

Égitestek felszíni korának becslése becsapódásos kráterek alapján

Steinmann Vilmos

ELTE Természetföldrajzi Tanszék – MTA Csillagászati
és Földtudományi Kutatóközpont Csillagászati Intézet

Bevezetés

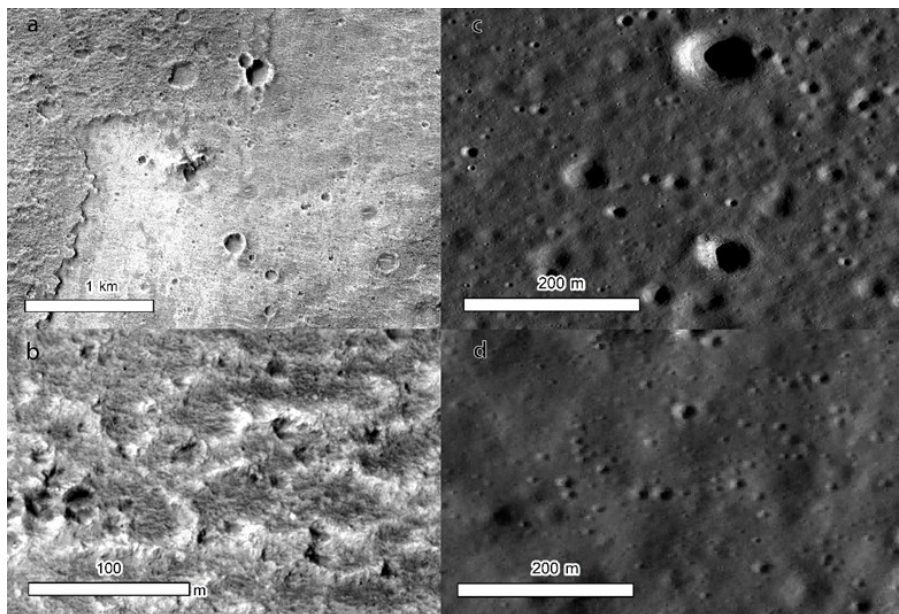
A technika fejlődésével egyre jobb minőségű képeket és domborzati, valamint színekpi adatokat kapunk más égitestek felszínéről, mint például a Holdról vagy a Marsról. Az ilyen információk sok érdekességet felfednek az adott égitestről, kérdésekre adnak választ és meg több kérdést vetnek fel. A megnőtt számítógépes kapacitás széleskörű lehetőséget biztosít ezek elemzésére, részben a térinformatikai szoftverek segítségével [1], amelyekkel nagyobb területre készített statisztikai elemzésekkel akár a múlt éghajlati változásaira is rámutathatnak a Marson [2, 3]. A tisztán tudományos kérdések mellett alkalmazott jellegű feladatok is felmerülnek, például a tervezett leszállóhelyek kiválasztásánál [4] és az ott várható felszíni viszonyok becslésénél [3]. Fontos kérdés, hogy milyen idős a bolygó vagy a felszínének egy szelete. Az egyszerű kérdésre bonyolult a válasz. Sok lehetséges közelítés létezik a korbecslésre, ezek közül most a kráterek alapján történő kormeghatározást mutatjuk be. A Naprendszerben megszámlálhatatlan aszteroida kering, amik időként beleszapódnak más égitestekbe. Ezek a becsapódásnyomok hosszú ideig megmaradnak a felszínen, így kiváló kiindulópontját képezik a korbecslésnek.

Műholdképek és jellemzőik

Mik is kellenek ahhoz, hogy meghatározzuk egy felszín korát a kráterek alapján? Először is el kell döntenünk, hogy mekkora területet szeretnénk vizsgálni. A vizsgálni kívánt területtől és kráterek méretétől függ, hogy melyik űrszonda melyik képalkotó eszközének felvételeit kell használnunk – a képek többsége ingyenesen hozzáférhető [10]. A kép kiválasztása előtt fontos megnézni, hogy Nap beesési szöge (INC) mekkora volt a felvétel készítése közben. Ha túl magas, akkor „kiégeti” a felszín képét, ha túl alacsony, akkor az árnyékok miatt szinte semmi sem látszik. A legjobb ilyen szög 70 és 80 fok között mutatkozik.

A Hold felszínének vizsgálatához a Lunar Reconnaissance Orbiter Camera (LROC) kis (NAC) és nagy (WAC) látószögű ka-

meráját szokták használni. Előbbi maximálisan 1 méter/pixel felbontású (ahol egy pixel nagysága a valóságban 1 m hosszú és 1 m széles), míg utóbbi 100 m/px felbontású. A Mars esetében több kamera képéből is válogathatunk: a Mars Reconnaissance Orbiter űrszondán a High Resolution Imaging Science Experiment (HiRISE) felbontása akár 25 cm/px is lehet, viszont kis területet fed le, míg a Context Imager (CTX) felbontása 6 m/px, de sokkal nagyobb területet fed le.

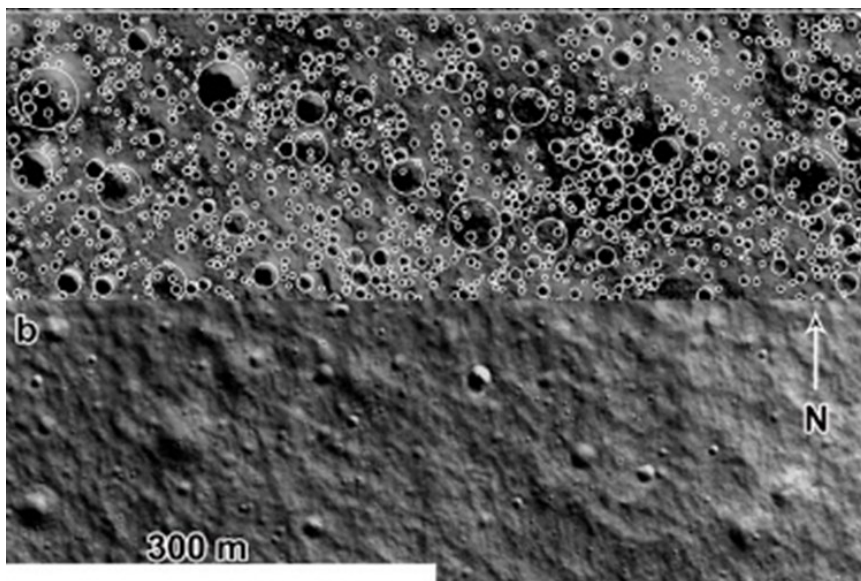


1. ábra: Két példa az űrszondák által készített képekre és felbontásukra. A HiRISE (a;b) a Mars felszínéről akár 25 cm-es felbontású képet is tud rögzíteni. A Holdról (c;d) a LROC NAC egysége készít jó minőségű képeket

A korbecslés alapjai

A korbecsléshez a leggyakrabban használt térinformatikai szoftverek az ArcMap, CraterTool és a CraterStat. Az Arcmap és a CraterStat önálló szoftverek, míg a CraterTool egy beépülő modul az ArcMap-ben. Az ArcMap az ESRI cég által fejlesztett vezető geoinformatikai (GIS) szoftver, amihez hozzá kell adnunk a CraterTool beépülő modult. A modul segít célirányosan kijelölni és exportálni a kártereket. A modulban létre tudunk hozni speciális terület (poligon-AREA) és kráter (poligon-CRATER) *.shp (vektoros, tehát vonalakból álló) formátumot, amik tartalmazzák a szükséges speciális adatokat (terület km²-ben, kráterek mérete és koordinátái). Miután megtörtént a terület és a kráterek kijelö-

lése (2. ábra) és elmentettük a kész vektoros állományt, lehetőségünk van exportálni a lemért adatainkat. Az exportálást a modul több *.scc állományba végzi, ami egy speciális kiterjesztés. Ezt kell beolvasnunk a CraterStat szoftverbe, melynek futtatásához szükségünk van egy segédsoftverre, az IDL Virtual Machine-re, ami a megjelenítő grafikus felületet adja.

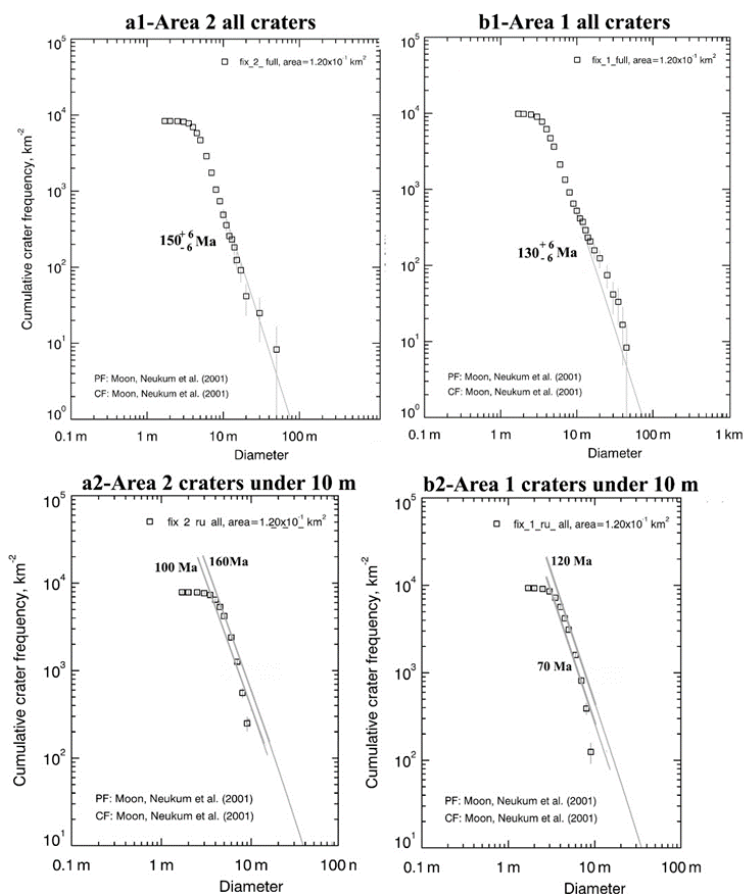


2. ábra: Egy holdi terület (lent) és a rajta digitalizált kráterek körvonalai (fent)

A CraterStat szoftverben több égitesten (pl. Merkúr, Hold, Vénusz, Mars, Phobos) lehetőség van különböző koradatok kinyerésére, mivel mindezek vetületi rendszerét ismeri a szoftver. Az adatok importálása után ki kell választanunk, hogy milyen keletkezési (Production Function, PF) és kronológiai (Chronology Function, CF) egyenletet kívánunk alkalmazni a krátereket illetően [7], az eltérő méretű krátereket létrehozó becsapódások gyakorisága ugyanis más és más, valamint mindez a Naprendszer fejlődése során is módosult: kezdetben sokkal gyakrabban és nagyobb becsapódások történtek, mint az utóbbi 2–3 milliárd évben.

Többféle lehetőség is van arra, hogy automatikusan vagy kézi úton becsüljük meg a kráterek gyakoriságából adódó felszíni kora (3. ábra). Ha az automatikus megoldás, kumulatív és Poisson-eloszlást használhatunk, de kézzel is illeszthetünk görbét. A legmegfelelőbb illesztés esetében a kor egyenese jól illeszkedik

az elméleti izokronokkal (azonos korú pontokat összekötő vonalakkal). Természetesen ha tágitjuk a kráter méretkategóriát, több izokron is illeszthető, mivel a különböző méretű kráterek eltérő kort képviselnek, hiszen a nagyobb kráterek nehezebben pusztulnak el, ezért idősebbek.



3. ábra: Példa a kézi korillesztésre a Hold egy tetszőleges kiválasztott területén.
A ferdén balra lefelé futó pontsor az izokronok futási irányát jelzi
(Kereszturi et al. 2019, megjelenés alatt)

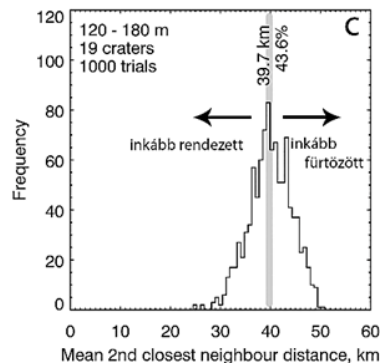
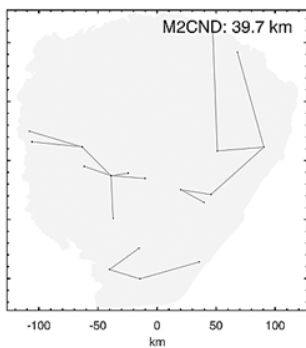
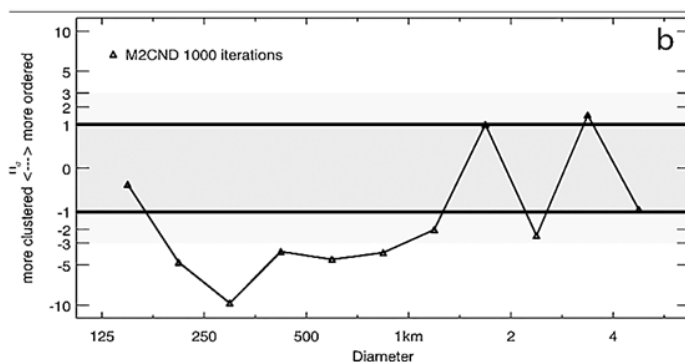
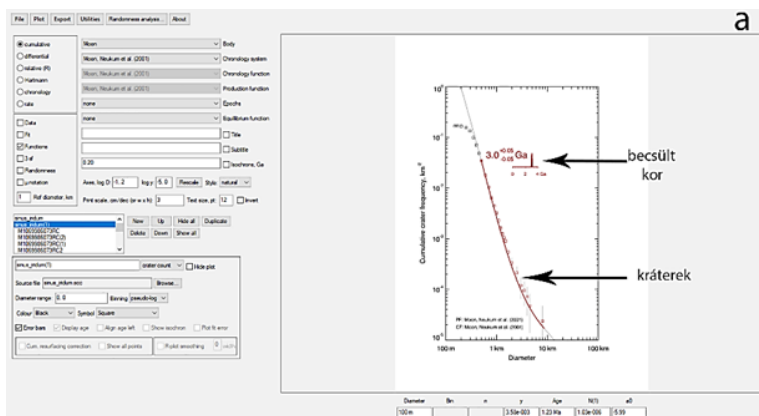
A fentiek szerint nyert adatokkal a Microsoft Excel program segítségével további elemzések végezhetőek el. Az adatokat a már említett ArcMapból kell exportálnunk *.txt (szöveges) vagy *.dbf (táblázatos) formátumba. Az Excel programra a nagy mennyiségű adat miatt van szükség, ami nem csak megkönnyíti, hanem meg is gyorsítja munkát a statisztika (átlag, minimum, maximum, szórás stb.) vagy a diagramok készítése során.

Az elmaradhatatlan térképek

Ha a vizsgált terület heterogén és ezért nagy különbségek mutatkoznak benne, akkor térképi anyagot is készíthetünk a lemért krátereink adataiból az alap szoftverrel, vagy a Surfer programmal. Egyszerű, területre levetített darabszám térkép készítésére az ArcMapben hozzunk létre egy tetszőleges méretű poligonokból álló hálót a Fishnet eszköz segítségével, számoltassuk meg az egyes poligonokban lévő krátereket, alakítsuk át pont típusú vektorrá, majd adjuk hozzá az egyes pontok koordinátáit. Ezután az exportált és formázott Excel fájlt Surferben interpolálhatjuk. A kapott *.grd (grid, vagyis rácsos) állomány könnyen megjeleníthető ArcMapben. Az ilyen térképeken láthatóvá válnak olyan eltérések (a fenti esetet alapul véve) a kráterek számában és térbeli elhelyezkedésében, amik például kráterláncolatokat mutatnak – ezek pedig egy közeli becsapódáskor kilökött, majd visszahullott törmelékek okozta másodlagos kráterek is lehetnek.

A véletlenség vizsgálata

A vizsgált kráterek eloszlását legkomplexebb módon számszerűsítő értékek a CraterStat szoftveréből érhetők el, a véletlenség valószínűségének vizsgálata [6] (randomness analysis) alapján. A vizsgálat során a kijelölt összes krátert elemzi az algoritmus egy általunk meghatározott számú iteráció (ismétlés) alapján a második legközelebbi szomszéd távolságán (M2CND) és az második átlagos legközelebbi szomszéd közötti eltérés (SDAA) alapján. A szimuláció végeredménye egy grafikon, amin az egyes kráterátmérő-osztályokhoz tartozó kráterek elrendezettségi valószínűsége látható, illetve egy *.txt állomány a számszerű adatait tartalmazza a grafikonoknak. Egy adott kráterosztályba tartozó kráterek eloszlását akkor tekintjük véletlenszerűnek, ha azok valószínűségi értéke (n sigma) a nullához közelít, ekkor az értékek 1 és -1 között változnak ideális esetben. A diagramon pedig akkor tekintünk egy krátercsoportot véletlenszerűnek, ha a szürke sáv a hisztogram csúcsán, vagy annak közelében helyezkedik el (4. ábra, C kép). Az M2CND esetében, ha nem véletlenszerű, akkor lehet „fürtözött” vagy „rendezett” – ezen esetekben a krátergyakoriságból becsült kor nem igazán megbízható. Ezzel a módszerrel tovább lehet finomítani a korábban említett kráterkor görbénket, úgy, hogy csak azokra a kráterosztályokra illesztjük rá az egyenest, amelyek véletlenszerű eloszlást mutatnak.



4. ábra: A CraterStat szoftver (a) és a véletlen valószínűség vizsgálati eredmény (b, c). Látható, milyen jól illeszkedik a korgörbe (a) a krátereket jelölő négyzetekre. A két fekete vonal által lehatárolt terület mutatja, melyik kráterátmérő-tartományok eloszlása véletlenszerű (b). A Gauss-görbe (c) a szürke vonallal mutatja, hogy a kráterek milyen távolságban helyezkednek el egymástól

Mire jó a korbecslés?

Az égitestek felszínének kráterstatisztikai elemzés alapján becsült kora fejlődéstörténetük különböző időszakainak eseményeire utal. A legnagyobb kráterek [8] az ősi Naprendszerben születtek, segítségükkel sikerült például kideríteni, hogy kb. 3,7 milliárd évvel ezelőtt egy intenzív bombázási időszak erejéig átmenetileg újra felerősödtek a becsapódások a Naprendszerben. De a kráterstatisztikai elemzések segítségével lehet az egykori marsi folyóvízi aktivitást datálni, avagy az asztrobiológiai szempontból [9] érdekes korú üledékes területeket kijelölni.

Köszönetnyilvánítás

A munka megszületését az MTA CSFK Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézete, valamint a H2020 Excellence of Strategic R&D projekt keretében az NKFIH GINOP-2.3.2-15-2016-00003 pályázata támogatta.

Irodalomjegyzék

- [1] Kereszturi Á. et al. (2014): Domborzat alapú felszín elemzés és morfológiai korreláció a Mars északi síkságára. Geomatikai Közlemények, 17, 93
- [2] Kapui Zs. et al. (2018): Fluvial or aeolian grains? Separation of transport agents on Mars using Earth analogue observations. Planetary and Space Science, 163, 56
- [3] Orgel Cs. et al. (2018): Gridmapping the Northern Plains of Mars: A New Overview of Recent Water- and Ice-Related Landforms in Acidalia Planitia. Journal of Geophysical Research, JE005664
- [4] Ettahri M.A. et al. (2018): Topographical and Morphological Analysis of Mawrth Vallis to Target ExoMars Rover Mission. 49th LPSC, abstract 2448
- [5] Séjourné A. et al. (2018): Grid-mapping the northern plains of Mars: using morphotype and distribution of ice-related landforms to understand multiple ice-rich deposits in Utopia Planitia. Journal of Geophysical Research, JE005665
- [6] Michael G.G. et al. (2012): Planetary surface dating from crater size–frequency distribution measurements: Spatial randomness and clustering. Icarus, 218, 169
- [7] Neukum G. (1983): Meteorite Bombardment and Dating of Planetary Surfaces, NASA TM-77558
- [8] Hargitai H., Kereszturi Á. (2015): Encyclopaedia of Planetary Landforms, Springer
- [9] Domagal-Goldman S.D. et al. (2016): The Astrobiology Primer v2.0. Astrobiology, 16, 561
- [10] <http://ode.rsl.wustl.edu/moon/>