

BONYOLULTSÁG, FILOZÓFIA, SPEKULÁCIÓ ÉS TUDOMÁNYOS KÖVETKEZESSÉG

Vámos Tibor

az MTA rendes tagja, kutatóprofesszor, MTA SZTAKI – vamous@sztaki.hu

Akár a filozófia és a tudomány viszonyairól is beszélhetünk, hiszen itt határokról van szó, még hozzá történelmi időben és számítási időben viszonylagos határokról, olyanokról, amelyeknek sokszor igen bizonytalan megszégyenítő elválasztják az egzakt, statisztikailag megbízható módon kísérletileg igazolt és/vagy logikailag szigorúan levezetett, tényeknek elfogadott tudományos ismereteket az ezeken túli általánosítások, gondolatfüzérék filozófiájától. Itt is rögtön bajba kerülünk, hiszen a logika maga is a tudomány és a filozófia határterülete, de határterület mindaz az ismeretelméleti megegyezés, ami az adott időpontban és az adott tudományterületen a tények elfogadására vonatkozik. A végtelen csillagos ég végtelensége más volt a mítoszokban hívó megfigyelő pástornak, más a hagyományos optikai eszközökkel dolgozó csillagásznak, és más annak a mai asztrofizikusnak, aki a modern fizika ismeret- és eszközfegyvertárával hatol fényévmilliárdok távolságaiba és évmilliárdok történéseibe. Talán ez a hasonlat is mutatja, hogy itt az adott ismeretek alapján fogalmazott világról is van szó.

A dolgot tovább bonyolítja a kiszámíthatóság egyszerre kemény és puha határmezéje. A Gödel-Turing és Church nevével jelzett és azóta is nagy egzakt erővel fejlesztett kiszámíthatóság mint objektív megismerési határ szintén folyamatosan relativizálódik, részint azzal, hogy egy valamilyen modellel leírt jelenség valóban megállapíthatóan kiszámít-

hatatlan lehet, de egy más modell ugyanazt kiszámíthatóvá teheti, a kiszámíthatóság alapmodellje, a P és NP feladatok viszonya,¹ egymással átírhatósága a most indult század egyik kiemelt matematikai alapkérdésévé lépett elő.

A matematika a bonyolultságot a kiszámíthatósággal köti össze.

A végtelen csillagos ég volt az egyik metaforánk, a metafora pedig a tudomány számára modell-hipotézis. A filozófia itt is, a metaforák használatában is közelebb áll a költészethez. A bonyolult világmodell alkotásában a gondolkodás kezdeteitől szerepelt egy másik, ehhez fűződő modell-fogalom: az atomé, azaz a világmodell felépítése egyfajta vagy könnyen megszámlálhatóan kevés alapelemből és az azok között működő, ugyancsak kevés számú kölcsönhatásból. Az egyszerű alapelemek és alapkötéseik modellje a belőlük felépülő egész kiszámíthatóságával és megérthetőségével csábított.

A helyzet ebből a szempontból azóta sem változott. Az elemi összetevők és kapcsolatok modellje a fizikában és a biológiában fényes, gyakorlati eredményekhez vezetett. Az antikvitás filozófiájának naiv spekulációja

¹ Röviden és erősen leegyszerűsítve: a P-típusú probléma polinomiális időben megoldható, azaz elvileg kiszámítható, az NP-típusú problémák és ezek további bonyolultsági fokai pedig általában már semmiféle elképzelhető géppel nem számíthatók, ha a feladatban szereplő elemek száma eléggé nagy. Gondoljunk sok elemi részecske, sok élőlény lehetséges egymás közti kapcsolatainak sokaságára!

a mai tudomány kemény eredményeiben nyert új modelltartalmat. A bonyolultság itt lép be az elemek és a nagy egész vagy egészek közé: levezethető-e, kiszámítható-e az egész és annak sok összetevőt tartalmazó egyedeinek viselkedése az elemek ismeretében? Íme, itt érintkeznek, sőt, itt válnak kérdésessé az eddig, az előzőekben körvonalazott fogalmaink. Ahol pedig a fizika, illetőleg a fizika elemeiből épített természet-tudomány nem tud folyamatos levezetést találni, belép a metafizika, a kiszámíthatatlanságok spekulatív képzeletvilágával. Rossz ez? – kérdezhetjük joggal. Jó is lehet, ha tündérvilágot képzel és varázsol, de rossz is, ha ördögvilágot teremt, márpedig a tündérvilágok utópisztikus képzelet a valóságokba ütközve gyorsan átvált ördögvilágokká, ilyen-olyan táliburalommá. Goethe a *Faust*-ban a bonyolultság máig is tanítható magyarázatát az ördög szájába adja.

A folyamatos levezetés éppen a bonyolultságok, az ezekből adódó kiszámíthatósági korlátok miatt elvben lehetetlen. Hiába ismerjük egy fiú és egy lány teljes genetikai kódját, ebből még nem tudjuk teljes bizonyossággal kiszámítani, hogy hajlandók-e másnap együtt moziba menni. A triviális példa nem rossz, hiszen azért a kód alapján sok mindent meg lehet becsülni, és előreláthatólag igen rövid időn belül még sokkal többet tudunk a vonzások és választások (Wahlverwandschaften!) biológiai determináltságairól. Így a válasz nem egyértelmű, mint ahogy sokszor nem egyértelmű a Jóé és a Rosszé, a Genezis tudásfájának különös gyümölcséé.

Itt teszünk egy fontos kitérőt, amiről kiderült, hogy nem is kitérő, hanem a magyarázatok egyenes útja. A keresett hidat az egyszerű elemek és az egészek között az evolúció időgépe építi. Korunkban válik egyre általánosabb felismeréssé, hogy az evolúció nemcsak a fajfejlődés történetének magyarázata, hanem gyakorlatilag minden bonyolultságok létrejöttének története, az elemi

részekből és elemi kölcsönhatásaikból épülő világ legáltalánosabb mozgása. A fizika a kozmológiai vizsgálatokból, a mai fizikai világ keletkezésének vélhető időszakából, a legkevésbé bonyolult kezdeti formációkból igyekszik rekonstruálni az anyag bonyolult formáinak kialakulását. A biológia szintén visszanyúl az élő anyag fejlődéstörténetéhez, ott is a legkezdetelegesebb, majdnem eleminek tekinthető alakulatokhoz, részben a rekonstruálható múlt-hoz, részben a mai, bonyolultabb szervezetekben fellelhető atavisztikus maradványokhoz. Egyre izgalmasabb képet kapunk arról, hogy elemi biológiai funkciók, így az idegfejlődés kezdetei hogyan kaptak újabb és újabb szerepeket a fejlődési bonyolódás során egészen az emberi agy létrejöttéig.

Az evolúciós időgép, a bonyolultság alakulása – az egyszerű elemből és funkcióból érthető alkotó számítógép értelmében – valóban sokban hasonló magával a számítógéppel. Hiszen a legbonyolultabb műveleteket végző számítógép is néhány azonos, egyszerű elemből épül fel, működtető programjai pedig kevés számú alaputasításból. Így valószínűleg sokkal többről van szó, mint egyszerű analógiáról. A világ ilyen, ezt is képezik le a számítógépes életjátékok, azok, amelyek néhány egyszerű képelemből és kapcsolódási utasításból mintegy véletlen módon építik szép és értelmesnek tűnő képeiket. A jobb programok, így a genetikus algoritmusokat használók a mutációs és kombinációs műveleteken túl állandó alkalmassági (fitness) ellenőrzéssel szelektálnak a gyorsan szaporodó és különben a végtelenben burjánzó változatok között.

Ez az evolúciós modell, azaz az egyszerűből és kézenfekvőből véletlen és szelekciós mechanizmussal alakulásnak feltételezése terjed a pszichológiában, etológiában és ezek eredményeiként az emberi viselkedés által meghatározott társadalmi jelenségekben, ezek között a gazdaságtanban is.

A pontos kiszámíthatóság kezdeti racionalista álmát így kevésbé az *ignoramus et ignorabimus* (nem tudjuk és nem is fogjuk tudni) Du Bois-Reymond-i metafizikus agnoszticizmus váltja fel, hanem olyan számítási és magyarázati modellek alakítása, amelyek e részben véletlen, részben logikailag jól követhető leképezéssel használható eszközt adnak a jelenségek követéséhez és némileg az előrebecsléshez is. Gyorsan gyűlnek és válnak hatékonyabbá azok a modellek, amelyek eddig becsülhetetlen folyamatokra képesek viszonylag használható előretekintést nyújtani.

Gondolkodásunk ebben a menetben gyors egymásutánban két rendkívüli eredményt mutatott fel. Az első negatívnak tűnik: a bonyolultsági, kiszámíthatósági, logikailag követhetőségi abszolút határok felismerése volt. A határok felismerése a határokon belül élő gondolkodó számára elképzelhetetlenül erős teljesítmény, félig-meddig kilépés gondolkodásunk természetes korlátaiból. A halmazelméletben sokáig vitatott kérdés volt a határok megítélése, tartozhat-e a határ és ezzel a halmaz mintegy abszolút fogalmi meghatározása a halmazhoz magához? A gondolkodás e majdnem páratlan teljesítményét próbálták és próbálják a gondolkodás kódokba burkolózó ellenfelei a gondolkodás ellen kihasználni.

A második hatalmas lépés már nem lépés, hanem hosszú, beláthatatlan végű út. Ez a felismert határok kitolása, méghozzá most nem az abszolút bizonyosságok, hanem a használható közelítések eszközeivel. Erről szólt a bonyolultság és az egyszerű kiindulások viszonyairól és mechanizmusáról adott kurta kép. Amikor a biológus azt mondja, hogy ez és ez a kódcsoport ad nagy valószínűséggel lehetőséget ennek és ennek a betegségcsoportnak a kialakulásához, és egyben elég megbízható módszert is szolgáltat ennek kikerüléséhez, akkor talán érezhetjük, hogy mi a változások lényege. Ez

nem a régiak medicinájának hol alig hatékony, hol csak babonaszzerű tapasztalati módszereivel azonos. Itt mélyen megértett folyamatok tanulságaival lépnek a bonyolultság biztonsági határain túlra. Némileg hasonló fejlődést mutat a közgazdaságtan is; így talál egymásra a korábban külön utakon futó pszichológia és a neurológiai agykutatás, amelyek éppen a neurológiai mikrojelenségek és a pszichés makroalakulások közötti hatalmas bonyolultsági távolság miatt voltak egymástól elszigetelve.

A bonyolultság tehát nem követhető abszolút számítási-logikai módon, de megközelíthető nemcsak filozófiai spekulációval, hanem eléggé kemény, a természettudományokban hitelesnek elfogadott módszerekkel. Tisztázzunk egy félreértésekre alkalmas értékelést. Az eddigiekből úgy tűnik, hogy a szerző a természettudományok magasáról lebecsüli a filozófiát. Közben persze maga is leplezetlenül filozofál, és nem felejtí el azt a tudománytörténelmi tényt, hogy a legnagyobb alkotó természettudósok többsége filozófus is volt, vagy legalábbis igyekezett természetismerés eredményeiből egy általánosabb filozófiai világgépet alakítani. Ez a kétségtelenül a spekulációk felé való elindulás szerényebben vagy igényesebben minden ember sajátja, alapvető és a gondolkodást gerjesztő vonásunk, szoros kapcsolatban azzal, hogy az ember tudatos lény, aki elválasztja magát a világ többi részétől, azzal a vággyal, hogy ebben az elválasztásban keresse meg a maga helyét.

A spekuláció ebben az értelemben tehát nem leértékelő megjelölés, de meghatározza szerepét az erősebben bizonyítható és gyakorlatban használható modellekkel szemben, felhívja a figyelmet arra, hogy a spekuláció, ha gyakorlatot követelő módon lép fel, metafizikai és valós veszedelemmé változhat.

Most lép be az az ismeretelméleti és gyakorlati fordulat, ami a határok és azok közelítő túllépése, a bonyolultság kezelése nyomán

válik fontossá. A bonyolultságot kezelő modellekről tudatosan tudjuk, hogy nem azonosak a valósággal, hanem annak egyik lehetséges, a bonyolultságok adott feltételei, körülményei között eléggé meghatározható módon és határok figyelembevételével gyakorlatilag használható modellje. Az *ignoramus et ignorabimus* az abszolút „igazságra”, a végső megértésre és számíthatóságra vonatkozik, éppen a bonyolultság elméletében felismert határai alapján. A végső „igazság” ezen túl létezhet, azaz ezen túli absztrakció, a világ végtelen időbeli, térbeli és egyedi jelenségbeli totalitásának elérhetetlen ismerete. Ezért veszedelmes az ilyen ismeret birtoklásának küldetésadata, a talibizmus vagy akármi más, a történelemben hasonló igazságbirtokló tudat kicsiben és nagyban.

A viszonylagos megközelítés tudata szerénységre, óvatosságra, de hasznos ismeretek kimeríthetetlen megszerzésére és alkalmazásának kísérletezésére ösztönöz. Ez az új nézetvilág, aminek előnyomai már a görög antikvitásban, talán legjobban Prótagorasznál megtalálhatóak, hatalmasan kitágítja a gondolkodást, a kutatást és eredményességének lehetőségeit, a világról alkotott és szilárdnak hitt, de valójában igen törékeny képek helyére egy mintegy együttmozgó, rugalmasan változó világképet hoz létre. Idézhetjük a mechanika hasonlatát: a mereven rögzített szerkezetek törékenyek, míg a természetes mozgásnak engedő szabad konstrukciók idő- és terhelésállóak. Ezért nyugszanak a hidak pillérei elfordulást megengedő alapokon. A viszonylagosságok, a modellérvényességi határok tudata adja a biztonságos alapot.

Ebben a tükröben az új paradigmák tudománytörténeti értelmezése kicsit módosul, erősebben az ezt követő „minden lehetséges” jelszavú relativista tudomány szemlélet. Korlátozás nélkül nem lehetséges minden, hanem csak az olyan modellek, amelyek a próbákat kiállták, vagy előbb-utóbb kiállják.

Ennek legfényesebb példája a relativitás általános elmélete. Új paradigma pedig nem a meghirdetéssel kezdődik, hanem általában a szabad tudományos gondolkodás hosszú előéletű és bátor haladású nyomain. A görög antikvitást idézve is volt már egy-két utalásunk, a nagy felfedezések és gondolkodásváltások történetét ha nem a történelem héroszmeséinek utánzásaként írják meg, akkor általában az elődök gondolatai között bizonyíthatóan voltak jelen, és a kiteljesedés idején mintegy a levegőben voltak. Ezért is annyi a nagy felfedezések körüli prioritásvita.

Nemcsak a kvantumelmélet tükrében, hanem egész modellalkotó és modellhasználó munkánkban másképp tekintünk a valószínűségekre. Nem a vak véletlen játékként, hanem a végtelen bonyolultságú világ végtelen sok arcának pillanatnyi és körülményektől függő megjelenéseként, tűnő de mégis jelenlevő és felhasználható „igazság”-ismeretként. Nem kell külön hangsúlyozni, hogy ez a valósághoz közelebb álló szemlélet milyen nagyságrendekkel fokozott erkölcsi felelősséget ró azokra, akiknek a bonyolultságokat közelítő modellek alapján kell döntéseket hozniuk, főleg más emberek, embercsoportok más világmodellű világának ügyeiben.

Van-e ezután fix pont? Eddig se volt, csak hittük, hogy van, és ez a fentiek szerint inkább félrevezető, mint vezető volt. Visszatérhetünk Prótagoraszhoz, azaz a mi világunk zártságának határaihoz, az emberhez. Ez viszonyítási pontunk, most már kicsit kibővítve az embert körülvevő, létünket meghatározó természettel. A bonyolultság e határokon belül is végtelen, nemcsak az emberek milliárdjainak egyéni különbözősége, hanem a bennünk és velünk lejátszódóknak végtelensége miatt is. Igyekszünk szerény és pragmatikus modellekkel becsülni, számíthatni.

Kulcsszavak: *tudomány, filozófia, bizonytalanság*