

A pulzárok a nagy tömegű csillagok fejlődésének végfázisában jönnek létre, és a fejlődésnek ezen a fókán már nagy mennyiségű szén található a belsejükben. Ez a szénmennyiség a többi nehéz elemmel együtt a szuperóva-robbanás által kerül a környező térbe. A kilökött anyag egy része a központi égitest körüli pályán maradhat, és belőle második generációs bolygók alakulhatnak ki. A PSRB-1257+12 jelű pulzár körül 1992-ben felfedezett planéták nagy valószínűséggel eshetnek a szénbolygó kategóriába.

A β Pictoris egy 63,4 fényévnire található, 1,75 naptömegű és kb. 1,8 napátmérőjű csillag, amelyet egy majdnem elérő látszó porkorong övez. A NASA ultrabolyga tartományban működő FUSE műholdja magas széntartalmat mért a β Pictoris körüli korongban. A szén/oxigén arány detektált értéke 9. Így itt fennáll a magas széntartalmú bolygók kialakulásának lehetősége.

Szénbolygók tehát központi csillaguk kialakulásához köthetően és második generációs bolygóképződés keretében egyaránt létrejöhetnek. A Világegyetem öregedésével párhuzamosan egyre nagyobb lesz a szén oxigénhez viszonyított aránya, ezért fokozatosan nő a magas széntartalmú planéták kialakulásának valószínűsége is. Többszörös felfedezések hiányában még nem ismert a szénbolygók méretre vonatkozó gyakorisága, de elméletileg nagy számban létezhetnek szuper-Föld méretű képviselőik.

Egy 5 földtömegű, arányaiban a Földhöz hasonló felépítésű, de szénösszetevőket és szenet is tartalmazó fémes mag alkotta bolygó átmérője kb. 7–8%-kal nagyobb lenne, mint egy arányaiban hasonló felépítésű, Föld típusú planéta mérete (2.b ábra).

Összegzés

Az exobolygók tömeg-sugár relációjának és szerkezetük nyomás- és sűrűségviszonyainak elméleti leírására szolgáló numerikus modellezés eredményei is hibával terhelték. A tömeg-sugár összefüggés esetén a numerikus közelítésen kívül már a minimális mérési hibákból adódóan is jelentős eltérések mutakozhatnak a bolygó valóságos fizikai paramétereire képest. Ezért például egy tranzitbolygó méretének meghatározásához csillaga átmérőjének minél pontosabb ismeretére van szükség. A mérési technika precizitásának javulásával egyre pontosabb adatokat kaphatunk az égitestek fizikai paramétereiről.

A CoRoT és a Kepler űrtávcsövek fotometriai mérésein alapuló exobolygókeresési technika alkalmas szuper-Föld méretű planéták detektálására. A Kepler-űrtéleszkóp a CoRoT-hoz viszonyítva a csillagok fényességének pontosabb mérését teszi lehetővé. Technológiája olyan érzékenységgű, hogy megfelelő feltételek mellett akár 0,8 földátmérőjű bolygókat is képes kimutatni.

A bolygókeletkezési modellek szerint a nagyobb tömegű porkorongban jóval rövidebb idő alatt végbemehet a bolygók képződésének folyamata, mint a kisebb tömegű porkorongok esetében. Az eddigi kutatások rávilágítanak arra, hogy a Naphoz hasonló csillagok akár egynegyede körül is kialakulhatnak fémes magot és szilikátos köpenyt tartalmazó bolygók. Ráadásul a gyakoriságukra vonatkozó becslések szerint valószínűleg ugyanolyan nagy számban létezhetnek a Földhöz hasonló tömegű képviselőik, mint a például 4–5, vagy 6–8 földtömegű, szuper-Föld jellegű kőzetbolygók.

IRODALOM

- Asplund, M., Grevesse, N., Sauval, A.J., Allende Prieto, C., Blomme, R., 2005, *Astronomy and Astrophysics*, 431, 693.
- Bunge, H. P., Richards, M. A., Baumgartner, J. R., 1997, *Journal of Geophysical Research*, 102, 1191.
- Elkins-Tanton, L. T., Seager S., 2008, *Astrophysical Journal*, 688, 628.
- Futó, P. 2010, Lunar and Planetary Science Conf., XLI # 1024, Houston
- Kuchner, M. J., Seager, S., 2005, Extrasolar Carbon Planets, <http://arxiv.org/abs/astro-ph/0504214>.
- Montelli, R., Nolet, G., Dahlen, F. A., Masters, G., Engdahl, E. R., Hung, S. H., 2004, *Science*, 303, 338.
- <http://kepler.nasa.gov>

Hol van Trója? Ezt a kérdést többféle szövegkörnyezetben is megtalálhatjuk, de mindegyik a régészet és a helymeghatározás kapcsolatát bizonyítja. Persze mindig hozzá kell tenni, hogy mihez képest. Hiszen a hely megadása mindig valamihez viszonyít. A trójaiaknak saját városuk volt a középpont, Trója „itt” volt, minden más távolabb. Ma úgy fogalmaznánk: a koordináta-rendszer origója az ismert pont, amihez viszonyítunk.

Az utóbbi évtized hatalmas fejlődést jelentett a régészeti helymeghatározás kérdésében. Ma már nem az a kérdés, hogy meg tudjuk-e határozni valaminek a helyét, hanem hogy a hely és a régészeti információ kapcsolata milyen minőségű. Eltűntek a fehér foltok a térképről. Már nem elég valamit berajzolni a térképre, rögtön a meglévő információkkal való kapcsolatát is tisztázni kell. Minden területről (akár a Föld legtávolabbi pontjairól is) rengeteg információ van, amit gyorsan és olcsón elérhetünk. Ezeket nem hagyhatjuk figyelmen kívül, ezekkel összhangban kell a saját adatainkat kezelni.

A régészeti helymeghatározás soha nem öncélú, mindig a régészeti problémamegoldás részét képezi. Nem elegendő egy pontot meghatározni, ahhoz régészeti tartalmat is kell rendelni. De az sem elegendő, ha a már megfogalmazott kérdésekre adunk választ, hiszen a régészeti kérdések a feldolgozás folyamán egyre szaporodnak és ezekhez még az ásatás alkalmával kell adatokat gyűjtenünk.

A régészeten (mint sok más területen) a hely megadása több szinten, különböző pontossággal, így különböző módszerekkel lehetséges. Az első szint az áttekintő térképek szintje. Itt nagy összefüggésekre keressük a választ, országnyi, kontinensnyi méretekben gondolkodva. A tágabb földrajzi környezetben kell elhelyeznünk a régészeti helyszínt. A kereskedelmi kapcsolatok, a nyersanyagok lelőhelye, a közlekedés kérdéseire keressük a választ.

A helymeghatározás első szintjén nem is a mérés a lényeg, hanem annak eldöntése, mit is akarunk régészeti szempontból megadni. A példa szerint el kell dönteni, létezett-e egyáltalán Trója. Ha létezett, akkor így hívták-e. Mit értünk a név alatt? Azt a területet, amit birtokoltak, a termőföldektől kezdve az általuk ellenőrzött tengerszakaszokig? Vagy Ilion városát, esetleg annak is csak egy részét? Tehát tisztázni kell a régészeti fogalmat, aminek helyéről beszélünk. Egy világtérképen az egész terület csak egy pont, de ha csak a nevet nézzük, összekeverhető az Egyesült Államokban lévő Troy (Trója) várossal. Távoli vidékek régészeti lelőhelyeinél sokszor az is kétséges, mennyire egyezik az elnevezés a mi lelőhelyfogalmunkkal. Egy helyről van szó, vagy több területet is azonos név alatt kezelnek? A Sivapithecus híres lelőhelye, a Siwalik-domb, egész hegység a Himalája előterében.

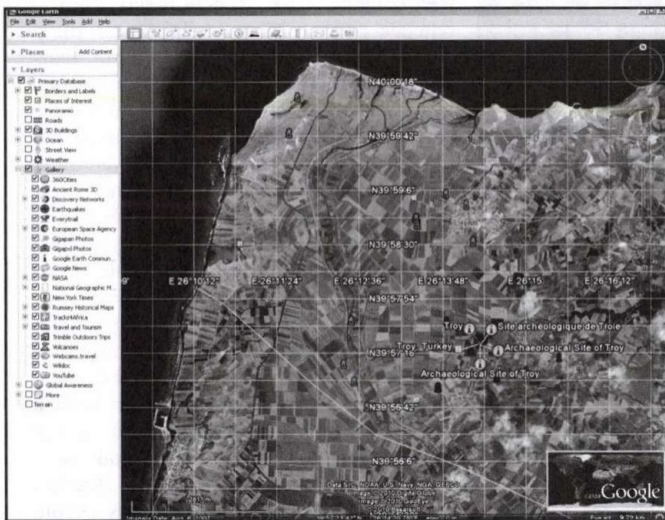
Ha ezt tisztáztuk, akkor már eldönthető, mekkora területről van szó, és annak helyzetét hogyan tudjuk megadni. Egy pont, vagy egy terület a kérdés? Ha terület, vannak-e pontos határai? Az alföldi vonaldiszes kultúra lelőhelyei (l. pl. Fekete Mária cikkét a 2007. februári számban) például nem esnek egybe az Alföld területével. Idegen nyelvre fordítva az alföld fogalmat a külföldi kutató még messzebbre kerül a megfontól. Ha egy távoli ország kutatója a térképen az alföld nevet keresi, ráakadhat a Kisalföldre, ami teljesen félrevezeti. Ha megtalálta az Alföldet, még mindig nem jutott el a megoldáshoz. Nagyon nehezen lehet olyan térképet találni, ahol ezt a kérdést tisztázni lehetne, hiszen minden egyes lelet értékelésével változik a tudásunk és változik a térkép is. Nem lehet éles határokat meghúzni, ha mégis megteesszük, holnapra már meg is változik.

A tágabb földrajzi környezet érdekes a jelenben: hol van most? És érdekes az adott régészeti korban: milyen volt a környezete akkor? A Sivapithecus lelőhelye 10 millió éve nagyon más volt, hiszen „geológiai korokban” élt. Az elmúlt néhány ezer évben már kisebb változások voltak. Így is lényeges elemek merülnek fel: a Trója melletti folyó például sok kilométernyi távolságban feltöltötte a torkolatát, ezáltal a város távol került a tengertől.

Az első szinten a hely megadása a térképen való megkeresést és a térképi koordináták leolvasását jelenti. Sokat segítenek ebben a szabadon hozzáférhető internetes térképi források. Könnyen, gyorsan

Helymeghatározás a régészetben

HOLL BALÁZS



Trója műholdképe a világhálón. A Google Earth-alkalmazásban nemcsak minden papír térképnel részletesebb űrfelvételeken tanulmányozhatjuk a területet és pontos koordinátákat olvashatunk le, hanem részletes képi és szöveges információkat is kaphatunk. Ezen keresztül saját képeket, adatokat is megoszthatunk a világhálón.

Az így bővülő közösségi adatbázis sokat segít a tájékozódásban. A szakemberek számára is előny, ha az amatőr fényképek friss felvételein nyomon lehet követni egy-egy lelőhely állapotát

kereshetőek a helyek, és némelyik alkalmazásnál a műholdfelvételen vagy légifotókon olyan részletességgel vizsgálható a régészeti lelőhely, hogy biztosan, pontosan azonosítható. Ez a szabad hozzáférés felbecsülhetetlen segítséget jelent a tudományos kutatásban, de megnöveli a felelősségünket is. Nem lehet mellébeszélni, bárki utánanézhethet, ellenőrizheti a helymeghatározást.

A második szint a régészeti lelőhelyek szintje. A közeli földrajzi környezetben vizsgáljuk a régészeti összefüggéseket. Itt mindig területről van szó, ahol régészeti emlékek találhatók. A terület régészeti részleteit vagy nem ismerjük, vagy csak a kutatásnak ezen a szintjén nem foglalkozunk velük. A területek kiterjedése 10–1000 m-es nagyságú. Ilyen pontossággal a legolcsóbb navigációs GPS-ekkel is meg lehet határozni a földrajzi helyet. A technika fejlődése megint a segítségünkre van, de két irányból is fenyeget a veszély: egyrészt a kontroll nélküli mérésben óriási hibák lehetnek, másrészt a pontos mérés esetén az összes kapcsolódó adatot is hasonló pontossággal kell begyűjteni.

A GPS hasznos kis szerkentyű. De míg a mobiltelefon esetében egyértelmű, ha nem tudok kapcsolatot teremteni, a GPS-nél előfordulhat, hogy bekapcsolás után látok ugyan adatokat, de azok nem a tényleges, pontos koordinátákat tartalmazzák. Kellő óvatossággal és ellenőrzéssel a kapott koordináta a lelőhely méreteihez képest megfelelő pontosságú lesz, de vajon ilyen pontossággal ismerjük-e a régészeti információkat? Például meg tudjuk-e mondani, hol van a lelőhely ha-



Beépített teodolit-álláspont a római Capitolium-domb párkányában. A hosszú időn keresztül folyó feltárások pontos beméréséhez szükséges a geodéziai alappontok rögzítése. Ezek közül is kitüntetett és csak kivételesen fontos esetekben alkalmazzák az olyan megoldásokat, ahol tizedmilliméteres megbízhatósággal lehet a műszert rögzíteni. A Forum Romanum nemcsak a turisták, hanem a régészek számára is egyedülálló jelentőségű, megérdemli az ilyen odafigyelést

tára? Nem látunk a földbe, nem tudhatjuk, mi van a lábunk alatt. Csak másodlagos információkra hagyatkozhatunk: felszínen talált leletek, a táj morfológiai jellemzői, esetleg valamilyen műszeres vizsgálat eredménye (l. geofizika). Trója esetén a tell (település-domb – a hosszú időn keresztül használt, természetes és mesterséges feltöltődés eredményeképpen kiemelkedő terület) jelezte a lelőhelyet, de a modern kutatások a dombtól távolabb is feltártak régészeti objektumokat. Minél alaposabb, részletesebb kutatásokat végzünk, annál kisebb jelenségek is fontosak lesznek. Nemcsak a városfal (ami – mint tudjuk – szintén jelentéktelennek tűnt a kutatás kezdeti szakaszában), hanem például a földművelés olyan emlékei (teraszok, csatornák), amelyek az adott korban fontosabbak voltak az életfenntartás szempontjából, mint a palota. Ritka szerencsés esetben ezek az információk megmaradnak és új távlatokat nyitnak a régészeti kutatásban. Kiterjesztik a lelőhely határait, de egyben el is tüntetik. A jól megrajzolható városfal helyett bizonytalan jelek mentén kutatunk egyre távolabb. Ezeket a jeleket terepbejárások során GPS-sel, vagy a levegőből légifotók segítségével térképezhetjük. A repülőgépről megfigyelhető jelenségek helyének meghatározására a repülőn is alkalmazunk GPS-t, de ez nem a jelenségek, hanem a repülő helyzetét rögzíti. Pontosabb helymeghatározáshoz fényképen rögzíteni kell a megfigyelt jeleket, majd a fotót illeszteni a térképre. Ha találunk megfelelő azonosítható pontokat a képen, akkor néhány méteres pontossággal be tudjuk rajzolni a térképre a jelenségeket.

A harmadik szint a régészeti objektumok szintje. Az egymással kapcsolatban lévő régészeti jelenségek megértéséhez azok térbeli (és most háromdimenziós térről beszélünk) elhelyezkedését, kapcsolatait kell vizsgálnunk. Itt már deciméteres pontosságra van szükség. Milyen távolságra volt egymástól két ház, mekkorák voltak, milyen széles volt az út, milyen széles és milyen mély az árok? Az ehhez hasonló kérdésekre a választ az ásatásokon egyszerűen megkaphatjuk, ha mérőszalaggal megmérjük a távolságokat. De nem tudjuk az összes kérdést ott helyben feltenni, hiszen a válasz újabb kérdéseket szül. Minden adatot a feltárás folyamán úgy kell rögzíteni, hogy a később felmerülő kérdésekre megkereshessük a választ. Deciméteres pontosságú térképezéshez centiméteres pontosságú alappontokra van szükség. Ez a szint már a geodéziai mérések szintje. Drága műszerek és a kezelőüket ismerő szakemberek szükségesek. A modern geodéziai GPS-ek, elektronikus mérőállomások segítségével egy pont vagy ezer pont meghatározása nem jelent technikai különbséget. De mit csináljon a régész egy csillagtérképpel? Ég és föld a különbség! Még ha be is vannak a pontok számozva, akkor is csak a gyerekek rejtvényéből ismert nyuszika képe fog kirajzolódni a pontok összekötéséből. A régészeti tartalom egész más. Először is meg kell érteni a feltárás közben a jelenségeket. Azokat mérethelyesen le kell rajzolni. Majd a jelenségek régészetiileg fontos pontjait bemérni, és a bemért pontokat a rajzon is azonosítani. Minden ponthoz és rajzi vonalhoz régészeti tartalom kapcsolódik. Enélkül nem ér semmit az egész tevékenység. A bemért pontokat a rajz és a régészeti meghatározás teszi értékessé. Hogy mit mérünk, azt a régésznek kell meghatároznia, hogy hogyan, azt a geodétának. A kettő együttműködéséből alakul ki a feltárás térképe. Az együttműködés nagyon szoros: a régésznek kell rámutatnia a számára fontos pontokra és bediktálni a jegyzőkönyvbe a precíz meghatározást.

A régészeti rajz nem hagyható el, az a feltárás értelmezésének eredménye. Azoknak a megfigyeléseknek a rögzítése, amelyek a feltárás során eltávolított-megsemmisített rétegekből származnak. Trója feltárásánál a korabeli szakemberek pontosan azt vetették Schliemann szemére, hogy nem dokumentálta az elbontott objektumokat. Óriási, megoldhatatlan problémát jelent ezeknek az adatoknak a hiánya. Ma már nagy körültekintéssel folyik Trója feltárása, de mindig ott lebeg a régészek szeme előtt, hogy minden jelentéktelennek vélt részlet később fontosnak bizonyulhat.

A technikai lehetőségek rendelkezésre állnak, egyre olcsóbbak és egyre kényelmesebb a kezelésük. GPS-sel ma már mindenki találkozott, bár nagy különbségek vannak a különböző felhasználási eszközök között. És persze nem mindenhol működnek: egy barlangi ásatáson hiába is próbálnánk alkalmazni ezeket.

Új technikai lehetőség a lézerszkennerek. Ezzel nem ezer, hanem sok millió pontot mérhetünk be az ásatáson. A kérdés csak az, mit tegyünk egy sok millió pontból álló nyuszikával. Mint a rajz a fényképhez, úgy viszonyul egymáshoz a két technológia. Amíg a rajz pontjai önálló információt hordoznak, addig a fénykép (lézerszkenneres felmérés) pontjai egymagukban értelmetlenek, csak a teljes kép jelent valamit. Hogy mit, azt a hosszadalmas utófeldolgozás során lehet csak eldönteni. Ha akkor derül ki, hogy egy részlet kimaradt, már késő. És mint az ásatási fényképek, nem a megfigyeléseket, hanem a végeredményt ábrázolják. Fontos, sőt nélkülözhetetlen a fényképes dokumentáció. Ugyanilyen fontosak a lézerszkenneres felmérés adatai is, de nem helyettesítik az ásatási rajzot és a geodéziai bemérést.

A helymeghatározás negyedik szintje a leletek helyzete. Priamosz kincse, a trójai aranyak. Megtalálásuk, egyáltalán a lelőhelyhez kötésük is vita tárgya volt. De ugyanilyen vitát eredményezhet bármely régészeti lelet, ha nem dokumentálják pontosan az előkerüléstük helyét és körülményeit. Nekünk, magyaroknak is van

hasonló korból származó, vitatható aranykincsünk: az aggteleki Baradla-barlang aranylelete. A késő bronzkorból származó, mindössze 140 gramm súlyú, 28 darabos, karikákból és drótspirállokból álló leletről csak annyi bizonyos, hogy 1929-ben egy hasadékból került elő a barlangban. A titkolódzást egyrészt a lelet vélt értéke, másrészt az a körülmény indokolta, hogy az ásató régész, Tompa Ferenc távollétében Csalogovics József magán akciója keretében került elő. Nincs a lelőhelyről rajz vagy fénykép, de az

egész ásatásról sincs dokumentáció. Más barlangban előkerült, hasonló lelet alapján tudjuk, hogy ezek a tárgyak egy szokásos kincslelet darabjai. Csak azt nem tudjuk, hogyan rejtették el őket. Mint a trójai kincsekről is feltételezhető, elrejtésük és elvesztésük véstérhes idők történelmi eseményeihez köthető. Ma már a bronzkori kincsleletek (itt a kincs nem a tárgyak értékére, hanem az elrejtés tényére utal) nagy száma alapján olyan régészeti kérdések merülnek fel például, hogy értéktárgyként (értékes használati tárgyként, ékszerként) vagy nyersanyagként gyűjtötték, szándékosan rejtették vagy véletlenül veszítették el őket. Az ilyen kérdéseket csak úgy van esélyünk megválaszolni, ha nagyon precízen, aprólékosan végezzük a feltárásukat és minden körülményre kiterjedően dokumentáljuk helyzetüket. Meg kell figyelni, milyen helyzetben vannak a darabok, összeérnek-e vagy sem, lehetett-e rajtuk vagy köztük már elbomlott szerves anyagból készült rögzítő, tároló alkalmasosság. Esetleg kapcsolható-e a lelet régészeti objektumhoz? Beásták, befedték vagy a felszínen hevert? Itt néhány milliméter is számít. Nem a földrajzi koordináta érdekes milliméterpontossággal, hanem a darabok egymáshoz képesti helyzete.

Más esetben a temetkezéseknél kerül elő olyan sírmelléklet, aminek darabjai igen gondos helyzetmeghatározással rendelkeznek csak ruha vagy fegyver díszítéséhez. Itt is elsődleges a gondos feltárás, hiszen ha elmozdulnak a helyükről a leletek, akkor elveszett az információ. A csontváz és a leletek egymáshoz viszonyított helyzetéből lehet következtetni arra, hogy mihez volt rögzítve a tárgy, esetleg csak a test mellé helyezték vagy a zsebében volt.

De van olyan eset is, ahol a leletek földrajzi helyzete döntő fontosságú. Igaz, nem régészeti kérdést, hanem a lelet tulajdonjogát döntötte el a mérés. Ötzi, a tiroli jégmúmia csak 93 m-re feküdt a határtól az olasz oldalon.

Általános esetben a leletek kapcsolatát nem a vízszintes helyzetük határozza meg, hanem a réteg, amelyben vannak. A rétegtan (stratigráfia) a geológiából átvett fogalom, ami azt az alapelvet követi, hogy talajrétegek csak a meglévő felszínen keletkezhetnek, már létező réteg alatt nem. Az egymás feletti rétegek így időben is egymás után következnek. A rétegekben eltemetett leletek tehát korban szétválaszthatóak. Ezt a rétegsort zavarja meg az emberi tevékenység (gödörásás), amelynek nyomait a következő rétegek tüntetik el. A rétegek nem szabályosak, így egyszerű méréssel nem dönthető el a leletek hovatartozása. A rétegek logikái sorrendjét kell tisztázni, ezt csak kiegészíti az a mérés, ami egyes térbeli pontokat határoz meg. A rétegek teljes térbeli elhelyezkedését gondos feltárás közben végzett sok-sok, milliméteres pontossággal ponttal mérhetjük csak be. Az ásatási szelvények metszetalain a rétegek jól megfigyelhetők és lerajzolhatók. Ezeknek a metszetrajoknak a térbeli helyzetét szintén bemérhetjük geodéziai módszerekkel.

A helymeghatározás természetesen a térképeken nyer értelmet, ami a különböző pontosságoknak megfelelően különböző méretarányokat is takar. Az összes információ egy térképen nem ábrázolható, de a térinformatika (GIS) lehetővé teszi egy rendszerben való kezelésüket. (Következő írásunkban a térinformatikába vezetjük be az olvasót.)



Modern, nagy pontosságú GPS és terepi számítógép segítségével az ásatáson is használhatjuk a már elkészült térképeinket. Újabb pontokat rögzíthetünk, amelyeket kiegészíthetünk a szükséges régészeti adatokkal