammetry. *Close Range Photogrammetry and Machine Vision* (Ed. K. B. Atkinson). Whittles Publishing, Caithness, UK. 371 pages: 9-51.
- Fryer, J. G., 2001. Camera calibration. *Close Range Photogrammetry and Machine Vision* (Ed. K. B. Atkinson). Whittles Publishing, Caithness, UK. 371 pages: 156-179.
- Gaddis, L., Anderson, J., Becker, K., Becker, T., Cook, D., Edwards, K., Eliason, E., Hare, T., Kieffer, H., Lee, E. M., Mathews, J., Soderblom, L., Sucharski, T., Torson, J., McEwen, A. and Robinson, M., 1997. An Overview of the Integrated Software for Imaging Spectrometers (ISIS). The 28th Annual Lunar and Planetary Science Conference, abstract #1226. Houston, USA.: 387-388.
- Gwinner, K., Scholten, F., Jaumann, R., Roatsch, T., Oberst, J. and Neukum, G., 2007. Global mapping of Mars by systematic derivation of Mars Express HRSC high-resolution digital elevation models and orthoimages. *Proceedings, the ISPRS Working Group IV/7 Workshop*. Houston, USA: 3 pages.
- Gwinner, K., Roatsch, T., Matz, K.-D., Scholten, F., Elgner, S., Preusker, F., Oberst, J., Jaumann, R., Heather, D., and Neukum, G., 2008. Archival stereo data products of the HRSC experiment onboard Mars Express. The 39th Lunar and Planetary Science Conference, abstract #2373. Houston, USA.: 2 pages.
- Heipke, C., Oberst, J., Albers, J., Attwenger, M., Dorninger, P., Dorrer, E., Ewe, M., Gehrke, S., Gwinner, K., Hirschmuller, H., Kim, J.R., Kirk, R.L., Mayer, H., Muller, J.-P., Rengarajan, R., Rentsch, M., Schmidt, R., Scholten, F., Shan, J., Spiegel, M., Wählisch, M., Neukum, G. and the HRSC Co-Investigator Team, 2007. Evaluating planetary digital terrain models – The HRSC DTM test. *Planetary and Space Science*, 55 (2007): 2173–2191.
- Hiesinger, H. and Head, J.W., 2002. Topography and morphology of the Argyre Basin, Mars: implications for its geologic and hydrologic history. *Planetary and Space Science*, 50(10-11):939-981.
- Jaumann, R., 2008. HRSC on Mars Express, Experiment Status Report. Presentation file, HRSC Co-I Team Meeting, Munster, Germany. 59 pages.
- Kim, J.-R. and Muller, J.-P., 2009. Multi-resolution topographic data extraction from Martian stereo imagery. *Planet Space Science*, 57(2009): 2095-2112.

- Kirk, R.L., Howington-Kraus, E., Rosiek, M.R., Anderson, J.A., Archinal, B.A., Becker, K.J., Cook, D.A., Galuszka, D.M., Geissler, P.E., Hare, T.M., Holmberg, I.M., Keszthelyi, L.P., Redding, B.L., Delamere, W.A., Gallagher, D., Chapel, J.D., Eliason, E.M., King, R., McEwen, A.S. and the HiRISE Team, 2008. Ultrahigh resolution topographic mapping of Mars with MRO HiRISE stereo Images: Meter-scale slopes of candidate Phoenix landing sites. *Journal of Geophysical Research*, 113, E00A24, doi:10.1029/2007JE003000.
- Li, R., Hwangbo, J.W., Chen, Y. and Di, K., 2008. Rigorous photogrammetric processing of HiRISE stereo images for Mars topographic mapping. *International Archives of Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37(B4): 987-992.
- Li, R., Squyres, S.W., Arvidson, R.E., Archinal, B.A., Bell, J., Cheng, Y., Crumpler, L., Des Marais, D.J., Di, K., Ely, T.A., Golombek, M., Graat, E., Grant, J., Guinn, J., Johnson, A., Greeley, R., Kirk, R.L., Maimone, M., Matthies, L.H., Malin, M., Parker, T., Sims, M., Soderblom, L.A., Thompson, S., Wang, J., Whelley, P. and Xu, F., 2005. Initial results of rover localization and topographic mapping for the 2003 Mars Exploration Rover mission. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 71(10): 1129-1142.
- Lin, S.-Y., Muller, J.-P., Mills, J.P. and Miller, P.E., 2009. An assessment of surface matching for the automated co-registration of MOLA, HRSC and HiRISE DTMs. *Earth and Planetary Science Letters*, in revision.
- McEwen, A.S., Eliason, E.M., Bergstrom, J.W., Bridges, N.T., Hansen, C.J., Delamere, W.A., Grant, J.A., Gulick, V.C., Herkenhoff, K.E., Keszthelyi, L., Kirk, R.L., Mellon, M.T., Squyres, S.W., Thomas, N. and Weitz, C.M., 2007. Mars Reconnaissance Orbiter's High Resolution Imaging Science Experiment (HiRISE). *Journal of Geophysical Research*, 112, E05S02, doi:10.1029/2005JE002605.
- Neumann, G.A., Rowlands, D.D., Lemoine, F.G., Smith, D.E., and Zuber, M.T., 2001. Crossover analysis of Mars Orbiter Laser Altimeter data. *Journal of Geophysical Research*, 106(E10): 23753–23768.
- Pelletier, J.D., Kolb, K.J., McEwen, A.S. and Kirk, R.L., 2008. Recent bright gully deposits on Mars: Wet or dry flow?. *Geology*, 36(3): 211-214, doi:10.1130/G24346A.1.
- Sholten, F., 2009. Personal E-mail contact.
- Scholten, F., Gwinner, K., Roatsch, T., Matz, K.-D., Wählisch, M., Giese, B., Oberst, J., Jaumann, R. and Neukum, G., 2005. Mars Express HRSC data processing – Methods and operational aspects. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 71(10): 1143–1152.
- Smith, D., Zuber, M., Frey, H., Garvin, J., Head, J., Muhleman, D., Pettengill, G., Phillips, R., Solomon, S., Zwally, H., Banerdt, W., Duxbury, T., Golombek, M., Lemoine, F., Neumann, G., Rowlands, D., Aharonson, O., Ford, P., Ivanov, A., Johnson, C., McGovern, P., Abshire, J., Afzal, R. and Sun, X., 2001. Mars Orbiter Laser Altimeter: Experiment summary after first year of global mapping of Mars. *Journal of Geophysical Research*, 106(E10): 23698-23722.
- Smith, D.E., Zuber, M.T., Solomon, S.C., Phillips, R.J., Head, J.W., Garvin, J.B., Banerdt, W.B., Muhleman, D.O., Pettengill, G.H., Neumann, G.A., Lemoine, F.G., Abshire, J.B., Aharonson, O., Brown, C.D., Hauck, S.A., Ivanov, A.B., McGovern, P.J., Zwally, H.J. and Duxbury, T.C., 1999. The global topography of Mars and implications for surface evolution. *Science*, 284: 1495-1503.
- Squyres, S.W., Arvidson, R.E., Bell III, J.F., Brückner, J., Cabrol, N.A., Calvin, W., Carr, M.H., Christensen, P.R., Clark, B.C., Crumpler, L., Des Marais, D.J., d'Uston, C., Economou, T., Farmer, J., Farrand, W., Folkner, W., Golombek, M., Gorevan, S., Grant, J.A., Greeley, R., Grotzinger, J., Haskin, L., Herkenhoff, K.E., Hviid, S., Johnson, J., Klingelhöfer, G., Knoll, A., Landis, G., Lemmon, M., Li, R., Madsen, M.B., Malin, M.C., McLennan, S., McSween, H.Y., Ming, D.W., Moersch, J., Morris, R.V., Parker, T., Rice Jr., J.W., Richter, L., Rieder, R., Sims, M., Smith, M.,

- Smith, P., Soderblom, L.A., Sullivan, R., Wänke, H., Wdowiak, T., Wolff, M. and Yen, A., 2004. The Opportunity Rover's Athena science investigation at Meridiani Planum, Mars. *Science*, 306(5702): 1698-1703.
- Sullivan, R., Grotzinger, J., Knoll, A., Golombek, M., Joliff, B., Squyres, S. and Weitz, C., 2007. Aeolian geomorphology with MER Opportunity at Meridiani Planum, Mars. The 38th Lunar and Planetary Science Conference, abstract #2048. Houston, USA.: 2 pages. (on CD-ROM.)
- Warner, N., Gupta, S., Kim, J.-R., Lin, S.-Y. and Muller, J.-P., 2009a. Hesperian equatorial thermokarst lakes in Ares Vallis as evidence for transient warm conditions on Mars. *Geology*, accepted.
- Warner, N., Gupta, S., Muller, J.-P., Kim, J.-R. and Lin, S.-Y., 2009b. A Refined Chronology of Catastrophic Outflow Events in Ares Vallis, Mars. *Earth and Planetary Science Letters*, 288(1-2):58-69.
- Werner, S.C., 2009. The global martian volcanic evolutionary history. *Icarus*, 201(1): 44-68.

國科會補助專題研究計畫項下出席國際學術會議心得報告

日期：100 年 04 月 12 日

| | | | |
|--------|---|---------|---------------------|
| 計畫編號 | NSC99-2218-E-004-001- | | |
| 計畫名稱 | 火星 HiRISE 數值地形模型之產製及應用於火星地表探測車定位之研究 | | |
| 出國人員姓名 | 林士淵 | 服務機構及職稱 | 國立政治大學地政學系/助理教授 |
| 會議時間 | 99 年 8 月 16 日至 99 年 8 月 20 日 | 會議地點 | University of Seoul |
| 會議名稱 | (中文) 火星數值地形模型處理工作坊 (英文) Workshop for Mars DTM Processing | | |
| 發表論文題目 | (中文) 火星 HRSC 數值地形模型製作 (英文) Mars HRSC (High Resolution Stereo Camera) DTM | | |

一、參加會議經過

受此工作坊邀請，本計畫主持人擔任火星 HRSC DTM 介紹以及操作示範的主講人，除了以投影片方式介紹 HRSC 影像之背景之外，亦準備測試資料以及簡易操作手冊，供與會人員實際操作參考。此外，在其他專家學者的準備下，亦學習 CTX 以及 HiRISE 影像之處理與 DTM 之製作。除此之外，亦安排至韓國空間資訊學會 (Korea geoSpatial Information Society, KSIS)，以及前往韓國科學與科技資訊中心 (Korea Institute of Science and Technology Information, KISTI) 參觀，詳細情形參見後述。

二、與會心得

透過與與會人員之交流，以及上機實際操作，增加計畫主持人對於利用不同方法處理並製作多元火星數值地形模型，有更深刻的了解。會議中亦與此研究領域之專家有許多請教與討論的機會，有助計畫主持人於擴展未來研究之方向。

三、考察參觀活動(無是項活動者略)

於 8 月 18 日赴韓國科學與科技資訊中心 (Korea Institute of Science and Technology Information, KISTI)，參觀其高速運算中心 (Super Computing Center)，與該中心研究人員討論利用其設備處理以及展示火星地形資料之優點與可能限制，並討論往後進一步交流合作之可能性。

四、建議

為落實與韓國市立首爾大學 (University of Seoul) 與 KISTI 之合作，將利用國科會補助台韓研究計畫機會，正式提出雙邊共同合作之研究計畫，並舉辦相關主題之研討會。此外，由於此工作坊之主題

是以技術討論為主，未來希望能吸引具備地球科學背景人員參加，提高不同領域之交流機會，以擴展研究領域。

五、攜回資料名稱及內容

KISTI 與 Korea geoSpatial Information Society (KSIS) 等單位之簡介。

國科會補助計畫衍生研發成果推廣資料表

日期:2011/04/14

| | |
|-----------|---|
| 國科會補助計畫 | 計畫名稱: 火星HiRISE數值地形模型之產製及應用於火星地表探測車定位之研究 |
| | 計畫主持人: 林士淵 |
| | 計畫編號: 99-2218-E-004-001- 學門領域: 測量製圖 |
| 無研發成果推廣資料 | |

99 年度專題研究計畫研究成果彙整表

| 計畫主持人：林士淵 | | 計畫編號：99-2218-E-004-001- | | | | | |
|--|-------------|-------------------------|-----------------|------------|------|-------------------------------------|---|
| 計畫名稱：火星 HiRISE 數值地形模型之產製及應用於火星地表探測車定位之研究 | | | | | | | |
| 成果項目 | | 量化 | | | 單位 | 備註（質化說明：如數個計畫共同成果、成果列為該期刊之封面故事...等） | |
| | | 實際已達成數（被接受或已發表） | 預期總達成數（含實際已達成數） | 本計畫實際貢獻百分比 | | | |
| 國內 | 論文著作 | 期刊論文 | 0 | 1 | 100% | 篇 | 擬投稿至期刊 Journal of Aeronautics, Astronautics and Aviation |
| | | 研究報告/技術報告 | 0 | 0 | 100% | | |
| | | 研討會論文 | 0 | 0 | 100% | | |
| | | 專書 | 0 | 0 | 100% | | |
| | 專利 | 申請中件數 | 0 | 0 | 100% | 件 | |
| | | 已獲得件數 | 0 | 0 | 100% | | |
| | 技術移轉 | 件數 | 0 | 0 | 100% | 件 | |
| | | 權利金 | 0 | 0 | 100% | 千元 | |
| | 參與計畫人力（本國籍） | 碩士生 | 0 | 0 | 100% | 人次 | |
| | | 博士生 | 0 | 0 | 100% | | |
| 博士後研究員 | | 0 | 0 | 100% | | | |
| 專任助理 | | 0 | 0 | 100% | | | |
| 國外 | 論文著作 | 期刊論文 | 0 | 0 | 100% | 篇 | 第 42 屆 Lunar and Planetary Science Conference (LPSC 2011) 研討會 |
| | | 研究報告/技術報告 | 0 | 0 | 100% | | |
| | | 研討會論文 | 1 | 1 | 50% | | |
| | | 專書 | 0 | 0 | 100% | | |
| | 專利 | 申請中件數 | 0 | 0 | 100% | 件 | |
| | | 已獲得件數 | 0 | 0 | 100% | | |
| | 技術移轉 | 件數 | 0 | 0 | 100% | 件 | |
| | | 權利金 | 0 | 0 | 100% | 千元 | |
| | 參與計畫人力（外國籍） | 碩士生 | 0 | 0 | 100% | 人次 | |
| | | 博士生 | 0 | 0 | 100% | | |
| 博士後研究員 | | 0 | 0 | 100% | | | |
| 專任助理 | | 0 | 0 | 100% | | | |

| | |
|--|--|
| <p>其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)</p> | <p>建立與韓國科學與科技資訊中心 (Korea Institute of Science and Technology Information, KISTI) 的初期交流與合作。</p> |
|--|--|

| | 成果項目 | 量化 | 名稱或內容性質簡述 |
|---|-------------------|----|-----------|
| 科 教 處 計 畫 加 填 項 目 | 測驗工具(含質性與量性) | 0 | |
| | 課程/模組 | 0 | |
| | 電腦及網路系統或工具 | 0 | |
| | 教材 | 0 | |
| | 舉辦之活動/競賽 | 0 | |
| | 研討會/工作坊 | 0 | |
| | 電子報、網站 | 0 | |
| | 計畫成果推廣之參與 (閱聽) 人數 | 0 | |

國科會補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

達成目標

未達成目標（請說明，以 100 字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文： 已發表 未發表之文稿 撰寫中 無

專利： 已獲得 申請中 無

技轉： 已技轉 洽談中 無

其他：（以 100 字為限）

依據本計畫所得之成果，目前正在撰寫文章，擬投稿至期刊 Journal of Aeronautics, Astronautics and Aviation。

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以 500 字為限）

於本計畫執行期間，受本計畫支持參訪韓國科學與科技資訊中心（Korea Institute of Science and Technology Information, KISTI），期間與該單位研究人員討論與本計畫相關的主題，已於美國 Houston 舉辦的第 42 屆 Lunar and Planetary Science Conference (LPSC 2011) 研討會中發表(論文名稱為 Very high resolution Martian topographic data processing and Application for Virtual Reality implementation)，以此為基礎，本計畫主持人將持續與該單位進行合作。在國際間 Mars Rover 計畫持續發展之際（NASA 於 2011 年底將發射 Rover Curiosity，ESA 於 2013 年底亦計畫運送 Rover 至火星），本計畫主題預期將有後續發展潛力。