

2022년 KMTNet 워크숍

2022-08-30

DEEP-South team (DEEPS)

- (1) 2기 2차년도 결과
- (2) 2기 3차년도 계획

KMTNet-DEEPS 2기 2차년도 결과

논문 출판 3편, 제출 1편
소행성 신규 발견 22건
(TNO 21개, NEO 1개)
보도자료 1건

2기 2차년도 DEEPS 관측시간 배정

| 관측소 | 관측기간 | 관측시간(hour) | 비고 |
|-----------|---|------------|------------------------------------|
| 칠레 | 2021.10.01 – 2022.09.30 | 188.8 | 7, 8월 비항성추적 시험 테스트 관측 실시(ENG time) |
| 호주 | 2021.10.01 – 2022.09.30 | 256.5 | MMA 과제의 요청으로 3, 4월 관측시간 일부 교환 |
| 남아공 | 2021.10.01 – 2022.09.30 | 258.0 | |
| DEEPS 비시즌 | <ul style="list-style-type: none"> • 3개 관측소 동일 2021.04.26 - 2022.08.04 관측시간 없음 (외계행성 관측시즌) • 3개 관측소 동일 2021.10.15 - 2022.03.01 관측시간 없음 (딥-사우스 요청사항) | | |

논문실적

• Published (3)

- 이희재, 김명진, 문홍규, 최영준 외 (2022) **Refinement of the convex shape model and tumbling spin state of (99942) Apophis using the 2020-2021 apparition data**, A&A, 661, L3
- Reddy, V., 최영준, 김명진, 이희재, 문홍규 외 (2022) **Apophis Planetary Defense Campaign**, PSJ, 3, 123
- Durech, J., 김명진, 최영준, 이희재, 문홍규 외 (2021) **Rotation acceleration of asteroids (10115) 1992 SK, (1685) Toro, and (1620) Geographos due to the YORP effect**, A&A, 657, A5

• Submitted (1)

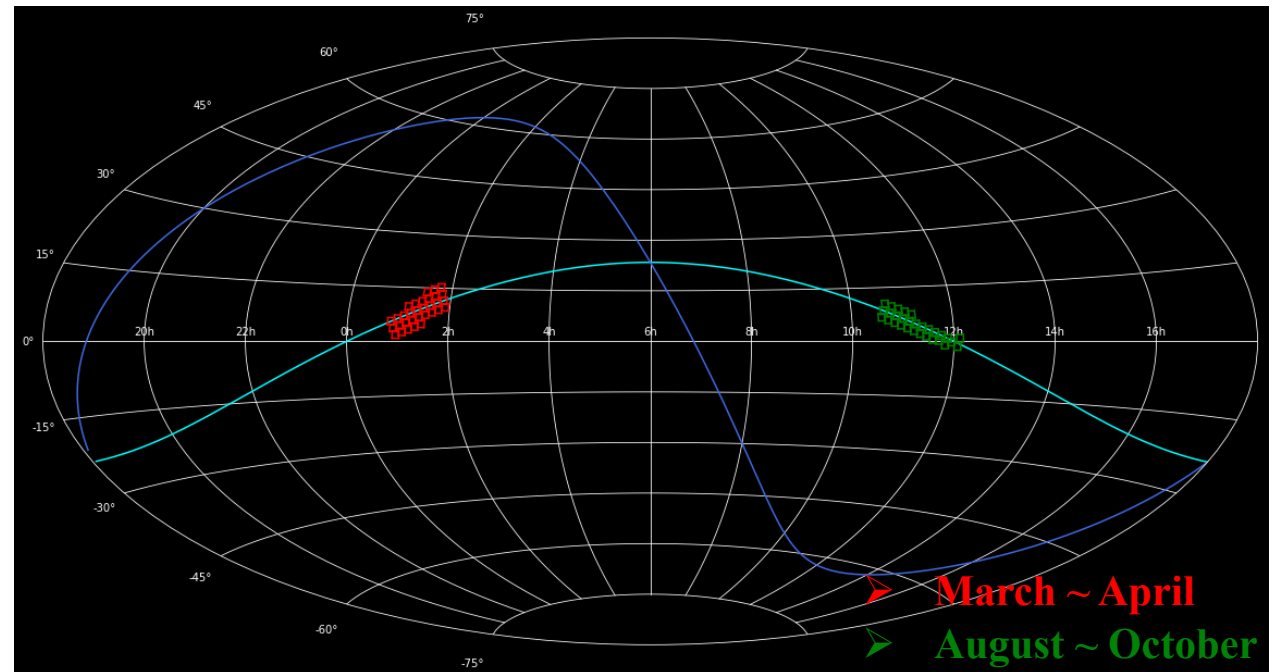
- 최상호, 문홍규, 노동구, 김명진 외 (2022) **Taxonomic Classification of Asteroids using KMTNet Multi-band Photometry Dataset**, Submitted to PSJ

• In prep. (2)

- 이희재, 김명진, 문홍규 외, **Asteroid Light-Curve Survey Using KMTNet**, ApJS, 2023년 상반기 제출 예정
- 양홍규, 문홍규, 최영준 외, **Monitoring observation of brightness enhancements in main-belt asteroids: Collisional activity and size-frequency of decimeter sized objects**, 2023년 상반기 제출 예정
- 김동훈, 김명진, 문홍규 외, **Rotational properties of Baptistina asteroid family**, AJ, 2023년 상반기 제출 예정

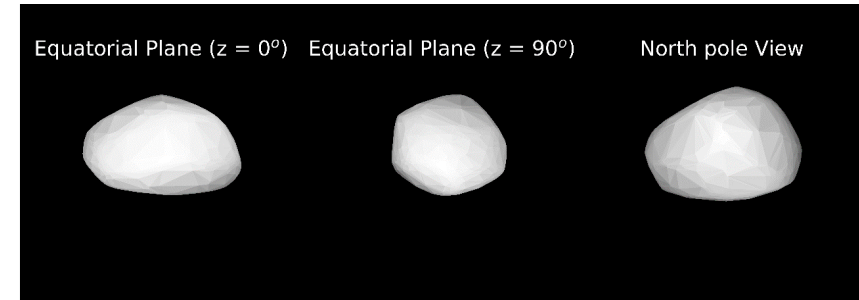
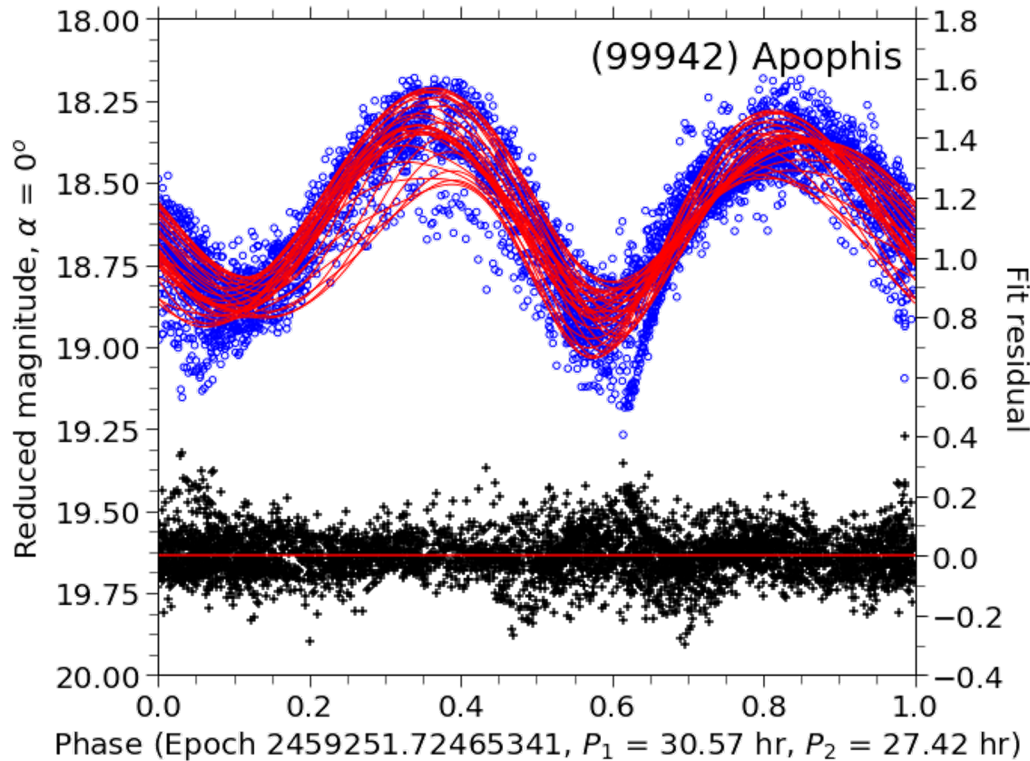
Lightcurve Survey

- To obtain asteroid lightcurves through observation of the ecliptic plane
 - Exposure time : 140 sec (limited magnitude : ~21 mag)
 - Cadence: 25 min
 - Network observation (long period asteroid observation : > 12 hour)
 - Required observation time: (average) half-nights observation
 - Total duration : 2 month
 - Monthly observation days : more than 7 days
 - Simultaneous operation of 3 sites in each observation day
 - Total days : 14 half-nights/site = 56 hour/site
- Results
 - 2021. 10 ~
 - Cousins R-filter
 - Observed asteroids : ~25,000
 - Period detection : ~3,000



대표 연구 실적(1/3): Apophis – shape & spin state

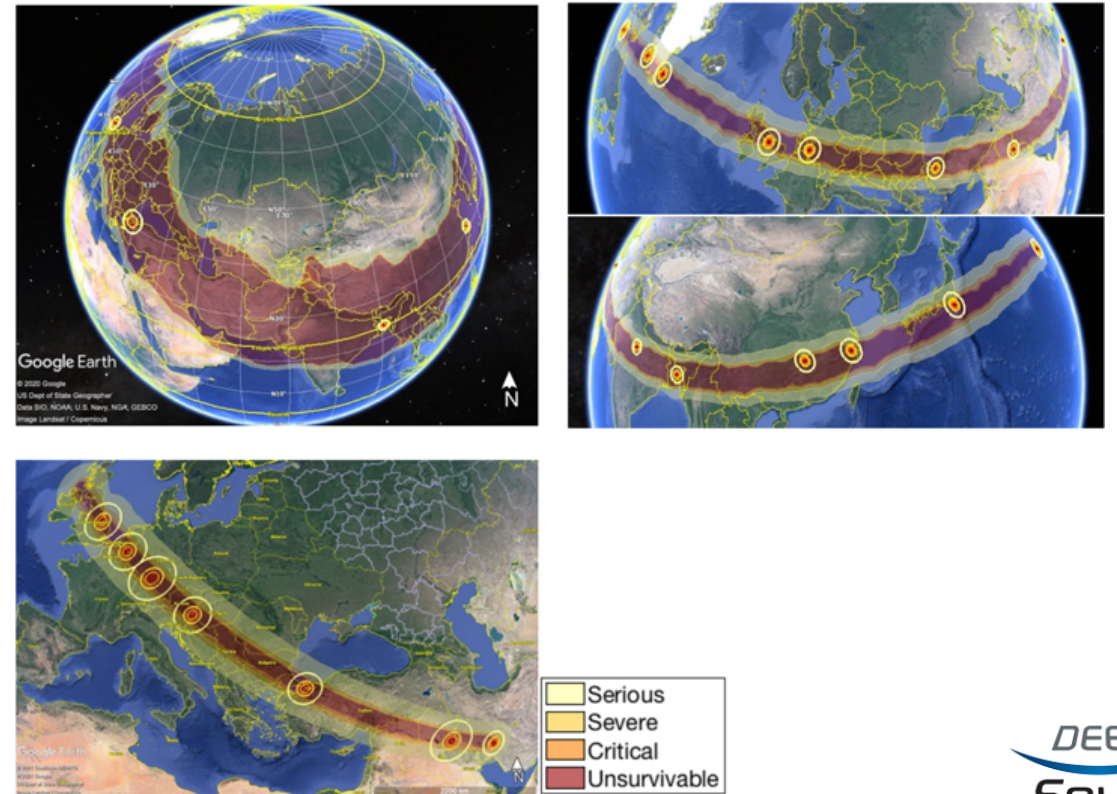
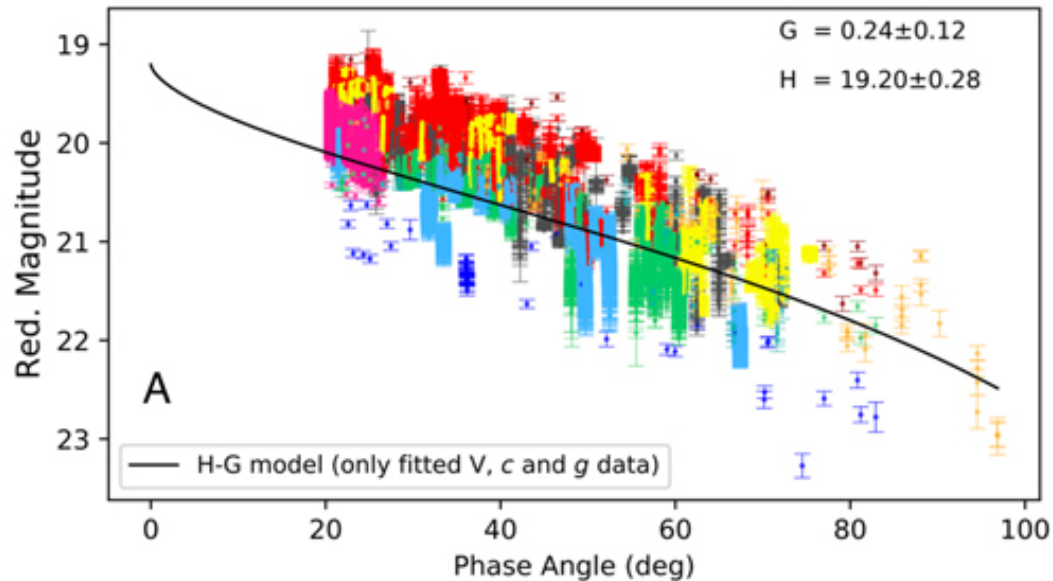
- Refined the shape model and spin states



| | This Work | Pravec et al. (2014) |
|-------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| λ_L [deg] | 278^{+9}_{-8} | 250 ± 27 |
| β_L [deg] | -86^{+5}_{-4} | -75 ± 14 |
| P_ψ [hour] | 264.18 ± 0.03 | 263 ± 6 |
| P_ϕ [hour] | 27.3855 ± 0.0003 | 27.38 ± 0.07 |
| ψ_0^a [deg] | 3^{+5}_{-1} | 14^{+44}_{-11} |
| ϕ_0^a [deg] | 183^{+7}_{-4} | 152^{+173}_{-64} |
| I_a/I_c | $0.64^{+0.02}_{-0.09}$ | $0.61^{+0.11}_{-0.08}$ |
| I_b/I_c | $0.962^{+0.023}_{-0.002}$ | $0.965^{+0.009}_{-0.015}$ |
| $a_{\text{dyn}}/c_{\text{dyn}}$ | 1.48 ± 0.19 | 1.51 ± 0.18 |
| $b_{\text{dyn}}/c_{\text{dyn}}$ | 1.06 ± 0.04 | 1.06 ± 0.02 |
| $a_{\text{shape}}/c_{\text{shape}}$ | 1.56 ± 0.04 | 1.64 ± 0.09 |
| $b_{\text{shape}}/c_{\text{shape}}$ | 1.12 ± 0.03 | $1.14^{+0.04}_{-0.08}$ |
| E/E_0 | 1.018 ± 0.010 | 1.024 ± 0.013 |

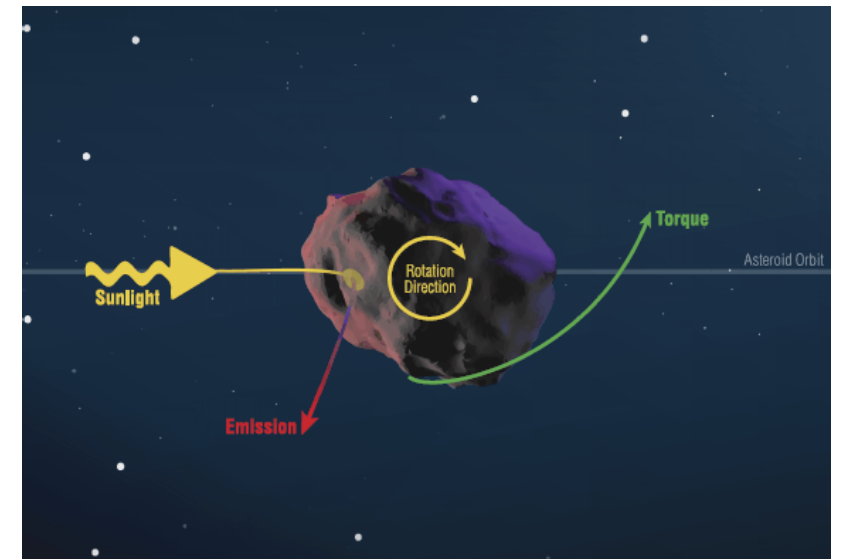
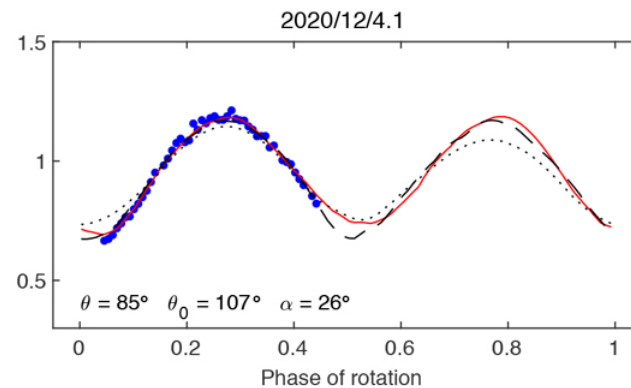
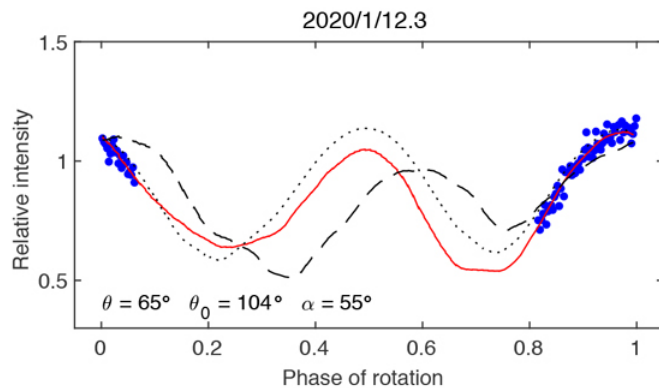
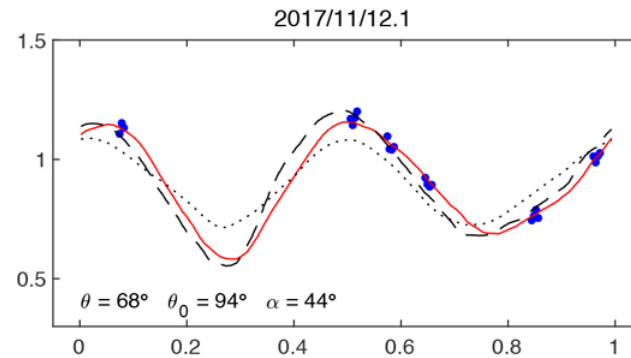
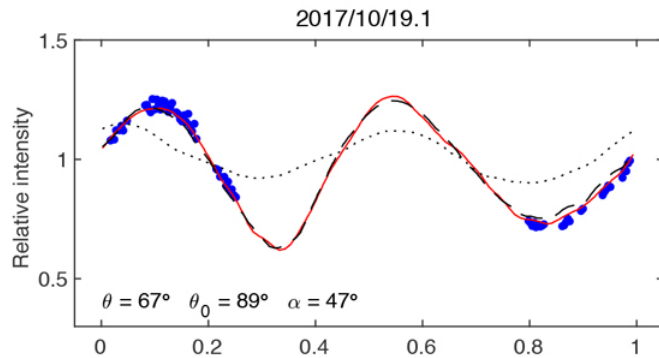
대표 연구 실적(2/3): Apophis – planetary defense campaign

- To recover, track, and characterize Apophis as a potential impactor to exercise the planetary defense system



대표 연구 실적 (3/3): YORP effect detection

- Detected rotation acceleration of asteroids (10115) 1992 SK, (1685) Toro, and (1620) Geographos due to the YORP effect



신천체(TNO) 발견

| | a (au) | period | e | q (au) | inc (deg) | H mag | diameter (km) | arc length | hel. dist. (au) | orbit type |
|------------|--------|---------|-------|--------|-----------|-------|---------------|------------|-----------------|----------------|
| 2019 GJ23 | 43.8 | 290 yr | 0.075 | 40.5 | 0.5 | 7.0 | 164 | 2171 d | 43.0 | Cold Classical |
| 2019 GM140 | 36.3 | 219 yr | 0.077 | 33.5 | 4.7 | 7.5 | 135 | 6995 d | 35.3 | 4:3 resonant |
| 2020 DH6 | 43.9 | 291 yr | 0.039 | 42.2 | 1.1 | 8.0 | 105 | 759 d | 42.2 | Cold Classical |
| 2020 DJ6 | 43.4 | 286 yr | 0.084 | 39.8 | 0.5 | 7.1 | 163 | 1086 d | 45.8 | Cold Classical |
| 2020 BQ63 | 42.6 | 278 yr | 0.029 | 41.4 | 3.2 | 7.6 | 126 | 1084 d | 41.4 | Cold Classical |
| 2021 GU122 | 60.5 | 471 yr | 0.325 | 40.9 | 11.6 | 7.5 | 136 | 1865 d | 41.2 | Detached |
| 2021 GW122 | 42.6 | 278 yr | 0.073 | 39.5 | 0.5 | 7.7 | 122 | 361 d | 41.6 | Cold Classical |
| 2022 FH9 | 35.0 | 207 yr | 0.060 | 32.9 | 5.6 | 8.3 | 94 | 371 d | 34.6 | 5:4 resonant |
| 2022 FR6 | 44.1 | 293 yr | 0.076 | 40.7 | 7.1 | 7.4 | 137 | 757 d | 45.4 | Cold Classical |
| 2022 FA7 | 44.0 | 292 yr | 0.306 | 30.5 | 15.0 | 6.6 | 204 | 354 d | 50.9 | Scattered |
| 2022 FG12 | 44.5 | 297 yr | 0.279 | 32.1 | 21.4 | 8.2 | 96 | 788 d | 39.3 | Scattered |
| 2022 FK12 | 47.4 | 326 yr | 0.015 | 46.6 | 24.2 | 7.3 | 144 | 3268 d | 46.7 | Scattered |
| 2022 GY3 | 42.1 | 273 yr | 0.097 | 38.0 | 1.8 | 7.4 | 140 | 7714 d | 38.0 | Cold Classical |
| 2022 GZ3 | 41.6 | 269 yr | 0.075 | 38.5 | 15.8 | 7.6 | 127 | 354 d | 40.7 | Hot Classical |
| 2022 GP4 | 43.6 | 288 yr | 0.117 | 38.5 | 9.5 | 8.1 | 99 | 362 d | 38.8 | Hot Classical |
| 2022 GV6 | 133.3 | 1538 yr | 0.713 | 38.3 | 13.7 | 8.1 | 103 | 5413 d | 40.9 | Detached |
| 2022 GG7 | 43.6 | 288 yr | 0.066 | 40.7 | 2.1 | 7.1 | 159 | 373 d | 44.3 | Cold Classical |
| 2022 HE1 | 42.8 | 280 yr | 0.068 | 39.8 | 0.8 | 6.8 | 185 | 1113 d | 40.2 | Cold Classical |
| | | | | | | | | | | |
| | a (au) | period | e | q (au) | inc (deg) | H mag | diameter (km) | arc length | hel. dist. (au) | orbit type |
| 2019 GO140 | 34.3 | 201 yr | 0.106 | 30.6 | 5.5 | 7.4 | 141 | 6 d | 36.6 | Not confirmed |
| 2019 GR140 | 40.7 | 259 yr | 0.101 | 36.6 | 1.4 | 6.8 | 180 | 6 d | 40.1 | Not confirmed |
| 2019 GB143 | 40.7 | 259 yr | 0.101 | 36.7 | 1.1 | 7.3 | 146 | 8 d | 39.5 | Not confirmed |
| 2021 GV122 | 39.2 | 246 yr | 0.086 | 35.9 | 17.1 | 8.5 | 84 | 7d | 35.9 | Not confirmed |
| 2022 FM12 | 158.8 | 2001 yr | 0.663 | 53.5 | 172.5 | 6.5 | 211 | 2 d | 53.5 | Not confirmed |
| 2022 FN12 | 136.2 | 1590 yr | 0.566 | 59.1 | 178.5 | 6.3 | 227 | 2 d | 59.2 | Not confirmed |
| 2022 GN14 | 91.0 | 868 yr | 0.562 | 39.9 | 7.8 | 7.4 | 142 | 15 d | 39.9 | Not confirmed |
| 2022 HK5 | 32.6 | 186 yr | 0.101 | 29.3 | 2.9 | 7.7 | 121 | 4 d | 31.5 | Not confirmed |
| 2022 HW5 | 39.3 | 246 yr | 0.101 | 35.3 | 2.8 | 7.5 | 135 | 2 d | 42.9 | Not confirmed |

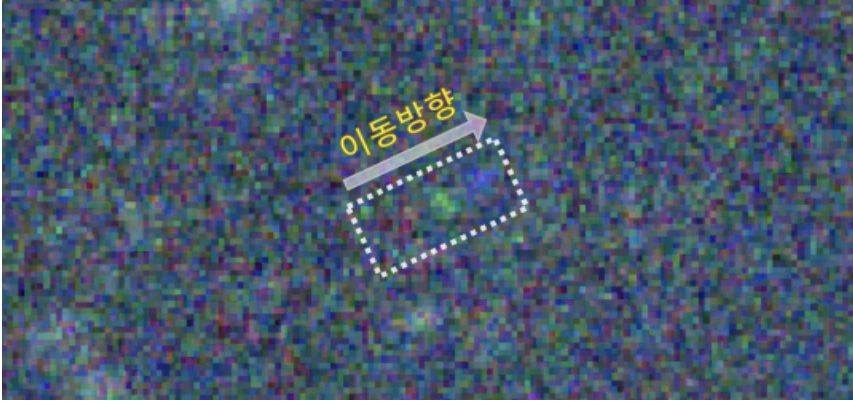
두 해 이상 관측
N = 18

짧은 관측
(궤도 미확정)
N = 9

KMTNet으로 총 26개 발견. (2022년에 21개 신규/추가 관측)

전세계 2019-2022년 발견된 TNO의 약 1/3 차지 (대부분 4m급 이상 망원경으로 발견)

TNO 발견 방법



2022 GV6 발견 당시 이동 RGB 합성 영상

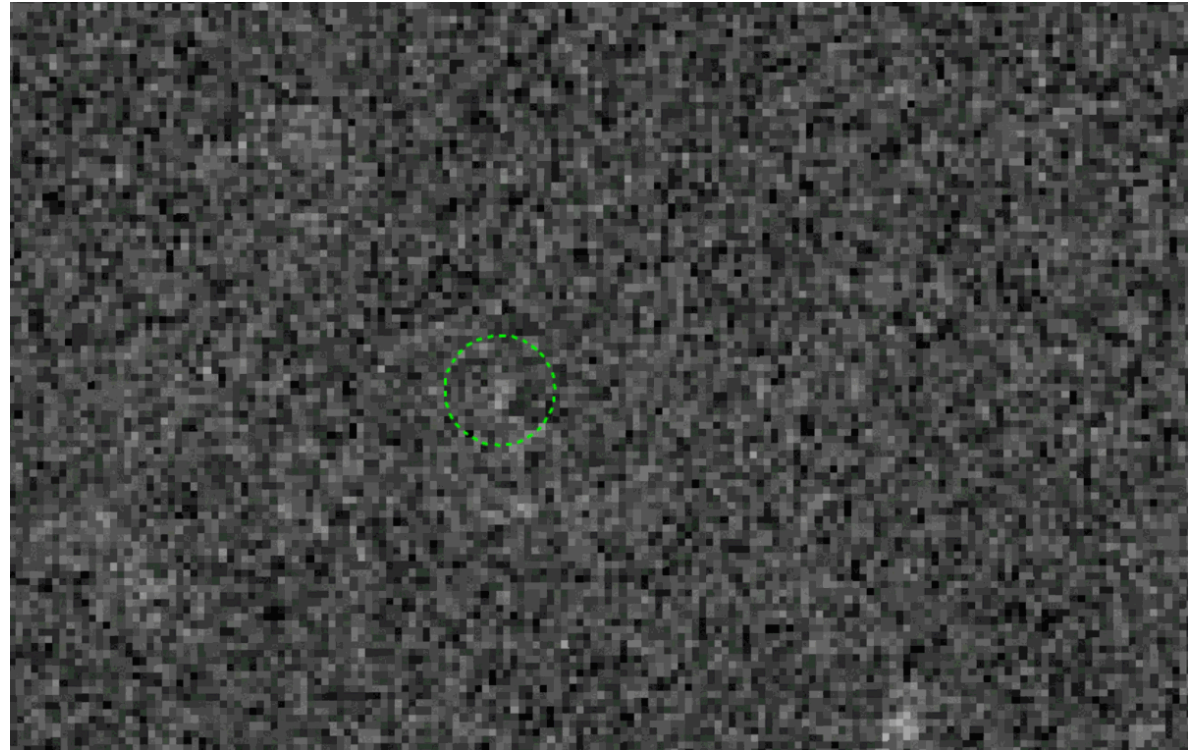
- 2시간 동안 지속 촬영
- 4분 노출 영상 30장 사용
- 소천체의 이동 속도에 맞춰서 shift & stacking 적용

발견 이후에 수 일 안에 후속 관측이 필요 -> MPC 보고 후 임시명 얻음

발견 파이프라인을 개발은 했으나, 어두운 천체는 광원으로 인식조차 하지 못함

실질적으로 어두운 천체는 훈련된 눈으로 찾는 방법밖에 없음

궤도 추정이 다른 소천체에 비해 어려우나, 이듬해 recovery하기에는 쉬움



2022 GV6 거북이

- 2022년 발견, 2021년 영상에서 역으로 찾음
- 2019, 2014 DECam 자료에서 precovery
- 2007년 마우나케아 자료에서 발견
- 궤도 주기 1,538년, 궤도 장반경 133AU
- 근일점(2005년) 38AU, 원일점 228AU
- 궤도 장반경 >150AU, 근일점 >30AU면 extreme TNO로 분류
- 해왕성의 영향을 벗어난 분리천체(detached object)
- 해왕성 주기 165년의 9배 (9:1 공명?)
- 주기 1,500년 이상인 천체는 현재 73개 발견됨
- 이 중 근일점이 GV6보다 먼 천체는 41개
- 이 중 관측기간 15년보다 오랜 관측 기간을 가진 천체는 5개
- 별명 '거북이' (특히 소천체에는 별명을 붙여주는 문화)



TNO 발견 관련 보도자료 다수 보도

★ 이 자료는 배포 즉시 보도 가능합니다.

| | |
|---------------------------------------|---|
| 보도자료 2022. 6. 9(목) 09:00 |  우리는 우주에 대한 근원적 의문을 과학으로 답한다. 한국천문연구원 Korea Astronomy and Space Science Institute |
| | 한국천문연구원 대국민홍보팀 정혜임 ☎ 042-865-2195 대국민홍보팀 정동민 ☎ 042-865-3280 |

< 문의 > ☎ 042-869-5838, 우주과학본부 우주탐사그룹 정안영민 박사후연구원
 ☎ 042-865-3521, 우주과학본부 우주탐사그룹 문홍규 책임연구원

태양계 끝자락 맴도는 천체 26개 발견

- KMTNet 망원경으로 해양성바깥천체 다수 발견
- 태양 공전에 1,500여년이 걸리는 천체 2022 GV6 발견

■ 한국천문연구원(이하 ‘천문연’)은 지난 2019년부터 최근까지 태양계 가장 바깥에 있는 무리의 천체 26개를 발견해, 소행성센터(Minor Planet Center)로부터 공인받았다. 이는 최근 3년간 천문학자들이 보고한 해양성바깥천체(이하 TNO, Trans Neptunian Object) 86개 중 약 1/3을 차지한다.

※ TNO: 태양계 최외곽 행성인 해왕성 너미에는 태양계 초기의 역사를 간직한 많은 소천체들이 공전하며 이를 TNO라 부른다. 우리에게 가장 잘 알려진 TNO는 명왕성이다.

□ 이번 발견은 천문연이 칠레, 호주, 남아공에서 운영 중인 외계행성탐색 시스템(이하 KMTNet, Korea Microlensing Telescope Network) 중 칠레

동아사이언스

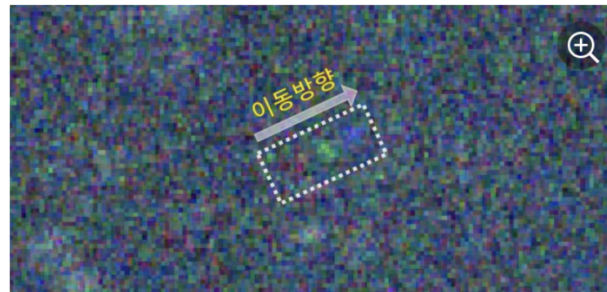
과학

태양계 끝자락 맴도는 천체 26개 발견...태양계 초기 역사 '실마리'

2022.06.09 18:06

가 가

| 한국천문연구원 KMTNet



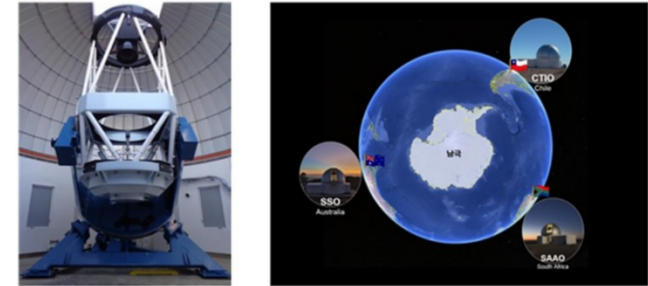
KMTNet 망원경으로 찍은 2022 GV6 관측 영상. RGB 합성을 위해 4분 노출로 촬영된 영상 30장이 사용됐다. 두 시간에 걸쳐 배경별 사이를 적-녹-청의 순서로 느리게 이동하는 2022 GV6의 희미한 모습이 보인다. 천문연 제공.

한국천문연구원은 태양계 가장 바깥쪽을 맴도는 천체 26개를 새롭게 발견했다고 9일 밝혔다. 최근 3년간 천문학자들이 보고한 해양성바깥천체(TNO) 86개

NEWSIS

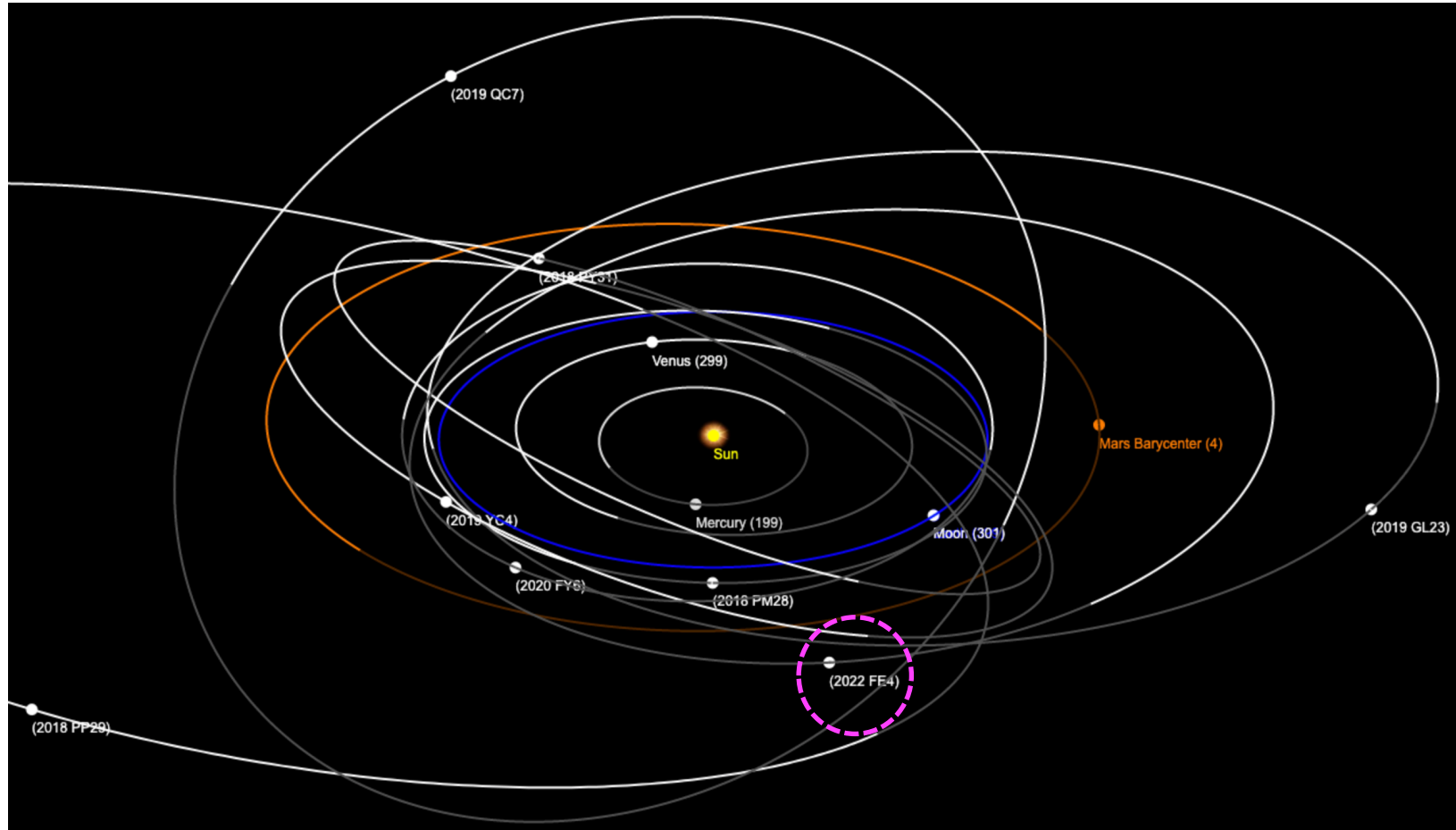
TNO는 너무 멀고 어둡기 때문에 대부분 대형망원경을 통해 발견한다. 다른 기관이 발견한 60개의 천체는 모두 KMTNet보다 구경이 큰 망원경으로 관측됐으며, 주로 4m급 내지 8m급 대형 망원경이 이용됐다. 이번 성과는 작은 체급에도 불구하고 자체 시설로 상대적으로 긴 시간을 투자해 이뤄낸 성과라고 천문연은 강조했다.

외계행성탐색시스템(KMTNet, Korea Microlensing Telescope Network)



태양계 초기 진화 당시 많은 천체들은 서로 충돌하거나 궤도를 바꾸는 이주 현상이 발생했다고 추측하고 있다. 그러나 TNO의 상당수는 태양계가 형성될 때부터 화석처럼 변하지 않고 같은 궤도를 돌고 있다. 따라서 동일한 궤도를 돌고 있는 TNO의 궤도 분포를 연구한다면 태양계 초기 역사를 파악할 수 있으리라 추정된다.

2022 FE4 (신규 NEO, Amor 족)



지금까지
KMTNet 으로
발견한 근지구
소행성은 모두
8개

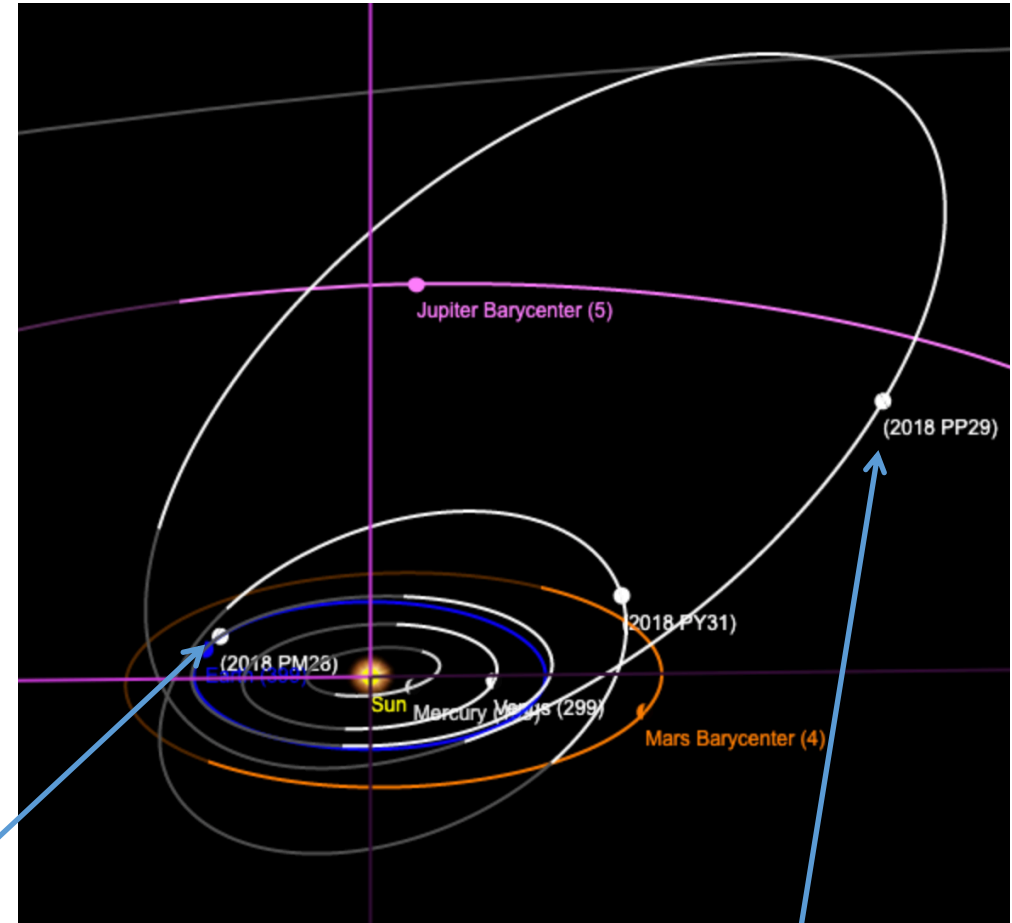
KMTNet으로 발견한 NEO 궤도 (2022년 8월 30일 현재)

KMTNet-DEEPS 2기 3차년도 계획

DEEP-South team
(DEEPS)

Two survey modes + Targeted observations

- **LS (Lightcurve Survey)**
 - AS (Activity Survey)
 - TC (Taxonomy Classification)
- **DS (Deep drilling Survey)**
- **AF (Asteroid Family)**
- **ToO**

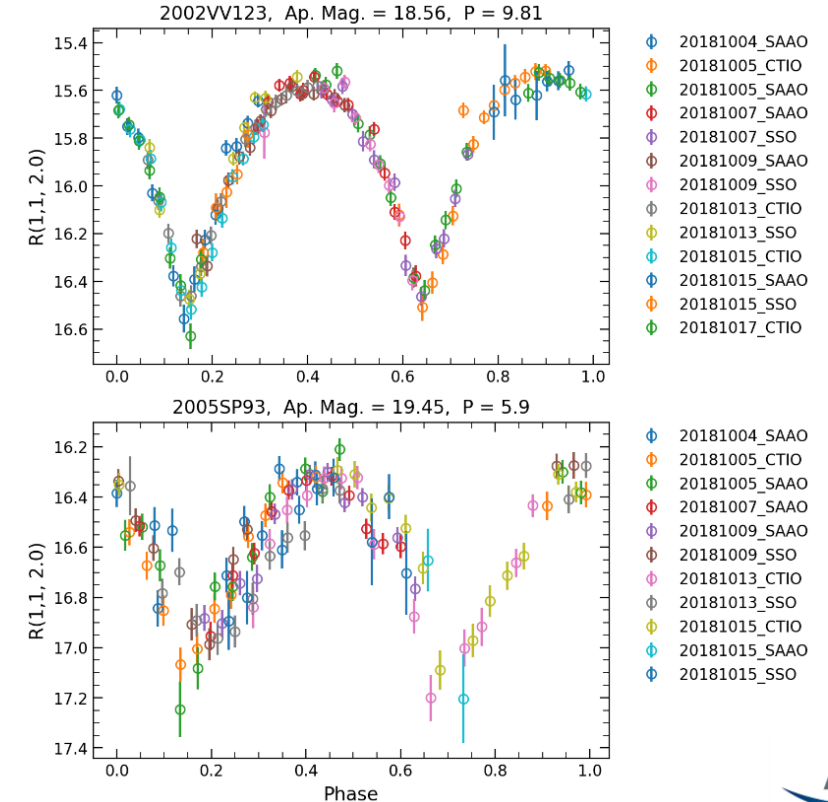


Near Earth Asteroid
(also NHATS target)

Potentially Hazardous Asteroid

Lightcurve Survey

- **LC: Basic parameter of asteroid itself & key parameter of Solar system history**
- To obtain asteroid lightcurves through observation of the ecliptic plane
 - Exposure time : 150 sec (limited magnitude : ~21 mag)
 - Network observation (long period asteroid observation : > 12 hour)
 - Required observation time: (average) half-nights observation
- Example LCs for KMTNet observation
 - 2018. 10. 04 ~17 (14 night), Exposure time : 90 sec
 - Reasonable LCs ~1,000
- Expected Output
 - Obtain lightcurves and color indices of $>10^3$ asteroids
spin state, shape, and taxonomy
 - Find the unusual spin state of asteroid
SFR($>10^0$), NPA rotator($>10^1$), and Binary Asteroid ($>10^1$)
 - Reconstruct the physical model of asteroids
normal asteroid ($>10^2$), unusual spin state ($>10^0$)



H.-J. Lee+
(in prep)

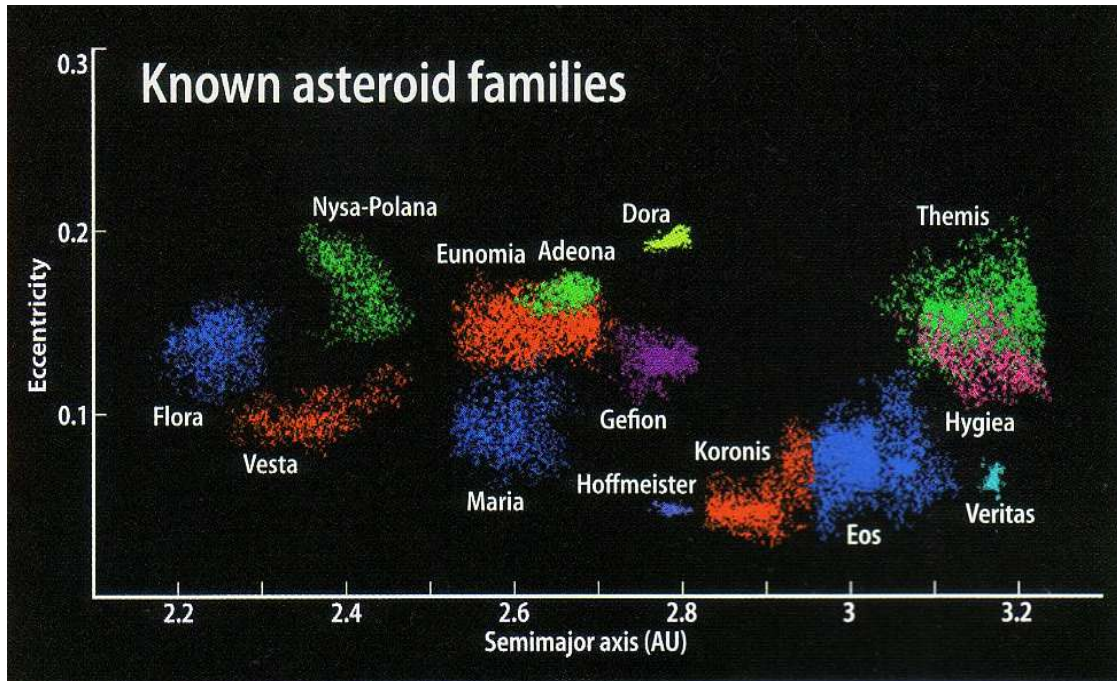
Deep drilling Survey

- Survey purpose : discovering unusual objects
 - Distant objects beyond Jupiter's orbit focusing on resonant or scattered objects to understand migration history of Solar System
 - Near Earth Objects to monitor threats from the sky in the Southern Hemisphere
- Targeting survey field : $\beta = -30^\circ$ avoiding galactic plane
- Cadence and Filter
 - 3 visits per observation field per day
 - 3 consecutive exposures (180s each) for each visit
 - Clear (R) filter observation
 - Shift-and-stacking method will be used for distant objects
 - 90 hours in total observation per year (13% of DEEP-South time, mainly at CTIO)
- Five extreme objects (distant objects+NEOs) discovery per year



오무아무아
(출처: ESO)

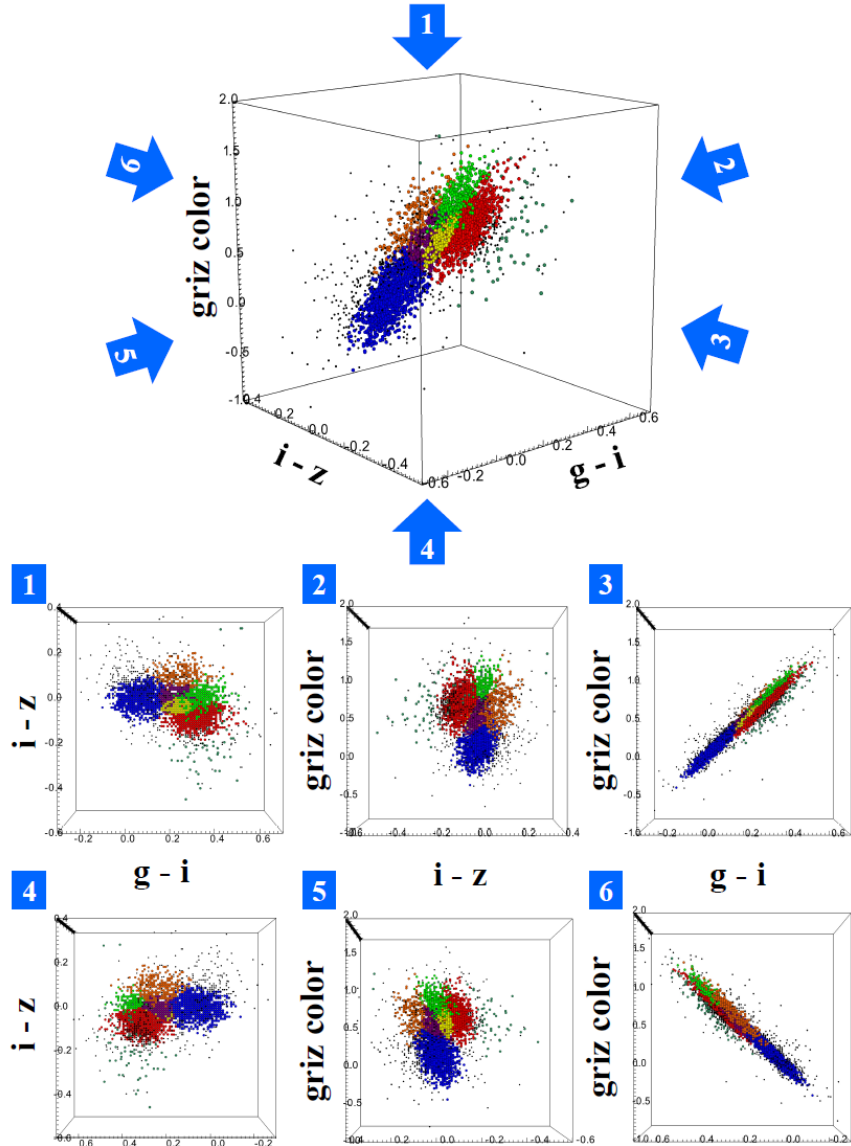
Asteroid Family



소행성 종족(Asteroid family) 궤도 평면 분포 (Roen et al. 2002)

- Asteroid families carry critical information on **collisional history** and **dynamical evolutions** of the whole asteroid population (Nesvorný et al., 2015).
- **Catastrophic disruptions** shattered these asteroids, leaving swarms of bodies behind that evolved dynamically under **gravitational perturbations** and the **Yarkovsky effect** to their present-day locations, both in the Main Belt and beyond.
- The forces of the family-forming impact and the gravitational re-accumulation of the collisional products also left imprints on the **shapes, sizes, spins, and densities** of the resultant family members.
- By studying the physical properties of the collisional remnants, we can probe **the composition of the parent asteroids**, important **source regions** of transient populations like the near-Earth objects, and the **physical processes** that asteroids are subjected to on million- and billion-year timescales (Masiero et al. 2015).

Taxonomy Classification



MOC 4 + DeMeo & Carry Dataset(Control Points)

- DeMeo et al. (2009)
- 0.44~1.10 μm
- ~400 VIS-IR reflectance spectra

1st axis : **(g-i) color** for spectral slope

2nd axis : **(i-z) color** for the depth of the 1 μm band,

3rd axis : **(g-r) + (g-i) + (g-z) colors**

We apply 3D_TC Scheme to KMTNet colors.

→ quick & easy TC for moving objects

→ reconstruction of dynamical and mineralogical evolution histories for small body population (e.g. asteroid dynamical families)

KMTNet 2기 3차년도 관측일정 요구사항

- 기본적으로 2기 1-2차년도 관측일정 요구사항과 동일함
- 2022년 11월에서 2023년 2월까지 관측시간 요청하지 않음
- 배정되는 관측 일은 이전과 동일하게 격일 배정, 3개 관측소 같은 날 배정을 선호함
- 관측 배정일들 사이 간격이 5일 이상 떨어지면 안됨(사이트 상관없음)
- 하루밤에 최소 3-4시간 이상이 요구됨
- 2022년 10월: 10/1-10/15를 선호함
- 2022년 3-4월의 월령 좋은 날 CTIO 관측이 반드시 필요함

감사합니다!