

# A Mars illata

Ez év júniusában volt szerencsém három hetet Japánban tölteni marsi meteoritok vizsgálatával kapcsolatban. Az ELTE és az Okayamai Egyetem közötti állami közti szerződés keretében meteoritok katódlumineszcens vizsgálata céljából utazunk ki. A Gucsik Arnold által életre hívott program a meteoritok vizsgálata mellett földi ásványátalakulások tanulmányozására is kiterjed – utóbbiakat adja hazánk. A cél olyan módszer kidolgozása, amely az alacsony és magas hőmérsékletű vizes környezetben bekövetkezett ásványátalakulásokat képes elkülöníteni. A munka az ásványok kialakulási viszonyai mellett a becsapódások sokkhatásától keletkezett szerkezeti deformációkat is vizsgálja. Gucsik Arnold a NASA egyik programja keretében szeretne egy katódlumineszcens mérőberendezést a jövő valamelyik marsroverén a vörös bolygóra juttatni – ehhez viszont pontosan ismerni kell a módszer hatékonyságát. Az alábbi felvételen látható az okayamai egyetemről, ahol Okumura san, az egyik doktorandusz vizsgál egy mintát.

Mindezeket tesztelőld látogatott Japánba csapatunk, amelyet Bérczi Szaniszló, Gucsik Arnold, Hargitai Henrik, Nagy Szabolcs és jómagam alkottunk. Az első héten a 31. NIPR Symposium on Antarctic Meteorites című konferencián vettünk részt Tokióban, a Sarkkutató Intézetben. Ez a japán állam antarktisi kutatásainak a bázisa, és kisebb részét az antarktisi meteoritok vizsgálata adja. A vendégházban a klasszikus tradíciók érzékeltették, hogy a világ mely táján járunk: a cipőt a bejáratnál kellett levenni, bent japán „gi”-t kaptunk „otthoni ruhaként”.

Bejutásunk a meteoritokat tároló raktárba jól jellemezte a japán viszonyt a külföldiekhez. A megbeszélte időpontot követő rövid várakozás után előkerült egyik vendéglátónk, aki elmagyarázta, hogy mennyire fontos ez a raktár, és a munka, ami ott zajlik.



*Mintavizsgálat az okayamai egyetemen*

Ezért csak kb. 10 percünk lesz, hogy körülnézzünk. Első lépésként közel negyedórát hallgattuk, miként zajlik a gyakorlatban a meteoritgyűjtés a jég- és hómezőkön. Egy óra után pedig már a legbelső szobában jártunk, ahol megtekinthettük az egyik legnagyobb, 13 kg-os marsmeteoritot, a Yamato 000593-at. Fényképezni persze nem volt szabad – csak többszöri kérés után (l. a lenti felvételt). A sötét, égett kéreggel borított kődarab eredeti, külső felülete már több helyen hiányzott. Egy váratlan ötlettel vezelve odahajoltam a meteorithoz és megszagoltam. Erős, összetéveszthetetlen kénés



*A Yamato 000593-as számú meteorit, melynek erős, kénés szaga van*

szaga volt. A szagot kiváltó anyag a vörös bolygóról származott – mondhatni, megszagoltam a Marsot.

A japán utat számos érdekes kirándulás színesítette. Jártunk a Sakyou nevű aktív, tengerparti dűnemezőn, ahol a szél hordta homok csak térdig emelkedik, ami távolról szemlélve a felszín feletti homályos rétegeként mutatkozik. Találkoztunk a Hayabusa program éppen akkor nyugdíjazott vezetőjével, akivel az egyetem legmagasabb épületének tetején, látványos panorámát élvezve ebédeltünk. Bár a beszélgetés tanulságos volt, az elegáns ebéd nem ért a kicsi belvárosi, olcsó rolling sushi bár nyomába. Meglátogattam Hiruy Miyamoto-t a Tokiói Egyetemen, akin nyomot hagyott a többéves amerikai munka: európai hangnemben beszélgettünk, mintha egy hazai szakemberrel társalognék. Az aktuális marskutatósi kérdések mellett bemutatta éppen megjelent cikkét, amelyben az Itokawa kisbolygón vándorló kődarabokat vizsgálta (l. Meteor 2007/9, 24. o.). Bár sok érdekes dolgot láttunk, párás levegőjű hegyi kolostorokat, és a hirosimai atombomba emlékművét is, a fő programot a marsmeteoritok adták, amelyekről egy rövid áttekintés olvasható az alábbiakban.

Jelenleg 58, bizonyítottan a Marsról származó meteoritot találtak bolygónkon, főleg sivatagokban és az Antarktiszon – utóbbi helyen a jég mozgása hozza a felszínre a meteoritokat. Közülük legnagyobb a 40 kg-os Nakhla. Általánosan elmondható, hogy a marsmeteoritok anyaga abban tér el a többi meteorittól, hogy a szülőégitestük erősen differenciálódott. Ha pl. nem differenciált (tehát homogén) anyagú kisbolygókból összegyűrnánk egy nagy égitestet, annak belseje idővel megolvadna, összetevői fajsúly szerint rétegződnének. Az így született égitest felszíni összetétele, és az ebből kilöködő, majd a Földre hulló meteorit anyaga eltér az eredeti homogén kisbolygóétól.

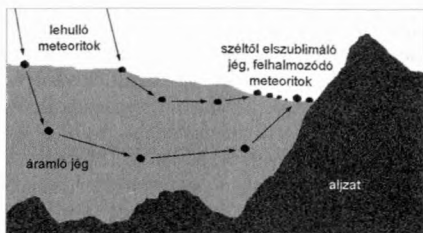
Ennek megfelelően a meteoritok egy része egy nagy tömegű égitestről származik, ahol a meteoritok alapján néhány százmillió éve is keletkeztek vulkanikus kőzetek – azaz törtek

ki vulkánok. A kérdéses meteoritokban lévő gázzárványok kémiai összetétele ( $N_2$ , Ar, Xe) és izotóparányai a Viking-szondák által a Mars légkörében mértekhez hasonlítanak. Mindent összevetve a fenti meteoritok tehát a Marsról származnak. Marsmeteoritjaink tehát nagy becsapódások robbanásától kirepített töredékek, amelyek kilöködési sebessége meghaladta az 5 km/s-ot, és végleg elhagyhatták a vörös bolygót.



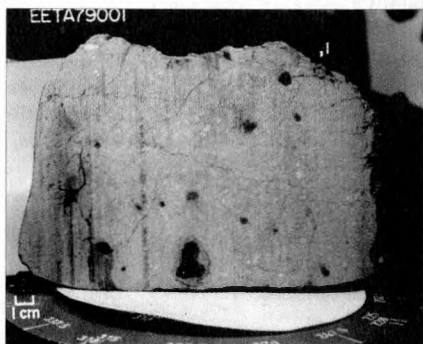
*Az újonnan felszínre bukkant meteoritok könnyen fellelendezhetők az antarktiszi jégen. Képünkön Barbara A. Cohen egy 700 g-os nakhliittel az NSF és a NASA 2003–2004-es antarktiszi expedícióján ([www.unm.edu](http://www.unm.edu))*

A marsmeteoritok anyagukat tekintve magmás kőzetek, és szemben például a Holdról származó meteoritokkal, gyengén töredeztettek. A holdi meteoritok között meglehetősen gyakoriak a felszíni regolitból származó töredezett breccsák. Regolit a Marsot is borítja, de onnan a testek csak nagyobb kilöködési sebességgel tudnak eltávozni – és ezt a lazább breccsák, továbbá az üledékes kőzetek nem élik túl. Emellett erősen átalakult, ún. metamorf kőzetek sincsenek a marsmeteoritok között, azok főleg a felszíni lávákból és mélyebben megszilárdult, majd felszínre került magmatömegekből származnak. Bár az egyes marsmeteoritok jellemzői széles skálán mozognak, néhány elem (pl.



A meteoritok felhalmozódása az antarktiszi jégben

Fe/Mn, K/La, Co/(MgO+FeO)), valamint az oxigénizotópok aránya hasonló bennük. A mellékelt felvételen az EETA 79001 jelű marsmeteorit látható, amely kb. 180 millió évvel ezelőtt megszilárdult bazaltos lávafolyásban alakult ki, és kb. 600 ezer évvel ezelőtt lökődött ki a Marsról.



Az EETA 79001 jelzésű marsmeteorit kb. 600 ezer évvel ezelőtt lökődött ki a Marsról

A marsmeteoritoknál elkülönítjük a kristályosodási kort (amikor az adott kőzet megszilárdult a Marson), a kilökődési kort (amikor egy becsapódástól kirobbant az űrbe), valamint a földi lehullás óta eltelt időszak hosszát (amit már a mi bolygónkon töltött). A kristályosodástól eltelt idő radioaktív elemekkel és bomlástermékekkel határozható meg, míg az űrben töltött időszak a kozmikus sugartól bekövetkezett elemátalakulásokból becsülhető. A hullás időpontja hagyományos földtani módszerekkel közelíthető. A korbecslésnél gondot jelent, hogy a marsmeteoritok egyes részei gyakran eltérő összetételt és izotóparányokat mutatnak.

A marsmeteoritokban rövid és erős sokkhatás nyomai találhatók. Ezek a kirobbanást okozó becsapódás alkalmával keletkeztek, amikor a kőzet 15–50 GPa közötti nyomást élt át. Minél nagyobb nyomást szenvedett el az anyag, annál mélyebbről lökődhetett ki. Az egyes meteoritok méretéből durván megbecsülhetjük, hogy mekkora kráterből származnak – a nagyobb testek kilökéséhez természetesen nagyobb robbanás szükséges.

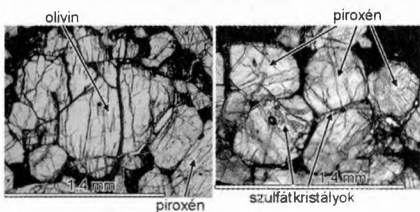
A marsmeteoritok részben az űrben, de főleg a földi légkörbe belépve darabolódtak, tehát eredetileg nagyobbak lehettek. Durva becslés alapján az ismert legnagyobb marsmeteoritok eredetileg közel méteres objektumok voltak, amelyek kirobbanásához legalább 10 km-es kráter szükséges. Az eddig talált marsmeteoritok 5–8 nagyobb becsapódás alkalmával lökődhetek ki, és a bolygó kőzetburkának felső, maximum néhány méter vastag rétegéből származnak.

Általánosan elmondható, hogy sok a viszonylag fiatal marsmeteorit, miközben az űrszondás vizsgálatok alapján a bolygó fejlődéséről kialakult kép főleg idős felszínre utal. Az ellentmondást talán az oldhatja fel, hogy a meteoritok csak a bolygónak egy kisebb, fiatal, vulkanikusan aktív területéről származnak. A shergotitek (l. később) forrásvidéke viszonylag fiatal, bazaltos lávával borított terület lehet, feltehetőleg a Tharsis- vagy az Elysium-hátország térsége. A Tharsis mellett szól, hogy itt az elmúlt 200 millió évben is lehetett vulkanikus aktivitás, emellett ez egy magas vidék, és egy becsapódáskor az innen kirepülő törmeléknek nem kell a légkör alsó, sűrűbb és erősen fékező részén keresztülhaladnia.

Az ismert marsmeteoritok kilökődésére az elmúlt 20 millió évben került sor. Lehet, hogy a korábbi becsapódások töredékei már „megritkultak”, azaz időközben a Földbe, illetve más bolygóba ütköztek (és a Földön nehezen találhatók meg, illetve azóta elmállottak). Az is elképzelhető, hogy korábban a marsi éghajlati kilengések miatt a sűrűbb légkör alól a becsapódások alig tudtak kilöni törmeléket. Az ezt még korábban megelőző, és a maihoz hasonlóan ritka

légkörű időszakokból pedig talán a fenti ok miatt nincsenek meteoritok.

További általános jellemző, hogy a mars-meteoritok gyengén mállottak, de sokukban sikerült kis mennyiségben mállással képződött ásványokat kimutatni, pl. illit (agyagásvány), kalcium tartalmú karbonát és szulfát, valamint gipsz formájában. A nakhlitokban (l. később) halit sókristályokat is azonosítottak, amelyek szintén egykor vízzel kapcsolatban keletkeztek. A mállott anyagok kis mennyisége, és elszórt előfordulása alapján a meteoritok anyaga csak rövid ideig, és csak néhol érintkezhetett folyékony vízzel a Marson. Az alábbi képen a MIL 03346 jelű, a nakhlitok közé tartozó marsmeteorit és a benne lévő, a magmás eredetű kristályok közötti felületeket beborító, egykori víz hatására kialakult szulfát ásványok láthatók (Juhe Stopar, Univerity of Hawaii).



A MIL 03346 jelzésű meteorit (bővebben I. a szövegben)

Az ásványátalakulásokra 100 °C alatti hőmérsékleten kerülhetett sor, elsősorban kb. 600–700 millió, és 3,6–3,9 milliárd évvel ezelőtt. A vízzel kapcsolatban keletkezett ásványokban a deutérium/hidrogén arány kb. 5-ször nagyobb a földinél, ami a Mars erősebb légkörvesztésétől áll elő. Emellett általánosan elmondható, hogy az izotópeloszlások alapján a különböző anyagok, főleg a H<sub>2</sub>O eltérő rezervoárjai (légkör, felszíni jég, kőzetek, olvadt magma, mélységi víz stb.) között sokkal gyengébb keveredés volt, mint a Földön.

A marsmeteoritokat három nagy csoportba osztják: shergotitek, nakhlitok és chassignitek. Elnevezésük a három elsőként fellelt példánytól (Shergotty, Nakhla, Chassigny) származik, és összefoglalóan SNC meteo-

ritoknak nevezik őket. A shergotitek egyik alcsoportjába tartozó meteoritok (pl. Shergoty, Zagami, EET79001) bazalt lávafolyások felszínközeli anyagából származnak. A shergotitek másik alcsoportjába ún. Iherzolitok anyagúak (pl. ALH77005, LEW88516) tartoznak, amelyek a bazaltokhoz hasonló kőzetekből, de több km mélyről, a magma kiömlése előtti megszilárdult anyagból származnak. A shergotitek kristályosodási kora 150–180 millió és 330–475 millió évvel ezelőtti, az őket alkotó kőzeteket ilyen idős magmás illetve vulkáni tevékenység hozta létre.

A nakhlitok (Nakhla, Lafayette, Governador Valadares) az ún. klinopiroxének kőzetek közé tartoznak, amelyek szintén több kilométeres mélységben megszilárdult magmából származnak, ún. kumulátum kőzetek. Ebben a meteoritcsoportban található a legtöbb átalakult ásvány, amelyek főleg az olivin vizes közegben történő bomlásával keletkeztek, bizonytalan becslések alapján 500–700 millió évvel ezelőtt. A harmadik csoportot, a chassigniteket egyetlen meteorit képviseli: a Chassigny, amely a kőzetek között az ún. dunitekhez sorolható, ezek a kéreg aljából, a köpeny tetejéről származnak. Az utóbbi két csoportba tartozó meteoritok kora 1,3 milliárd év körüli, tehát sokkal idősebbek a shergotiteknél. A fenti három csoport egyikébe sem illeszkedik, de marsmeteorit az ALH84001, amelynek az ortopiroxenit kőzettípust javasolták kategóriaként. Ez a leghíresebb marsmeteorit, melyről az utóbbi évtizedben sokszor olvashattunk. Kora 4,5 milliárd év, és benne található olyan képződményeket, amelyeket egyes kutatók élőlények nyomainak tekintenek.

Kereszturi Ákos

**December a Mars hónapja** lesz a Polaris Csillagvizsgálóban: a vörös bolygóval foglalkozik keddi sorozatunk, december 27-én 18 órától pedig Hold-és bolygóészlelő estét tartunk megfigyelőink számára.