สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ
บริบทใหม่ดาราศาสตร์ไทย

ยุทธศาสตร์สู่การเป็นสถาบันวิจัยดาราศาสตร์ระดับโลก
เพื่อเป็นแบบอย่างในการเปลี่ยนแปลงประเทศไทย

สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)
กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

ดาราศาสตร์นับเป็นศาสตร์ที่มีขอบเขตกว้างขวางยิ่ง เพราะศึกษาครอบคลุม “ทุกพื้นที่” ตั้งแต่อวกาศใกล้โลกไปยังดาราจักรที่ห่างไกลที่สุด และ “ทุกเวลา” จากต้นกำเนิดของสรรพสิ่งเมื่อ 13,700 ล้านปีในอดีต ไปยังการทำนายวิวัฒนาการของจักรวาลในหลายหมื่นล้านปีข้างหน้า การศึกษาเหล่านี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อเข้าใจจักรวาลที่เราอาศัยอยู่ เข้าใจต้นกำเนิดของสิ่งมีชีวิตทรงภูมิปัญญาบนโลก เพื่อให้มนุษย์รู้จักตัวเอง รู้ตำแหน่งของตนในจักรวาล และสามารถปรับตัวให้เข้ากับธรรมชาติเพื่อความอยู่รอดได้ ด้วยขอบเขตอันกว้างขวางนี้ ทำให้ดาราศาสตร์เป็นศาสตร์ที่มีความท้าทายยวดยิ่งเฉพาะตัว

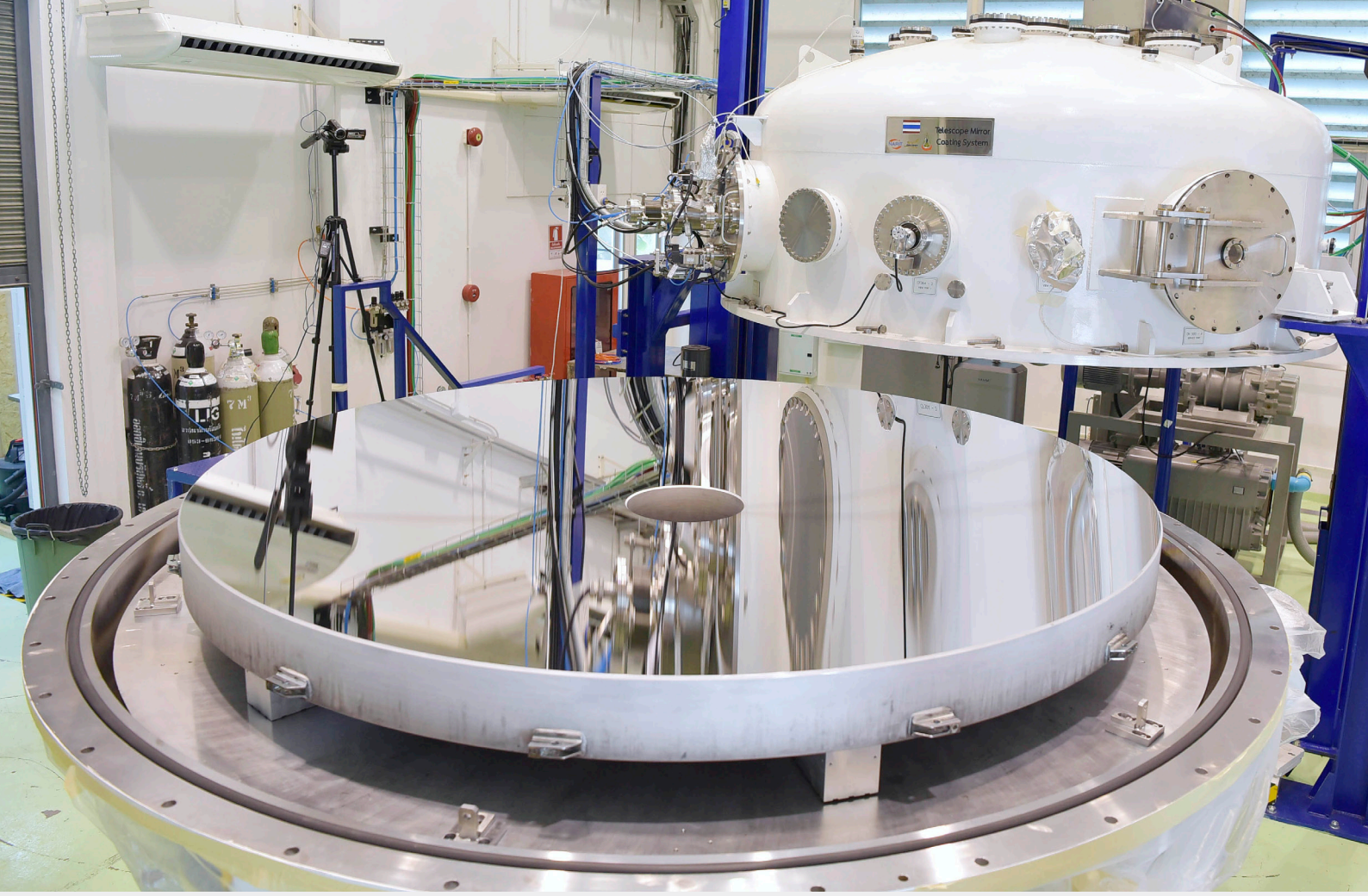
สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) หรือ สดร. มุ่งใช้โจทย์ที่ท้าทายที่สุดทางดาราศาสตร์ เป็นเครื่องมือผลักดันนวัตกรรมล้ำหน้า ผลักดันเทคโนโลยีที่ต้องคิดค้นขึ้นเพื่อใช้ในงานวิจัย (เช่น Wi-Fi ที่เกิดขึ้นเป็นผลพลอยได้จากการวิจัยดาราศาสตร์วิทยุ ฯลฯ) ใช้ดาราศาสตร์เป็นเครื่องมือสร้างจินตนาการ สร้างแรงบันดาลใจในการศึกษาวิทยาศาสตร์ สร้างตัวอย่างให้เป็นที่ประจักษ์ถึงการพัฒนานวัตกรรมด้วยการตอบโจทย์วิจัยดาราศาสตร์ และถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ภาคอุตสาหกรรม ให้เกิดผลสัมฤทธิ์สูงสุดเป็นฉันทามติของสังคมถึงความสำคัญของการลงทุนวิจัยวิทยาศาสตร์รากฐานเพื่อสร้างหลักประกันความสามารถในการแข่งขันของชาติ และยกระดับคุณภาพชีวิตของประชาชน

(ภาพปก) เนบิวลาหัวม้า (Barnard 33) บันทึกด้วยกล้องโทรทรรศน์ทางไกลอัตโนมัติซีกฟ้าใต้ของ สดร.
(ภาพล่าง) เนบิวลาดอกกุหลาบ (NGC 2244) บันทึกด้วยกล้องโทรทรรศน์แห่งชาติ ขนาด 1 เมตร ณ ดอยอินทนนท์

ในปีงบประมาณ 2565 ปีที่ 13 ของการดำเนินงาน สดร. มีบุคลากรรวม 170 คน ภายใต้งบประมาณ 833.5 ล้านบาท (รวมเงินกองทุน วจน.) สดร. มีโครงสร้างพื้นฐานสำหรับสังเกตการณ์ในช่วงคลื่นที่ตามองเห็น (400 - 700 นาโนเมตร) ได้แก่ หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบ พระชนมพรรษา หรือ หอดูดาวแห่งชาติ ที่ติดตั้งกล้องโทรทรรศน์สะท้อนแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.4 เมตร สำหรับเป็นฐานพัฒนากำลังคนและเทคโนโลยี ณ อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่ และกล้องโทรทรรศน์ทางไกลอัตโนมัติใน 4 ทวีป เพื่อติดตามวัตถุท้องฟ้าตลอด 24 ชั่วโมง ทั้งยังมีโครงสร้างพื้นฐานสำหรับสังเกตการณ์ในช่วงคลื่นวิทยุ (30 มิลลิเมตร - 1 เมตร) ได้แก่ กล้องโทรทรรศน์วิทยุแห่งชาติขนาด 40 เมตร ซึ่งอยู่ระหว่างการก่อสร้าง ณ ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยฮ่องไคร้ อันเนื่องมาจากพระราชดำริ อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ จึงเป็นผลให้นักวิจัยของ สดร. ได้เป็นผู้นำในโครงการวิจัยที่ใช้หอดูดาวระดับ best-in-class ในหลากหลายช่วงคลื่นทั้งในโลกและในอวกาศ

นอกจากนี้ สดร. ยังมีหอดูดาวสำหรับบริการประชาชนกระจายในแต่ละภาคทั่วประเทศ ปัจจุบันเปิดให้บริการแล้ว 4 แห่ง ณ จังหวัดฉะเชิงเทรา จังหวัดนครราชสีมา จังหวัดสงขลา และจังหวัดเชียงใหม่ โดยประชากร 55% ของประเทศสามารถเข้าถึงการใช้บริการได้อย่างสะดวก และกำลังดำเนินการก่อสร้าง 2 แห่ง ณ จังหวัดขอนแก่น และจังหวัดพิษณุโลก ทั้งนี้ ในปี พ.ศ. 2565 สดร. ได้ให้บริการประชาชนไปแล้วกว่า 465,000 คน และมีการใช้สื่อสังคมออนไลน์อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อเผยแพร่ข่าวสาร ปรากฏการณ์ ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับดาราศาสตร์สู่สังคม สร้างมูลค่าการประชาสัมพันธ์ 764.9 ล้านบาท นอกจากการเสริมสร้างความตระหนักและองค์ความรู้ด้านดาราศาสตร์ในประเทศแล้ว สดร. ยังมีความร่วมมือด้านการวิจัยดาราศาสตร์กับสถาบันและหน่วยงานต่างประเทศ 34 แห่งใน 21 ประเทศ อีกด้วย

นักวิจัยทัศนูปกรณ์ดาราศาสตร์ สดร. ในห้องปฏิบัติการ



เครื่องเคลือบฟิล์มอะลูมิเนียมสำหรับเคลือบกระจกกล้องโทรทรรศน์แห่งชาติ ขนาด 2.4 เมตร ณ อุทยานดาราศาสตร์สิรินธร
เป็นตัวอย่างหนึ่งของเทคโนโลยีฟิล์มบางระดับอุตสาหกรรมที่พัฒนาขึ้นโดย สดร. และ สซ. เพื่อการใช้งานวิจัยดาราศาสตร์

ช่วงทศวรรษที่สองนี้ สดร. มุ่งยกระดับความสามารถเหล่านี้ไปสู่โจทย์ที่ท้าทายยิ่งขึ้นในทุกมิติ ตามพันธกิจและยุทธศาสตร์การพัฒนาของสถาบัน อาทิ **(1) โครงการศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีขั้นสูง** และ **(2) โครงการภาคีความร่วมมืออวกาศไทย** ที่มุ่งบ่มเพาะระบบนิเวศที่เกื้อกูลกันของการวิจัยดาราศาสตร์และภาคอุตสาหกรรมด้วยการสร้างดาวเทียม เพื่อใช้การวิจัยดาราศาสตร์เป็นยุทธศาสตร์ผลักดันศักยภาพ Deep Tech ของชาติ **(3) โครงการภาคีความร่วมมือการวิจัยวิทยาศาสตร์บรรยากาศไทย** เพื่อใช้ core competency ของ สดร. ร่วมศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ อันเป็นภาวะคุกคามต่อการธำรงอยู่ (existential threat) ของไทย **(4) โครงการขยายเครือข่ายหอดูดาวภูมิภาค** เพื่อให้ประชาชนอย่างน้อย 90% สามารถเข้าถึงการบริการของ สดร. ได้สะดวก และ **(5) โครงการจัดตั้งองค์กรระหว่างประเทศเพื่อการวิจัยดาราศาสตร์แห่งเอเชีย** เพื่อบุกเบิกยุทธศาสตร์การใช้ดาราศาสตร์เป็นสื่อกลางในการสร้างความเข้าใจระหว่างกันในหมู่ประชาชนระดับพหุภาคีในภาวะที่ช่องทางอื่นตีบตัน

หากใช้ผลการประเมินมูลค่าทางเศรษฐกิจของ สดร. ในปีงบประมาณ 2564 เป็นเกณฑ์ฐาน มูลค่าทางเศรษฐกิจจากการดำเนินงานของ สดร. ในปีงบประมาณ 2565 จะมีค่าอย่างน้อย 1,551.60 ล้านบาท ยังไม่รวมถึงมูลค่าที่จะเกิดจากการดำเนินงานตามยุทธศาสตร์การพัฒนาทั้ง 5 ด้านข้างต้น สดร. คาดว่ามูลค่าทางเศรษฐกิจในปีงบประมาณต่อๆ ไปจะเพิ่มขึ้นอย่างทวีคูณแม้งบประมาณจะเพิ่มขึ้นเป็นเชิงเส้น ยุทธศาสตร์การพัฒนานี้จะผลักดันให้อัตราส่วนมูลค่าทางเศรษฐกิจต่องบประมาณของ สดร. สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง

คำนำ

แม้พันธกิจหลักของสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) หรือ สดร. จะเป็นการวิจัยดาราศาสตร์ดังปรากฏในชื่อ แต่บทบาทที่สำคัญยิ่งไปกว่านั้น คือ การเป็นองค์กรเบิกทาง (enabler) ให้มหาวิทยาลัย สถาบันการศึกษา และประชาชน เข้าถึงการวิจัยดาราศาสตร์ได้ ทั้งนี้เพราะการลงทุนโครงสร้างพื้นฐานทางดาราศาสตร์มักเกินกำลังที่สถาบันการศึกษาหนึ่งๆ หรือกลุ่มวิจัยหนึ่งๆ จะสามารถดำเนินการได้ สถาบันวิจัยดาราศาสตร์ของทุกชาติจึงมีหน้าที่เลือกเฟ้นหัวข้อและกำหนดแนวทางการวิจัยเพื่อบุกเบิกองค์ความรู้ใหม่สู่ความเข้าใจในธรรมชาติของจักรวาล มุ่งให้หัวข้อการวิจัยและเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นเพื่อตอบโจทย์วิจัยทางดาราศาสตร์ ก่อให้เกิดนวัตกรรมขั้นสูงที่จะช่วยยกระดับคุณภาพชีวิตของประชาชนอย่างสูงที่สุด พร้อมไปกับการสร้างความตระหนักตื่นรู้ด้านวิทยาศาสตร์ และสร้างฉันทามติของสังคมถึงความสำคัญของการลงทุนด้านวิทยาศาสตร์รากฐานของชาติ

ในหนังสือนี้ สดร. จะกล่าวถึงหัวข้อวิจัยหลักที่กำลังดำเนินการอยู่ เชื่อมโยงไปสู่เทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นเพื่องานวิจัย การเผยแพร่ความรู้ทางดาราศาสตร์และสร้างความตระหนักสู่สังคม และการใช้ดาราศาสตร์เป็นเครื่องมือสร้างความร่วมมือทั้งในและต่างประเทศ โดยในแต่ละหัวข้อ จะกล่าวถึงทั้งในมิติของความโดดเด่นของไทยในระดับภูมิภาคและระดับโลก ศักยภาพของไทย โอกาสในการพัฒนา ยุทธศาสตร์การพัฒนาระยะสั้นและกลาง และทิศทางการพัฒนาดาราศาสตร์เพื่อสร้างและรักษาขีดความสามารถในการแข่งขันของชาติ จากห้วงเวลานี้ไปจนถึงระยะ ค.ศ. 2060 ภายใต้ความท้าทายทางภูมิรัฐศาสตร์ที่รายล้อมไทยในศตวรรษปัจจุบัน

เจ้าหน้าที่สารสนเทศดาราศาสตร์ สดร. และ Super Full Moon (2559)

สถาบันเพื่อความเข้าใจในธรรมชาติของจักรวาล

ผลสัมฤทธิ์สูงสุดเชิงองค์ความรู้จากการวิจัยดาราศาสตร์ คือ ความเข้าใจถึงต้นกำเนิดของชีวิตและสรรพสิ่งในจักรวาล อาทิ จักรวาลถือกำเนิดขึ้นได้อย่างไร โลกอยู่ตรงไหนในจักรวาล นอกจากโลกของเราแล้วยังมีสิ่งมีชีวิตอยู่ที่ใดอีกหรือไม่ ชีวิตถือกำเนิดขึ้นด้วยเงื่อนไขเช่นไร ล้วนเป็นความพยายามในการตอบคำถามถึงที่มาของมนุษย์เพื่อความเข้าใจตนเอง ทั้งนี้ เพราะกว่า 90% ของอะตอมที่ประกอบขึ้นเป็นร่างกายของเรา ล้วนถือกำเนิดจากศูนย์กลางของดาวฤกษ์ทั้งสิ้น ไม่ว่าจะเป็นธาตุคาร์บอน ออกซิเจน หรือไนโตรเจน ซึ่งไม่ได้กำเนิดขึ้นมาพร้อมกับการกำเนิดของจักรวาล แต่สังเคราะห์ขึ้นได้เฉพาะในปฏิกิริยานิวเคลียร์ที่ศูนย์กลางของดาวฤกษ์เท่านั้น ความเข้าใจวิวัฒนาการของดาวฤกษ์จึงเป็นส่วนสำคัญยิ่งในความเข้าใจถึงต้นกำเนิดของชีวิตบนโลก เป็นต้น

การวิจัยดาราศาสตร์ที่ สดร. มีจุดมุ่งหมายเชิงองค์ความรู้เช่นเดียวกับสถาบันดาราศาสตร์ทั่วโลก คือ การขยายขอบเขตของความเข้าใจธรรมชาติของจักรวาลของมนุษย์ นักวิจัยของ สดร. ทำงานร่วมกัน และกำหนดกลุ่มวิจัย (key science) จำนวน 4 กลุ่ม เพื่อศึกษาวิจัยให้เข้าใจในธรรมชาติดังกล่าว ประกอบด้วย **(1) การศึกษาฟิสิกส์ดาราศาสตร์ดาวฤกษ์** (stellar astrophysics) เป็นการศึกษาดาวฤกษ์ (เช่นเดียวกับดวงอาทิตย์) ตั้งแต่การก่อกำเนิดจนถึงวิวัฒนาการของซากดาวฤกษ์หลังสิ้นอายุขัย เช่น ดาวแคระขาว ดาวนิวตรอน และหลุมดำ ความเข้าใจลักษณะทางกายภาพ โครงสร้าง และวิวัฒนาการของดาวฤกษ์จากประชากรดาวที่หลากหลาย จะช่วยให้เราเข้าใจธรรมชาติของดวงอาทิตย์ได้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น การศึกษานี้มีความต่อเนื่องไปสู่ **(2) การศึกษาดาวเคราะห์และสิ่งมีชีวิตนอกระบบสุริยะ** (exoplanet and astrobiology) ที่โคจรอยู่รอบดาวฤกษ์อื่นๆ นอกจากดวงอาทิตย์ การวิจัยสาขานี้เป็นสาขาที่ค่อนข้างใหม่ เพิ่งเริ่มมีการศึกษาอย่างมากในระยะเวลาไม่ถึง 30 ปี นับตั้งแต่การค้นพบครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1992 แต่ปัจจุบันมีการค้นพบดาวเคราะห์นอกระบบสุริยะแล้วกว่า 5,000 ดวง (12 ดวงในจำนวนนี้ ค้นพบโดยนักวิจัยของ สดร.) การศึกษาดาวเคราะห์เหล่านี้มุ่งสร้างความเข้าใจสภาพแวดล้อมบนดาวเคราะห์ดวงอื่นๆ เช่น องค์ประกอบของบรรยากาศ อุณหภูมิพื้นผิวลักษณะวงโคจรรอบดาวฤกษ์แม่ ความเป็นไปได้ของการมีน้ำในสถานะของเหลว ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่เอื้อต่อการกำเนิดของสิ่งมีชีวิต และการค้นหาหลักฐานของสารชีวโมเลกุลในบรรยากาศของดาวเคราะห์นอกระบบสุริยะ ซึ่งอาจเป็นสิ่งบ่งชี้ถึงการมีอยู่ของสิ่งมีชีวิตบนดาวเคราะห์นั้นๆ อนึ่ง การค้นพบหลักฐานของสิ่งมีชีวิตอื่นนอกจากชีวิตบนโลกจะมีผลกระทบอย่างสูงในวงกว้างไปกว่าสาขาดาราศาสตร์ ครอบคลุมมิติทางสังคมและปรัชญาในการถกเถียงด้านความหมายของชีวิต

ภาพในจินตนาการของศิลปินของหลุมดำ ณ ใจกลางดาราจักรกัมมันต์ หนึ่งในหัวข้อวิจัยด้านดาราจักรและดาราศาสตร์ฟิสิกส์พลังงานสูงของ สดร.

การศึกษาของสองหัวข้อวิจัยแรกนั้น เป็นการศึกษาธรรมชาติของดาวฤกษ์และระบบดาวเคราะห์ของดาวฤกษ์แต่ละดวง ในภาพใหญ่ขึ้น นักดาราศาสตร์ศึกษาปฏิสัมพันธ์ของระบบดาวฤกษ์ขนาดใหญ่เรียกว่า ดาราจักร (galaxy) ตัวอย่างได้แก่ ทางช้างเผือกซึ่งมีดาวฤกษ์ประมาณ 200,000 ล้านดวง (ดวงอาทิตย์เป็นดาวฤกษ์ดวงหนึ่งในจำนวนนี้) การศึกษาวิวัฒนาการของดาราจักรจึงมีความเชื่อมโยงแน่นแฟ้นต่อความเข้าใจดาวฤกษ์และดาวเคราะห์นอกระบบสุริยะ ที่นำมาสู่หัวข้อวิจัย **(3) การศึกษาวิจัยจักรวาลวิทยาและฟิสิกส์ดาราศาสตร์พลังงานสูง** (cosmology and high energy astrophysics) ที่นอกจากจะศึกษาวิวัฒนาการของดาราจักรตั้งแต่ยุคแรกกำเนิดมาจนถึงปัจจุบัน ยังศึกษาครอบคลุมถึงดาราศาสตร์ฟิสิกส์พลังงานสูง อาทิ ดาราศาสตร์รังสีแกมมา (gamma-ray astronomy) ที่มีพลังงานสูงกว่าแสงในช่วงคลื่นที่ตามองเห็นเป็นหลักล้านล้านเท่า ซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ยังมีการศึกษาน้อยมาก แต่นักดาราศาสตร์สันนิษฐานว่าอาจเป็นช่วงคลื่นที่สำคัญในการศึกษาธรรมชาติของจักรวาลที่ยังไม่เป็นที่รู้จัก เช่น สสารมืด (Dark Matter) พลังงานมืด (Dark Energy) ที่ปัจจุบันมีหลักฐานจากการสังเกตการณ์หลายประการสอดคล้องกันว่าเป็นมวลส่วนใหญ่ของจักรวาล

หัวข้อวิจัยหลักต่อมาของ สดร. คือ **(4) การศึกษาวัตถุใกล้โลก สภาวะอวกาศ และภูมิอากาศของโลก** เป็นการศึกษาความเชื่อมโยงมาสู่โลกโดยตรง เช่น ปฏิสัมพันธ์ของสภาวะอวกาศ (space weather) ที่ศึกษาผลกระทบเมื่อกระแสอนุภาคพลังงานสูงจากดวงอาทิตย์เข้าปะทะโลก ซึ่งในอดีตเคยส่งผลให้ดาวเทียมในอวกาศ หรือแม้แต่ระบบไฟฟ้าบนโลกเสียหาย กรณีผลกระทบโดยตรงอีกประการหนึ่งคือวัตถุใกล้โลก (near-earth objects) เช่น ดาวเคราะห์น้อยและอุกกาบาตที่อาจโคจรมาชนโลก ปัจจุบันมีการค้นพบแล้วประมาณ 30,000 ดวง และมีการตรวจตราเฝ้าระวังภัยอย่างใกล้ชิดโดยนักดาราศาสตร์ทั่วโลก งานวิจัยที่อยู่ใกล้ผิวโลกที่สุดของ สดร. คือ งานวิจัยด้านภูมิอากาศโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการศึกษาฝุ่นละอองในบรรยากาศ (เช่น PM2.5) ที่มีผลกระทบโดยตรงต่อความสามารถในการวิจัยดาราศาสตร์ และมีผลกระทบต่อนโยบายสวัสดิภาพสาธารณะ เพราะการศึกษาฝุ่นละอองในบรรยากาศให้เข้าใจอย่างถ่องแท้ถึงแหล่งที่มาและพลวัตของฝุ่นในบรรยากาศ เป็นส่วนสำคัญในการกำหนดนโยบายของภาครัฐในการแก้ไขปัญหาคุณภาพอากาศในไทย

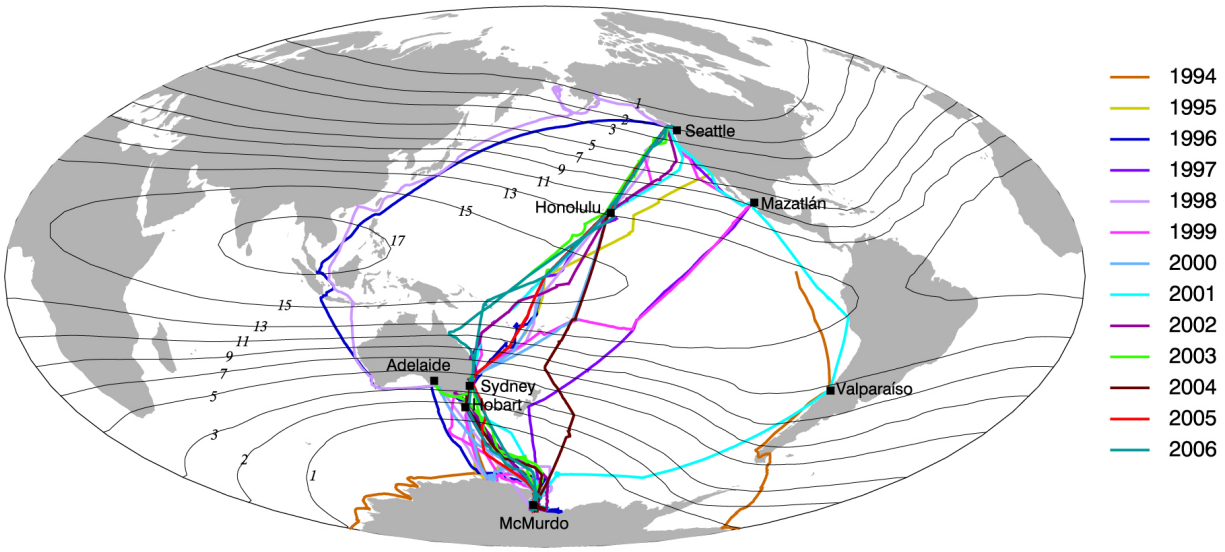
ภาพในจินตนาการของศิลปินของการชนกันของดาวเคราะห์ยุคก่อตัว หนึ่งในหัวข้อวิจัยดาวเคราะห์นอกระบบสุริยะของ สดร.

โจทย์วิจัยที่ สดร. เลือกผลักดันนั้นยึดโยงกับฉันทามติของประชาคมนักดาราศาสตร์ทั่วโลก ทั้งทางตรง เช่น ติดตามจำนวนการอ้างอิงทางวิชาการของผลงานตีพิมพ์ (citations) และในภาพรวม โดยพิจารณาผลการกลั่นกรองความเห็นของประชาคมนักดาราศาสตร์ จะเห็นได้ว่าหัวข้อวิจัยดาราศาสตร์ฟิสิกส์ที่ สดร. เลือกผลักดันเป็นยุทธศาสตร์ล้วนเป็นหัวข้อวิจัยที่ได้รับฉันทามติว่าควรได้รับการสนับสนุนการลงทุนระยะยาวอย่างกว้างขวาง อาทิ ในแผนแม่บท Astronet[1] ที่นักดาราศาสตร์ในสหภาพยุโรปได้เฟ้นหาโครงการดาราศาสตร์ผลกระทบสูงที่สุดร่วมกัน หรือของนักดาราศาสตร์ฝั่งสหรัฐอเมริกา คือ Astronomy and Astrophysics Decadal Survey[2] ที่จัดทำโดย National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine ทุกๆ 10 ปี โดยการเปิดรับความคิดเห็นจากนักดาราศาสตร์ทั้งประชาคมมาคัดสรรกลั่นกรอง แผนแม่บทจากกลุ่มประชาคมวิจัยทั้งสองนี้ได้รับความสนใจอย่างยิ่งจากนักดาราศาสตร์ทั่วโลกโดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศแถบเอเชีย ทั้งนี้ แผนล่าสุดของทั้งสองประชาคมมีความเห็นสอดคล้องกันในภาพรวมที่จะส่งเสริมการวิจัยด้านวิวัฒนาการของเอกภพ ดาวเคราะห์นอกระบบสุริยะ และดาราศาสตร์ฟิสิกส์พลังงานสูง สดร. ได้ดำเนินการวิจัยที่สอดคล้องกับทิศทางเหล่านี้ โดยปรับยุทธศาสตร์ให้เข้ากับบริบทความพร้อมของทรัพยากรบุคคล และโครงสร้างพื้นฐานในไทยตามทิศทางการพัฒนาประเทศ

อาจกล่าวได้ว่าทรัพยากรบุคคลเป็นองคาพยพที่สำคัญที่สุดของการผลักดันการวิจัยดาราศาสตร์ชั้นแนวหน้า โดยมีความสำคัญไม่ยิ่งหย่อนไปกว่าการเข้าถึงโครงสร้างพื้นฐาน เพราะหอดูดาวระดับ best-in-class ในแทบทุกช่วงคลื่นตั้งแต่กล้องโทรทรรศน์อวกาศรังสีเอ็กซ์ไปจนถึงกล้องโทรทรรศน์วิทยุที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในปัจจุบัน ล้วนดำเนินนโยบายเปิดรับข้อเสนอโครงการวิจัยจากทั่วโลกอย่างเสรี (เรียกว่า open-sky policy) กล่าวคือ นักดาราศาสตร์จากทั่วโลกสามารถส่งข้อเสนอโครงการใช้กล้องเพื่อการวิจัยของตนได้อย่างเท่าเทียมกับนักดาราศาสตร์จากประเทศผู้ลงทุนสร้างกล้อง ทั้งนี้เพราะประชาคมนักดาราศาสตร์เห็นพ้องกันว่านโยบายนี้จะก่อให้เกิดการแข่งขันที่จะทำให้เกิดการพัฒนางานวิจัยดาราศาสตร์อย่างรวดเร็วและคุ้มค่าที่สุด สดร. สนับสนุนให้นักดาราศาสตร์ของสถาบันร่วมแข่งขันส่งข้อเสนองานวิจัยเพื่อใช้หอดูดาวระดับโลกอย่างต่อเนื่อง เพื่อพัฒนางานวิจัยและเป็นการ benchmark ศักยภาพการวิจัยของสถาบันกับประชาคมนักวิจัยดาราศาสตร์ระดับโลก และเป็นตัวชี้วัดหนึ่งที่แสดงให้เห็นว่างานวิจัยของ สดร. มีศักยภาพในการศึกษาบุกเบิกสู่องค์ความรู้ใหม่ทางดาราศาสตร์อย่างแท้จริง

ทางช้างเผือกที่หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบ พระชนมพรรษา ณ ดอยอินทนนท์

ภายใต้ยุทธศาสตร์นี้ โครงสร้างพื้นฐานทางดาราศาสตร์ในประเทศจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการพัฒนากำลังคน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเพื่อพัฒนานักเรียน นักศึกษา จากระดับแรกเริ่มจนมีศักยภาพการวิจัยในระดับที่จะแข่งขันข้อเสนอโครงการวิจัยระดับ best-in-class ของโลกได้ เช่น กล้องโทรทรรศน์ขนาด 2.4 เมตร ณ หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบ พระชนมพรรษา อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่ (สังเกตด้วยแสงในช่วงคลื่นที่ตามองเห็น ความยาวคลื่น 400 - 700 นาโนเมตร) และระบบกล้องโทรทรรศน์ทางไกลอัตโนมัติทั่วโลกของไทยที่สามารถติดตามศึกษาวัตถุท้องฟ้าหนึ่งๆ ได้ต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง สดร. เปิดโอกาสให้นักเรียน นักศึกษาไทยใช้กล้องผ่านช่องทางพิเศษ เรียกว่า Junior Researcher Program ของหอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบ พระชนมพรรษา โครงสร้างพื้นฐานนี้นับว่ามีความโดดเด่นในภูมิภาคเอเชีย ซึ่งมีเฉพาะญี่ปุ่น จีน เกาหลีใต้ และไต้หวัน ที่มีหอดูดาวลักษณะนี้สำหรับพัฒนากำลังคนในประเทศ (มาเลเซีย สิงคโปร์ เวียดนาม มีเพียงหอดูดาวขนาดเล็กที่ใช้สำหรับเผยแพร่ความรู้ดาราศาสตร์แก่ประชาชนผู้สนใจ) ในแง่นี้ การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานที่โดดเด่นอีกประการหนึ่ง คือ โครงการสร้างกล้องโทรทรรศน์วิทยุแห่งชาติ ขนาด 40 เมตร (สังเกตด้วยช่วงคลื่นวิทยุความถี่ 300 MHz-115 GHz หรือความยาวคลื่นประมาณ 30 มิลลิเมตร - 1 เมตร) ณ ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยฮ่องไคร้อันเนื่องมาจากพระราชดำริ อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อแล้วเสร็จจะเป็นกล้องโทรทรรศน์วิทยุที่มีศักยภาพสูงที่สุดแห่งหนึ่งของเอเชีย มีเพียงญี่ปุ่นและจีนที่มีกล้องโทรทรรศน์วิทยุขนาดใหญ่กว่านี้ กล้องโทรทรรศน์วิทยุแห่งชาติเป็นอีกโครงสร้างพื้นฐานหนึ่งที่ขยายโอกาสการพัฒนากำลังคนในไทย ให้ทั้งนักวิจัยและนักพัฒนาเทคโนโลยีช่วงคลื่นวิทยุมีศักยภาพในการแข่งขันระดับโลกได้ (รายละเอียดเพิ่มเติมในกรอบ “หอดูดาว: โครงสร้างพื้นฐานของ สดร.” หน้า 10-11) นอกจากมิติของการเป็นฐานพัฒนานักดาราศาสตร์ ตำแหน่งที่ตั้งของไทยมีข้อได้เปรียบทางภูมิศาสตร์สำหรับการวิจัยดาราศาสตร์ เป็นข้อได้เปรียบที่สามารถผลักดันงานวิจัยสู่ความเป็นเลิศระดับโลกได้ภายในประเทศ ดังจะกล่าวถึงอย่างละเอียดในกรอบ “ความได้เปรียบทางภูมิศาสตร์ของไทยในการวิจัยดาราศาสตร์” หน้า 8



แผนที่การเดินทางของเครื่องวัดนิวตรอน คอนทัวร์แสดง vertical cutoff rigidity ในหน่วย GV ซึ่งสูงที่สุดในโลกในแถบประเทศไทย[3]

ความได้เปรียบทางภูมิศาสตร์ของไทยในการวิจัยดาราศาสตร์

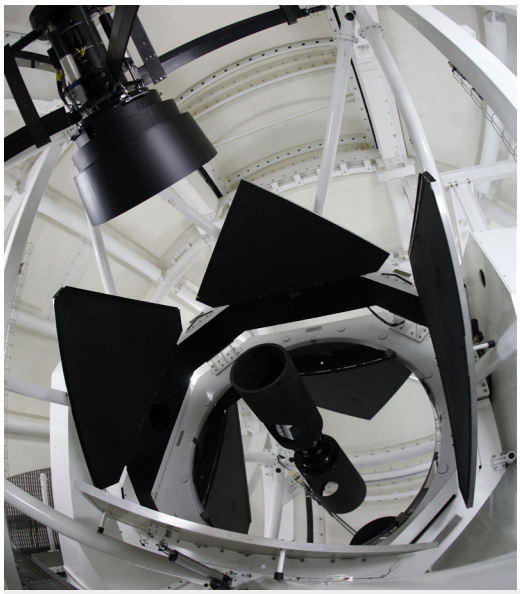
เป็นที่น่าสังเกตว่าที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ของไทยนั้นเอื้อประโยชน์แก่การวิจัยดาราศาสตร์หลายประการ เช่น ลองจิจูดของไทยเป็นบริเวณที่มีหอดูดาวขนาดใหญ่เพียงแห่งเดียว (ระหว่างหอดูดาวขนาดใหญ่ในออสเตรเลีย และหอดูดาวขนาดใหญ่ในแอฟริกาใต้) ทำให้หอดูดาวแห่งชาติของไทยมีความสามารถพิเศษในการติดตามวัตถุท้องฟ้าที่ต้องสังเกตการณ์ต่อเนื่อง เช่น การเคลื่อนที่ผ่านหน้าดาวฤกษ์ของดาวเคราะห์นอกระบบสุริยะ (exoplanet transit) ปรากฏการณ์เลนส์แรงโน้มถ่วงชนิด microlensing เพื่อใช้ศึกษาดาวเคราะห์นอกระบบสุริยะ หรือปรากฏการณ์ที่เกิดและดับไปในเวลาอันสั้น (astrophysical transients) เช่น การระเบิดรังสีแกมมา หรือแหล่งกำเนิดคลื่นแรงโน้มถ่วง (gravitational wave) ที่สังเกตได้เพียงชั่วเวลาไม่กี่นาที จำเป็นต้องสังเกตในทันทีทันใด ไม่สามารถรอสังเกตที่หอดูดาว ณ ลองจิจูดอื่นๆ ได้ นอกจากนั้น ละติจูดที่อยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรของโลกยังเอื้อให้หอดูดาวในไทยสามารถสังเกตวัตถุท้องฟ้าได้ทั้งซีกฟ้าเหนือและใต้

อีกกรณีที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน ได้แก่ เครือข่ายจานรับสัญญาณวิทยุ Very Long Baseline Interferometry (VLBI) ของเอเชียตะวันออก (East Asia VLBI Network) ที่ขณะนี้มีจานรับสัญญาณอยู่ในจีน ญี่ปุ่น และเกาหลีใต้ ทำงานร่วมกันเป็นเสมือนกล้องโทรทรรศน์วิทยุขนาดใหญ่ ซึ่งยังไม่มีกล้องที่ตั้งอยู่ในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ทั้งนี้หากนำกล้องโทรทรรศน์วิทยุแห่งชาติของไทยเข้าร่วม ภาพที่บันทึกได้จาก East Asia VLBI Network จะมีคุณภาพสูงขึ้นอย่างมาก เป็นปัจจัยข้อได้เปรียบสำคัญของไทยในการเจรจาเข้าร่วมโครงการดาราศาสตร์ระดับโลกหลายโครงการ อาทิ VLBI Global Observing System หรือ VGOS สำหรับศึกษาสัณฐานและการเคลื่อนที่ของเปลือกโลก และการเจรจาความร่วมมือกับจีน ในโครงการ Meridian Space Weather Monitoring Project ร่วมกับ National Space Science Center ของ Chinese Academy of Sciences เป็นอีกสองกรณีศึกษาของข้อได้เปรียบทางภูมิศาสตร์ของไทยในลักษณะเดียวกัน ท้ายที่สุดนี้ ความได้เปรียบทางภูมิศาสตร์ร่วมกับภูมิศาสตร์สนามแม่เหล็กโลก (geomagnetic) คือ การที่คาบสมุทรสุวรรณภูมิเป็นบริเวณที่มี vertical cutoff rigidity สูงที่สุดในโลกสำหรับการศึกษารังสีคอสมิกพลังงานสูง (ภาพบน)

นักดาราศาสตร์ สดร. ใช้กระจุกดาราจักรเป็นเสมือนกล้องโทรทรรศน์ตามธรรมชาติที่รวมแสงจากดาราจักรที่อยู่ไกลออกไปโดยปรากฏการณ์เลนส์แรงโน้มถ่วง (ดาราจักรที่ปรากฏเป็นเส้นบิดเบี้ยวในภาพ)

ในด้านการเป็นองค์กรที่ช่วยเบิกทางให้มหาวิทยาลัยและสถาบันการศึกษาไทยสามารถเข้าถึงการวิจัยดาราศาสตร์ สดร. ได้นำไทยเข้าร่วมภาคีโครงการวิจัยดาราศาสตร์ระดับโลกที่อยู่ในความสนใจของประชาคมวิจัยไทย เช่น Cherenkov Telescope Array (CTA) ที่เมื่อสร้างแล้วเสร็จในปี ค.ศ. 2026 จะเป็นกล้องโทรทรรศน์รังสีแกมมาที่มีศักยภาพสูงที่สุด (สมาชิก 1,420 คน จาก 210 สถาบัน งบประมาณรวมทั้งโครงการประมาณ 15,000 ล้านบาท) และ Jiangmen Underground Neutrino Observatory (JUNO) ที่เมื่อสร้างแล้วเสร็จในปี ค.ศ. 2021 จะเป็นหอสังเกตการณ์นิวตริโนที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในโลก (สมาชิก 388 คน จาก 55 สถาบัน งบประมาณรวมทั้งโครงการประมาณ 9,000 ล้านบาท) จากโครงการตัวอย่างทั้งสอง การเข้าร่วมของไทยได้เปิดโอกาสให้อาจารย์นักวิจัย และนักศึกษาจากมหาวิทยาลัยกว่า 50 คน ได้เข้าร่วมกลุ่มวิจัยที่เกิดขึ้นใหม่หรือขยายตัวอย่างรวดเร็วใน 6 มหาวิทยาลัยช่วงระยะ 4 ปีแรกของการดำเนินการ เป็นที่น่าสังเกตว่า โครงการ CTA จะมีบทบาทสำคัญยิ่งในการวิจัยดาราศาสตร์รังสีแกมมา ไทยเป็นเพียง 1 ใน 2 ประเทศแถบเอเชียที่อยู่ในภาคีสมาชิกผู้ก่อตั้ง (อีกแห่งหนึ่งคือญี่ปุ่น) และการเข้าร่วมโครงการ CTA ยังมีความพิเศษอีกประการหนึ่งในมิติของการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อการใช้งานระดับอุตสาหกรรม ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

หากเทียบกับประเทศแถบเอเชีย สดร. มีศักยภาพการวิจัยดาราศาสตร์เป็นอันดับ 5 รองจาก ญี่ปุ่น (นำโดย National Astronomical Observatory of Japan นักวิจัยและเจ้าหน้าที่รวม 531 คน งบประมาณ 3,352 ล้านบาทใน FY2021) เกาหลีใต้ (นำโดย Korea Astronomy and Space Science Institute นักวิจัยและเจ้าหน้าที่รวม 278 คน งบประมาณ 2,097 ล้านบาท ใน FY2022) จีน (นำโดยสถาบันภายใต้ Chinese Academy of Sciences ได้แก่ National Astronomical Observatory of China; Shanghai Astronomical Observatory; Purple Mountain Observatory; Yunnan Astronomical Observatory) และ อินเดีย (นำโดยสถาบันภายใต้ Department of Science and Technology และ Department of Atomic Energy ได้แก่ Indian Institute of Astrophysics; Aryabhatta Research Institute of Observational Sciences; National Centre for Radio Astrophysics และ Inter-University Centre for Astronomy and Astrophysics) ทั้งนี้ในปีงบประมาณ 2022 สดร. มีบุคลากรรวม 170 คน งบประมาณ 833.5 ล้านบาท

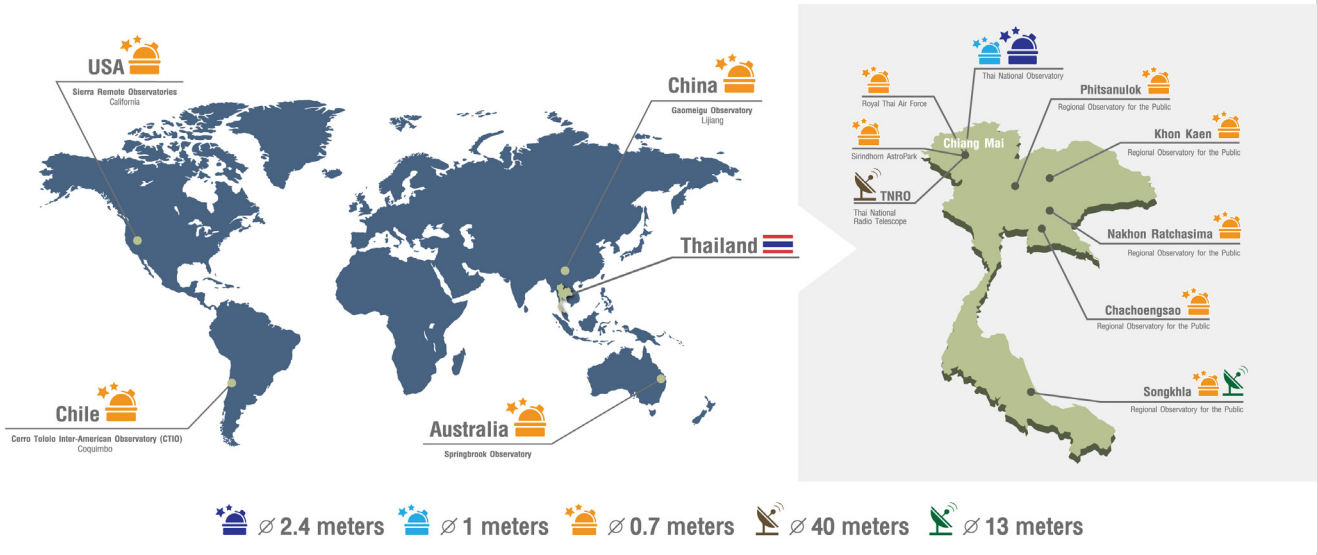


(ซ้าย) กระจกรวมแสงขนาด 2.4 เมตร ของกล้องโทรทรรศน์แห่งชาติ ณ ดอยอินทนนท์
(ขวา) กล้องโทรทรรศน์วิทยุแห่งชาติ ขนาด 40 เมตร ซึ่งอยู่ระหว่างการก่อสร้าง
ณ ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยฮ่องไคร้อันเนื่องมาจากพระราชดำริ อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่

หอดูดาว: โครงสร้างพื้นฐานของ สดร.

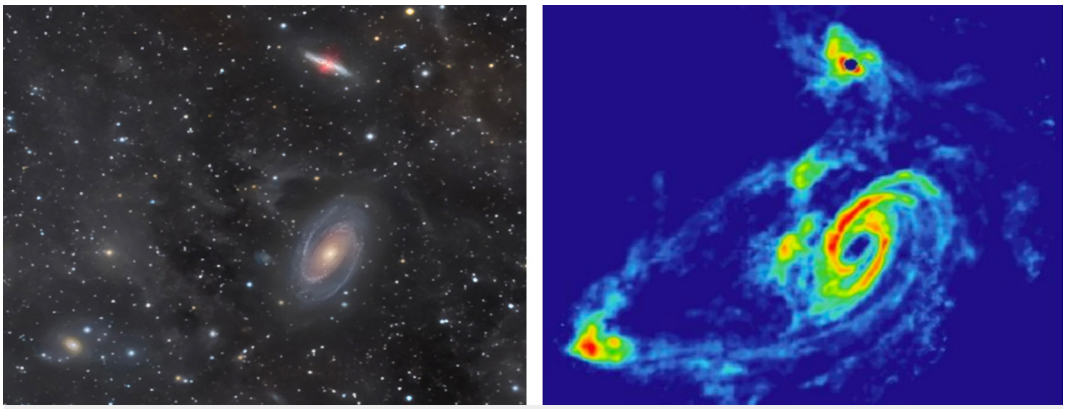
กล้องดูดาวเป็นโครงสร้างพื้นฐานสำหรับการวิจัยดาราศาสตร์ มีหน้าที่รวมแสงจางๆ จากวัตถุท้องฟ้าให้มีความเข้มพอที่จะตรวจวัดได้ อาทิ กล้องโทรทรรศน์แห่งชาติขนาด 2.4 เมตร มีความสามารถในการรวมแสงมากกว่าดวงตาของมนุษย์ประมาณ 1 ล้านเท่า อย่างไรก็ตาม วัตถุท้องฟ้าไม่ได้ส่องสว่างเฉพาะช่วงแสงที่ตามองเห็น แต่แผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาในหลายช่วงคลื่นด้วยกลไกทางฟิสิกส์ต่างๆ เป็นลักษณะเฉพาะของวัตถุท้องฟ้าหนึ่งๆ นักดาราศาสตร์จึงต้องใช้การสังเกตจากช่วงคลื่นต่างๆ มาประกอบเข้าด้วยกันเพื่อให้เข้าใจธรรมชาติโดยองค์รวมของวัตถุที่ต้องการศึกษา เพื่อการนี้ สดร. เลือกสร้างหอดูดาวในช่วงคลื่นที่ตามองเห็น (ความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร) และ ช่วงคลื่นวิทยุ (30 มิลลิเมตร-1 เมตร) เพราะเป็นสองช่วงคลื่นที่สร้างความเข้าใจในธรรมชาติของจักรวาลสูงที่สุด เมื่อคำนึงถึงความคุ้มค่าการลงทุน และเป็นสองฐานสำหรับการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมจากความสามารถทางวิศวกรรมที่แตกต่างอย่างส่งเสริมกัน

ในแต่ละช่วงคลื่น สดร. จะมีกล้องโทรทรรศน์ขนาดใหญ่และขนาดเล็กทำงานเสริมกันเพื่อสนับสนุนพันธกิจการวิจัย พัฒนาเทคโนโลยี และเผยแพร่ความรู้ ในช่วงคลื่นที่ตามองเห็นมีกล้องโทรทรรศน์แห่งชาติขนาด 2.4 เมตร สำหรับการวิจัยดาราศาสตร์ เสริมด้วยหอดูดาวภูมิภาคที่มีกล้องโทรทรรศน์ขนาด 0.7-1 เมตร จำนวน 7 แห่ง และหอดูดาวควบคุมระยะไกลอัตโนมัติขนาด 0.6-0.7 เมตร ที่ประเทศชิลี สหรัฐอเมริกา จีน และออสเตรเลีย ทั้งนี้เพื่อให้มีอย่างน้อยหนึ่งกล้องโทรทรรศน์อยู่ในด้านกลางคืนของโลกและสามารถติดตามศึกษาวัตถุท้องฟ้าได้ตลอด 24 ชั่วโมงในทั้งสองซีกฟ้า กล้องโทรทรรศน์ควบคุมระยะไกลเหล่านี้สามารถสั่งถ่ายภาพผ่านเว็บเบราว์เซอร์ด้วยระบบสั่งการที่ สดร. พัฒนาขึ้น ช่วยให้นักเรียน นักศึกษา สามารถเข้าถึงโครงสร้างพื้นฐานการวิจัยของ สดร. ได้สะดวกและทั่วถึง ในปี พ.ศ. 2565 กล้องโทรทรรศน์เหล่านี้มีโครงการวิจัยที่เข้ามาใช้งาน 58 โครงการ



สำหรับการวิจัยดาราศาสตร์ในช่วงคลื่นวิทยุ สดร. อยู่ระหว่างการก่อสร้างกล้องโทรทรรศน์วิทยุแห่งชาติขนาด 40 เมตร (พร้อมใช้งานในปี พ.ศ. 2565) เสริมด้วยกล้องโทรทรรศน์วิทยุขนาด 13 เมตร ที่ทำงานร่วมกับกล้องโทรทรรศน์อื่นๆ ทั่วโลกเป็นเครือข่าย Very Long Baseline Interferometry (VLBI) เพื่อศึกษาสัณฐานและการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก เทคนิคนี้สามารถวัดตำแหน่งบนผิวโลกได้ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร และวัดอัตราการเคลื่อนที่ของเปลือกโลกได้ละเอียดถึงระดับ 0.1 มิลลิเมตร/ปี

แม้ว่าเปลือกโลกของไทยและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้จะเต็มไปด้วยรอยเลื่อนมีพลัง (active fault) และห้อมล้อมด้วยขอบของ “วงแหวนไฟ” (Ring of Fire) ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวและสึนามิขนาดใหญ่ แต่ยังไม่มีการศึกษาสัณฐานและการเคลื่อนตัวด้วยความแม่นยำสูง ทั้งนี้เพราะเทคนิค VLBI ต้องอาศัยการสังเกตควอซาร์* ที่ต้องใช้ความเชี่ยวชาญทั้งด้านดาราศาสตร์และวิศวกรรมร่วมกัน จึงมีความจำเป็นเร่งด่วนที่ต้องใช้ core competency ของ สดร. ตรวจวัดการเคลื่อนที่นี้เพื่อเป็นข้อมูลตั้งต้นในการศึกษาความเสี่ยงและทำนายภัยพิบัติ



ระบบกาแล็กซี M81-M82 ในช่วงคลื่นที่ตามองเห็น **(ซ้าย)** ที่ดูคล้ายกับว่ากาแล็กซีทั้งสามอยู่แยกกัน และช่วงคลื่นวิทยุ **(ขวา)** ที่แสดงให้เห็นว่าแท้จริงแล้วทั้งสามมีธารก๊าซไฮโดรเจนอะตอมเชื่อมต่อกัน[4] การศึกษาวัตถุท้องฟ้าทั้งในช่วงคลื่นที่ตามองเห็นและช่วงคลื่นวิทยุช่วยให้เกิดความเข้าใจธรรมชาติของวัตถุท้องฟ้าที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

หมายเหตุ: ควอซาร์ (quasar) เป็นดาราจักรกัมมันต์ (active galaxy) ชนิดหนึ่งที่แผ่รังสีในช่วงคลื่นวิทยุความเข้มสูง มักอยู่ห่างไปหลายพันล้านปีแสง จึงปรากฏเป็นจุดอ้างอิงที่สามารถวัดตำแหน่งได้แม่นยำถึง 1 ในพันล้านส่วนขององศา

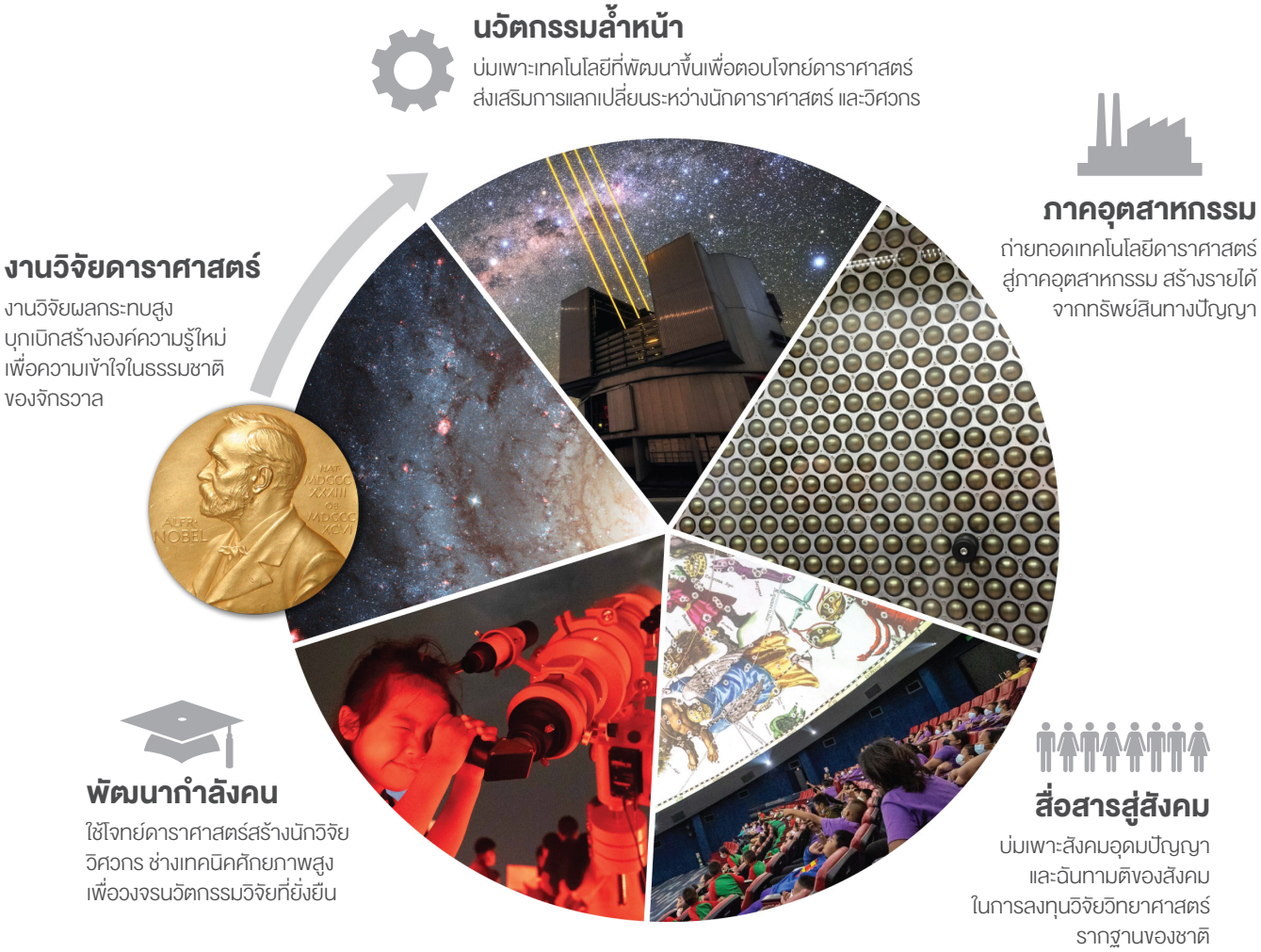
วิศวกรและเจ้าหน้าที่ สดร. สาธิตระบบแสดงตำแหน่งดาวเทียมและวัตถุอวกาศ
ที่พัฒนาขึ้นเองในงาน Open House ของสถาบัน (พ.ศ. 2564)

สถาบันเพื่อใช้โจทย์ดาราศาสตร์ผลักดันนวัตกรรมล้ำหน้า

การวิจัยดาราศาสตร์มีความท้าทายยิ่งยวดเฉพาะตัว เนื่องจากต้องวัดแสงและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่จางจากอวกาศห้วงลึก เช่น การศึกษาวิวัฒนาการของกาแล็กซีจะต้องสังเกตกาแล็กซีในยุคแรกก่อตัวที่ระยะห่างกว่า 10,000 ล้านปีแสงซึ่งมีแสงจางกว่าดวงจันทร์เพ็ญ 10^{18} เท่า (หนึ่งล้านล้านล้านเท่า) และต้องสังเกตในหลากหลายช่วงคลื่นมากกว่าที่ดวงตามนุษย์มองเห็น จึงจะสามารถประติดประต่อความเข้าใจเข้ากันเป็นหนึ่งเดียวได้ ความจำเป็นเหล่านี้ผลักดันให้เกิดนวัตกรรมล้ำหน้าหลายประการ เช่น เครื่องคู่ควบประจุที่ใช้ถ่ายภาพดาวในทศวรรษ 1970 เนื่องจากฟิล์มไม่ไวแสงพอที่จะบันทึกภาพดาวจางๆ ต่อมาเทคโนโลยีนี้ถูกพัฒนาต่อมาเป็นกล้องดิจิทัล หรืออีกตัวอย่างที่ปรากฏชัด คือ การพัฒนาระบบรับสัญญาณกล้องโทรทรรศน์วิทยุให้ได้ภาพดาวที่คมชัดโดยนักดาราศาสตร์วิทยุของ Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) ของออสเตรเลียในช่วงต้นทศวรรษ 1990 ด้วยการแก้ไขสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการสะท้อนภายในกล้อง ต่อมาเทคโนโลยีนี้กลายมาเป็นหัวใจการทำงานของอินเตอร์เน็ตไร้สาย (Wi-Fi) ที่ต้องใช้หลักการเดียวกันเพื่อแก้ปัญหาสัญญาณสะท้อนผนังในอาคาร ส่งผลให้สิทธิบัตรแรกของ Wi-Fi เป็นของสถาบัน CSIRO

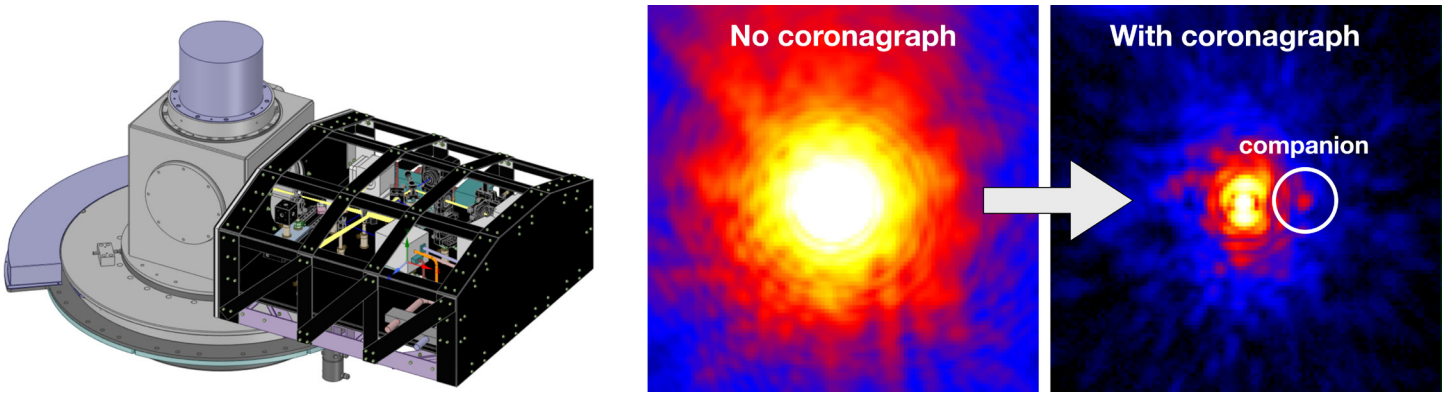
จะเห็นได้ว่าหัวใจสำคัญของยุทธศาสตร์การใช้งานวิจัยดาราศาสตร์ผลักดันนวัตกรรมนั้น ไม่ยึดติดอยู่กับสูตรสำเร็จตายตัว ไม่ใช่การวางแผนโดยการคาดการณ์จากแนวโน้ม ไม่ใช้ความต้องการฉับพลันในขณะหนึ่งๆ ของตลาดเป็นฐาน แต่ยึดโยงเสมอกับ core competency ของสถาบันวิจัยดาราศาสตร์ คือ การใช้งานวิจัยดาราศาสตร์ฟิสิกส์เป็นตัวกำหนดทิศทางและผลักดันการพัฒนา ยุทธศาสตร์นี้ไม่ได้เกิดจากการคาดคะเนต่อยอด (extrapolate) ศักยภาพหรือความต้องการของภาคอุตสาหกรรมในปัจจุบัน แต่เป็นการพัฒนาก้าวกระโดดไปสู่หมุดหมายที่เลื่อนไปข้างหน้าด้วยความเร่งตาม frontier ของงานวิจัยดาราศาสตร์ ภายใต้สภาวะแวดล้อมที่เอื้อต่อการบ่มเพาะนวัตกรรม

ด้วยเหตุนี้ สถาบันวิจัยดาราศาสตร์ทั่วโลกมักมีส่วนงานหรือศูนย์พัฒนาเทคโนโลยีอยู่ภายใต้สถาบัน เพื่อผลักดันต้นแบบนวัตกรรมที่เกิดขึ้นจากการวิจัยดาราศาสตร์ไปสู่ผลิตภัณฑ์นวัตกรรมที่มีความพร้อมเชิงการตลาด (market-mature technology) อาทิ UK Astronomy Technology Centre (UKATC) ณ Royal Observatory Edinburgh ของสหราชอาณาจักร ที่มีพันธกิจคาบเกี่ยวกับทั้งการสร้าง และพัฒนาอุปกรณ์เครื่องมือวิจัยดาราศาสตร์ชั้นแนวหน้าร่วมกับมหาวิทยาลัย สถาบันวิจัยและภาคอุตสาหกรรม อุปกรณ์ชั้นแนวหน้าที่พัฒนาขึ้นที่ UKATC



เป็นกล้องและเครื่องรับแสงที่ล้ำหน้าที่สุดในโลก เช่น กล้องอินฟราเรดสำหรับกล้องโทรทรรศน์อวกาศเจมส์เวบบ์ ด้วยแนวทางการพัฒนาเช่นนี้ UKATC จึงเป็นแหล่งบ่มเพาะทั้งเทคโนโลยีขั้นสูงและกำลังคนที่มีความเชี่ยวชาญที่สุดระดับโลกด้านวิศวกรรมโฟโตนิกส์และทัศนศาสตร์ วิศวกรรมไมโครอิเล็กทรอนิกส์ วิศวกรรมสัญญาณไมโครเวฟ เมคาทรอนิกส์ มีการแลกเปลี่ยนทั้งกำลังคนและเทคโนโลยีกับภาคอุตสาหกรรมอย่างต่อเนื่อง

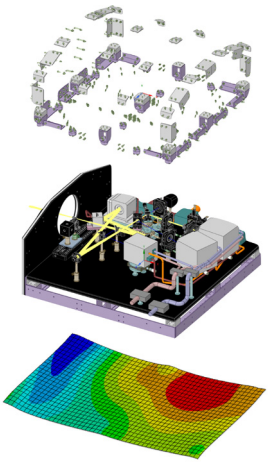
ภายใต้ยุทธศาสตร์นี้ สดร. ได้ก่อตั้งศูนย์ปฏิบัติการหอดูดาวและวิศวกรรม ศูนย์ปฏิบัติการดาราศาสตร์วิทยุ และศูนย์พัฒนาเทคโนโลยีทัศนศาสตร์และโฟโตนิกส์ เพื่อพัฒนาเทคโนโลยี 6 สาขา ได้แก่ (1) ทัศนศาสตร์และโฟโตนิกส์ (2) ดาราศาสตร์วิทยุ (3) เมคาทรอนิกส์ (4) การขึ้นรูปชิ้นงานความละเอียดสูง (5) เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์สมรรถนะสูง และ (6) ภาคีความร่วมมืออวกาศไทย ทั้ง 6 สาขามีความเกี่ยวพันโดยตรงกับการพัฒนาอุปกรณ์สำหรับงานวิจัยดาราศาสตร์ มีบทบาทสำคัญในการพัฒนาอุปกรณ์ขึ้นใช้เอง ซึ่งต้องใช้การบูรณาการองค์ความรู้ทั้งดาราศาสตร์ วิศวกรรมไฟฟ้าเครื่องกล คอมพิวเตอร์ และระบบควบคุม การบูรณาการองค์ความรู้ลักษณะนี้นับเป็นสิ่งจำเป็นต่อการพัฒนาเทคโนโลยีกล้องดูดาวขั้นสูงในประเทศ ตัวกล้องจะได้รับการออกแบบและสร้างด้วยความรู้ทางทัศนศาสตร์ ทัศนูปกรณ์ทุกชิ้นติดตั้งอยู่บนกลไกความแม่นยำสูงที่ขึ้นรูปด้วยเครื่อง Computer Numerical Control (CNC) ระบบควบคุมจะใช้ความรู้ด้านวิศวกรรมไฟฟ้า เครื่องกล และคอมพิวเตอร์ ส่วนซอฟต์แวร์ของกล้องจะออกแบบด้วยความรู้ทางดาราศาสตร์ จะเห็นได้ว่าการพัฒนาอุปกรณ์ทางดาราศาสตร์หนึ่งๆ นั้นต้องใช้บุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญทุกสาขาเหล่านี้ทำงานร่วมกัน การบูรณาการเพื่อพัฒนาอุปกรณ์ทางดาราศาสตร์ข้างต้นเกิดจากกลุ่มบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญสูง เมื่อรวมตัวกันแล้วจะสามารถต่อยอดให้เกิดประโยชน์กว้างขวางไม่จำกัดอยู่แต่เพียงการพัฒนาทัศนูปกรณ์ทางดาราศาสตร์ ดังตัวอย่างในหน้า 15



(ซ้าย) แบบร่างของ Evanescent Wave Coronagraph **(ขวา)** ภาพจำลองการทำงานของโคโรนากราฟ
ที่จะบังแสงดาวฤกษ์แม่ที่สว่างมากทำให้สามารถสังเกตดาวเคราะห์นอกระบบสุริยะ ("companion" ในวง)

ทัศนูปกรณ์ทางดาราศาสตร์ในช่วงคลื่นที่ตามองเห็นที่ สดร. พัฒนาขึ้น เช่น สเปกโตรกราฟความละเอียดสูงสำหรับศึกษาดาวเคราะห์นอกระบบสุริยะ (EXOplanet high-resolution SPECtrograph หรือ EXOhSPEC) เป็นสเปกโตรกราฟเทคโนโลยีใหม่ที่พัฒนาให้มีความละเอียดสเปกตรัมสูง และมีเทคโนโลยีคาบเกี่ยวกับการใช้วิเคราะห์ทางเคมี เช่น Raman spectroscopy เพื่อศึกษาบรรยากาศของโลก โครงการโคโรนากราฟ EvWaCo (Evanescent Wave Coronagraph) เป็นนวัตกรรมโคโรนากราฟสำหรับใช้ศึกษาระบบดาวเคราะห์นอกระบบสุริยะที่อยู่ใกล้ดาวฤกษ์แม่มากจนแสงจากดาวฤกษ์บดบังดาวเคราะห์ไปหมด หากไม่สังเกตด้วยการบังแสงจากดาวฤกษ์แม่ด้วยเทคนิคนี้ EvWaCo เป็นอุปกรณ์ต้นแบบสาธิตที่จะติดตั้งบนกล้องโทรทรรศน์แห่งชาติ และเมื่อพัฒนาจนมีประสิทธิภาพสูงจะมีศักยภาพในการนำเทคโนโลยีนี้เข้าร่วมโครงการสังเกตการณ์ด้วยกล้องโทรทรรศน์ขนาดใหญ่ซึ่งจะสามารถสังเกตดาวเคราะห์นอกระบบสุริยะคล้ายโลกที่อาจมีสภาพแวดล้อมเอื้อต่อการกำเนิดและวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตได้ เทคโนโลยีบางประการจากศูนย์เทคโนโลยีทัศนศาสตร์เริ่มปรากฏชัดว่าจะมีการนำไปใช้ประโยชน์ด้านการแพทย์ เช่น เทคโนโลยีกระจกปรับรูป (adaptive optics) ที่ใช้แก้ไขความพร่าไหวของชั้นบรรยากาศโลกเพื่อให้ภาพดาวคมชัด สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับกล้องจุลทรรศน์สำหรับถ่ายภาพเรตินาภายในดวงตาให้มีความคมชัดเพื่อศึกษาและตรวจรักษาเรตินาได้

ด้านช่วงคลื่นวิทยุ ศูนย์ปฏิบัติการดาราศาสตร์วิทยุมุ่งพัฒนาอุปกรณ์รับสัญญาณวิทยุในช่วงคลื่นต่างๆ สำหรับติดตั้ง ณ กล้องโทรทรรศน์วิทยุแห่งชาติ เช่น อุปกรณ์รับสัญญาณช่วง L band (ความถี่ 1-2 GHz) C band (4-8 GHz) K band (12-18 GHz) Q band (33-50 GHz) และ W band (75-115 GHz) ผลิตขึ้นโดยวิศวกรชาวไทยภายใต้ความร่วมมือกับหน่วยงานและสถาบันวิจัยดาราศาสตร์ในจีน เยอรมนี และสเปน การที่อุปกรณ์รับสัญญาณเหล่านี้ครอบคลุมความถี่ที่กว้างตั้งแต่ 1-115 GHz นั้นเปรียบเสมือนกล้องถ่ายภาพที่บันทึกภาพได้ทุก "สี" ทำให้ได้ข้อมูลที่สมบูรณ์และสามารถศึกษาลักษณะทางกายภาพของวัตถุวิจัยในช่วงคลื่นวิทยุได้อย่างชัดเจน เทคโนโลยีและบุคลากรที่เชี่ยวชาญจากการพัฒนาอุปกรณ์รับสัญญาณเหล่านี้ใช้ความเชี่ยวชาญเดียวกับที่จำเป็นในการสร้างเรดาร์ (ทั้งสำหรับกิจการพลเรือนและความมั่นคง) เทคโนโลยีสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุ 5G (มีความถี่คาบเกี่ยวกับอุปกรณ์รับสัญญาณที่ สดร. ได้ร่วมพัฒนา) และอุปกรณ์รับสัญญาณพลังงานต่ำประสิทธิภาพสูงสำหรับเทคโนโลยี Internet of Things (IoT) เป็นต้น



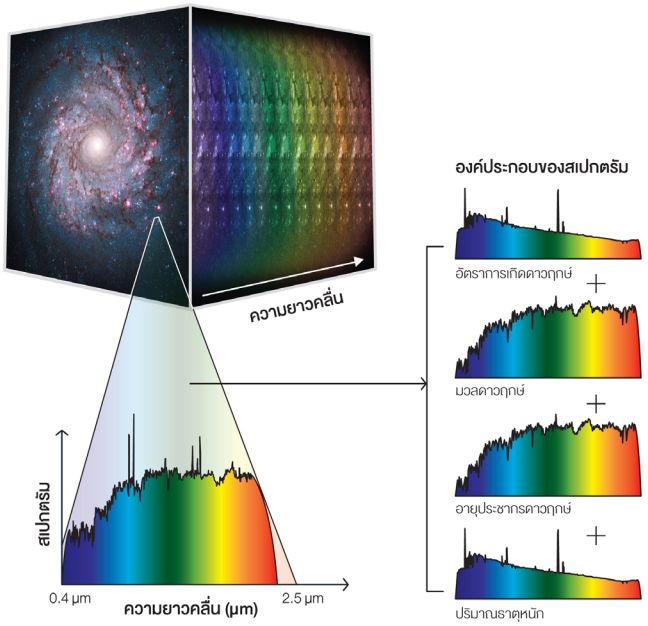
(ซ้าย) ขั้นตอนต่างๆ ในการออกแบบสเปกโตรกราฟของ สดร. จากชิ้นงานความละเอียดสูง (ซ้ายบน) สู่การประกอบอุปกรณ์เข้าด้วยกัน (ซ้ายกลาง) และการใช้ finite element analysis วิเคราะห์เสถียรภาพของสเปกโตรกราฟ **(กลาง)** แขนเทียมที่ สดร. สร้างเพื่อผู้พิการแต่กำเนิด ในพระอุปถัมภ์ของสมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้า กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี **(ขวา)** ต้นแบบเครื่องช่วยหายใจที่ สดร. พัฒนาต่อยอดจากระบบควบคุมที่สร้างขึ้นเพื่อใช้กับกล้องโทรทรรศน์แห่งชาติ

วิศวกรรมสำหรับดาราศาสตร์: จากหอดูดาวสู่เครื่องช่วยหายใจ

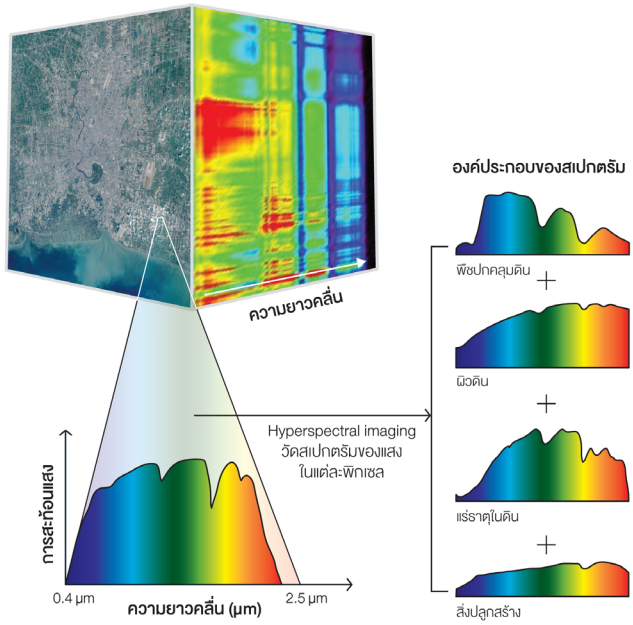
การสร้างอุปกรณ์วิจัยดาราศาสตร์ใช้ความเชี่ยวชาญสาขาวิศวกรรมเครื่องกล คอมพิวเตอร์ ไฟฟ้า ระบบควบคุม (สี่สาขานี้เมื่อบูรณาการเข้าด้วยกันจะเรียกว่า เมคาทรอนิกส์) ควบคู่กับความเชี่ยวชาญวิศวกรรมทัศนศาสตร์และโฟโตนิกส์ที่เป็นหัวใจของทัศนูปกรณ์ และยิ่งไปกว่านั้น ทักษะในทุกสาขาที่กล่าวมาต้องพัฒนาให้เชี่ยวชาญจนสามารถสร้างและควบคุมอุปกรณ์ที่อาจมีน้ำหนักหลายร้อยตันให้มีความแม่นยำระดับไมครอน เพราะจำเป็นต้องศึกษาแสงที่มีความยาวคลื่นหลักร้อยนาโนเมตร ขณะนี้ สดร. สามารถผลิตชิ้นส่วนอุปกรณ์ทางดาราศาสตร์ที่มีความแม่นยำ 10 ไมครอน ในปีที่ผ่านมา ผลิตชิ้นงานความละเอียดสูง 545 ชิ้น นอกจากชิ้นส่วนแต่ละชิ้นจะต้องมีความแม่นยำสูงแล้ว การประกอบชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกันเป็นทัศนูปกรณ์ดาราศาสตร์ยังต้องสร้างแบบจำลอง multiphysics ในทุกระดับ อาทิ การใช้ finite element analysis (FEA) เพื่อออกแบบสเปกโตรกราฟให้มีการบิดโค้งของทางเดินแสงอยู่ในระดับที่ควบคุมได้ไม่ว่าจะหมุนตามการเลื่อนที่ของดาวไปในทิศทางใด และให้มีทางเดินแสงที่เสถียรระดับไมครอนแม้อุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงไป

ความเชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมสำหรับดาราศาสตร์ของ สดร. เป็นกลุ่มความเชี่ยวชาญที่เมื่อรวมตัวกันแล้วเกิดประโยชน์กว้างขวางไปกว่าการสนับสนุนงานวิจัยดาราศาสตร์ เช่น การใช้ FEA สร้างแขน-ขาเทียมที่มีความคงทนสูง มีน้ำหนักเบา และหยิบจับสิ่งของได้ด้วยระบบควบคุม และอีกกรณีตัวอย่างหนึ่ง คือ การประยุกต์ระบบควบคุมที่พัฒนาขึ้นสำหรับกล้องโทรทรรศน์แห่งชาติด้วยเทคนิค cascaded proportional–integral–derivative controller มาพัฒนาให้มีเสถียรภาพสูงขึ้น โดยใช้ Kalman filter เข้าช่วยกรองสัญญาณรบกวน (noise) สร้างเครื่องช่วยหายใจภายในประเทศที่มีเสถียรภาพสูง สามารถควบคุมตัวแปรอัตราการหายใจ การไหล และความดันของอากาศได้ตามความต้องการของแพทย์ ในช่วงเวลาเพียง 8 สัปดาห์หลัง WHO ประกาศการระบาดร้ายแรงของโรค COVID-19 เมื่อวันที่ 11 มีนาคม พ.ศ. 2563 ภายใต้ความร่วมมือกับคณาจารย์และแพทย์จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โรงพยาบาลนครพิงค์ และโรงพยาบาลมหาราชนครเชียงใหม่ นักวิจัยและวิศวกรของ สดร. จึงสามารถก้าวข้ามขีดจำกัดของการเริ่มต้นสร้างเครื่องมือแพทย์ได้ในเวลาอันสั้น โดยได้รับความช่วยเหลือด้านอุปกรณ์ที่อยู่นอกเหนือพันธกิจทั่วไปของ สดร. (เช่น ปอดเทียม) และได้ทราบถึงคุณลักษณะของเครื่องช่วยหายใจที่จำเป็นจากแพทย์ในการสร้างต้นแบบแต่ละครั้งจนต้นแบบสุดท้ายเป็นที่ยอมรับสามารถนำไปผลิตใช้ได้จริง

Integral Field Spectroscopy
วัดสเปกตรัมของแสงทั่วทั้งวัตถุที่ต้องการ



เทคโนโลยี Hyperspectral Imaging
สำหรับการจำแนกสิ่งปกคลุมดินความแม่นยำสูง



ระบบนิเวศที่เกื้อกูลกันของการวิจัยดาราศาสตร์และเทคโนโลยีอวกาศ ทั้งเทคโนโลยีดาวเทียมและวิศวกรรมอวกาศยาน ล้วนเป็นลักษณะร่วมในประเทศที่มีความสามารถทางอุตสาหกรรมระดับสูง ได้แก่ กลุ่มประเทศสหภาพยุโรป สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น และจีน ระบบนิเวศนี้จะเป็นกลไกสำคัญในการพัฒนาเทคโนโลยีขั้นสูงเพื่อขับเคลื่อนไทยเช่นเดียวกัน สดร. และหน่วยงานภายใต้กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (อว.) อีก 11 หน่วยงาน จึงได้ร่วมกันก่อตั้ง ภาคีความร่วมมืออวกาศไทย (Thai Space Consortium) เพื่อบ่มเพาะระบบนิเวศนี้ โดยมุ่งพัฒนาเทคโนโลยีและกำลังคนภายในประเทศด้วยการสร้างดาวเทียมขึ้นเอง ทั้งนี้เพราะเทคโนโลยีที่จำเป็นสำหรับอุตสาหกรรมอวกาศมีส่วนคล้ายคลึงกับเทคโนโลยีที่หน่วยงานต่างๆ มีการพัฒนาอยู่แล้วตามพันธกิจ พร้อมที่จะพัฒนาต่อยอดให้มีความคงทนและสามารถทำงานร่วมกันอย่างเป็นเอกเทศในสภาพแวดล้อมของอวกาศได้

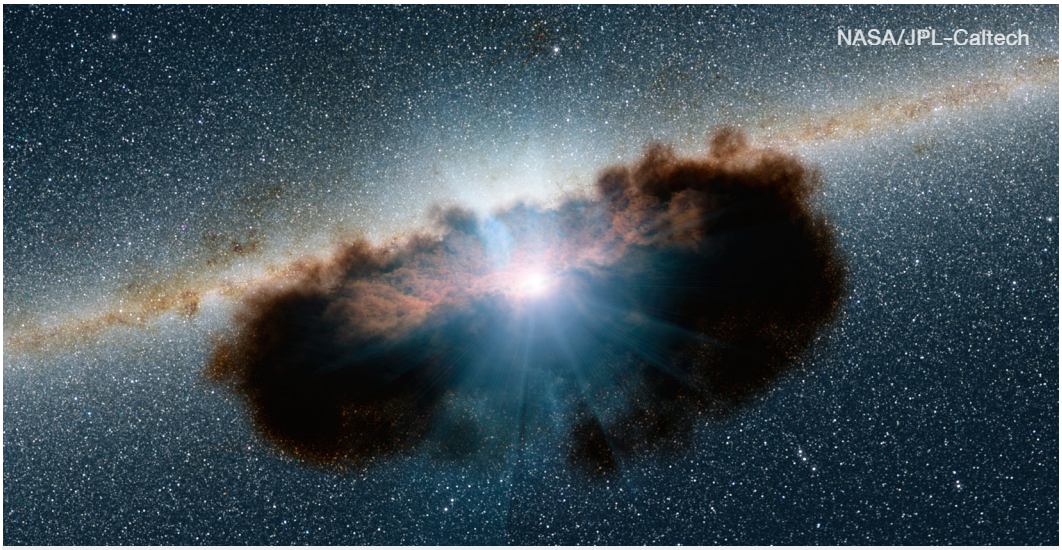
อุปกรณ์หลัก (primary payload) ของดาวเทียมดวงแรกที่จะสร้างขึ้น (ดาวเทียม TSC-1 ดัง roadmap ในหน้า 31) คือ hyperspectral imager เพื่อบันทึกทั้งภาพและสเปกตรัมของผิวโลกไปพร้อมๆ กัน ซึ่งเป็นเทคนิคใหม่ที่มีศักยภาพสูง สามารถใช้วิเคราะห์ข้อมูลเชิงลึกไปกว่าการถ่ายภาพดาวเทียมในอดีต เทคนิค hyperspectral imaging นี้มีการพัฒนาใช้งานในวงการดาราศาสตร์มากว่า 30 ปีแล้ว ในรูปของ integral field spectroscopy ที่บันทึกทั้งภาพและสเปกตรัมของวัตถุท้องฟ้าไปพร้อมๆ กัน **(ภาพซ้าย)** ทำให้นักดาราศาสตร์มีความชำนาญเป็นพิเศษด้านข้อมูลสเปกตรัมสามมิติจากการวิเคราะห์ข้อมูลวัตถุท้องฟ้า

การนำความเชี่ยวชาญทางดาราศาสตร์นี้มาวิเคราะห์ข้อมูลผิวโลก **(ภาพขวา)** จะก่อให้เกิดการพัฒนากำลังคนที่เชี่ยวชาญเฉพาะทาง เพื่อศึกษาปัญหาทางภูมิศาสตร์ที่มีผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตคนไทย เช่น ทราบถึงชนิดของพืชปกคลุมดิน[5] องค์ประกอบของดิน[6] การขาดน้ำหรือสารอาหารของพืชไร่[7,8] โรคพืช[9] ซึ่งเป็นข้อมูลตั้งต้นสำคัญของการเกษตรแม่นยำ (precision agriculture) ศึกษาพืชเศรษฐกิจในสถานะการเติบโตต่างๆ[10,11] เพื่อสร้างแบบจำลองทำนายและศึกษาวิธีการเพิ่มผลผลิตต่อไร่ สามารถทำนายผลผลิตล่วงหน้าด้วยวิธีทางสถิติและเทคนิคปัญญาประดิษฐ์ เป็นข้อมูลสำหรับภาครัฐในการกำหนดนโยบายเพื่อช่วยเหลือเกษตรกร การพัฒนากำลังคนที่เชี่ยวชาญเฉพาะทางเหล่านี้จะเป็นปัจจัยสำคัญในการพึ่งพาตนเองในอนาคต

หอดูดาว Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) เป็นหมู่กล้องโทรทรรศน์คลื่นไมโครเวฟระดับ best-in-class ประกอบด้วยจานรับสัญญาณ 66 จาน ที่นักวิจัยของ สดร. ใช้ศึกษาวิจัยอย่างต่อเนื่อง

การพัฒนาตามยุทธศาสตร์ของภาคีความร่วมมืออวกาศไทยจะขยาย core competency ของ สดร. และหน่วยงานในภาคีอย่างก้าวกระโดดทั้งด้านกำลังคน เทคโนโลยี และระบบนิเวศอุตสาหกรรมในประเทศ อนึ่ง ตัวอย่างสถาบันวิจัยดาราศาสตร์ในประเทศกำลังพัฒนาที่ประสบความสำเร็จอย่างมากในการพัฒนาระบบนิเวศวิจัยดาราศาสตร์และเทคโนโลยีอวกาศ คือ Indian Institute of Astrophysics ประเทศอินเดีย ที่พัฒนาระบบดาวเทียมกล้องโทรทรรศน์อวกาศขึ้นเองด้วยเทคโนโลยีในประเทศร่วมกับ Indian Space Research Organisation โดยเริ่มจากกล้องโทรทรรศน์อวกาศขนาดเล็ก และพัฒนาต่อเนื่องมาสู่ดาวเทียมกล้องโทรทรรศน์อวกาศช่วงคลื่นอัลตราไวโอเลตอาทิตยา (Aditya-L1) ที่มีกล้องและอุปกรณ์สำรวจดวงอาทิตย์ 7 ระบบ มวลรวม 244 กิโลกรัม เพื่อส่งไปประจำการในวงโคจรรอบดวงอาทิตย์ที่ระยะ 1.5 ล้านกิโลเมตรจากโลก ดาวเทียมนี้พัฒนาขึ้นด้วยเทคโนโลยีและกำลังคนในอินเดียเป็นหลัก ทำให้ใช้งบประมาณเพียง 52 ล้านเหรียญสหรัฐ เพื่อสร้างกล้องโทรทรรศน์อวกาศระดับ best-in-class ควบคู่ไปกับการพัฒนาเทคโนโลยี กำลังคน และระบบนิเวศอุตสาหกรรมอวกาศในประเทศ

สดร. ให้ความสำคัญเป็นพิเศษกับการเลือกเฟ้นแนวทางพัฒนาการวิจัยดาราศาสตร์ให้เกิดประโยชน์อย่างสูงที่สุด ทั้งการวิจัยบุกเบิกสร้างองค์ความรู้ใหม่ในสาขาที่มีผลกระทบสูง (เช่น benchmark กับ Decadal Survey ของสหรัฐอเมริกา หรือ Astronet ของสหภาพยุโรป) และยุทธศาสตร์การพัฒนาถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่อุตสาหกรรมในประเทศ กรณีศึกษาหนึ่ง คือ การเข้าร่วมโครงการ Cherenkov Telescope Array (รายละเอียดดังปรากฏในกรอบหน้า 18-19) ที่ตอบโจทย์ทั้งด้านการวิจัยดาราศาสตร์ระดับ best-in-class หรือ first-in-class และการพัฒนาเทคโนโลยีไปพร้อมๆ กัน รูปแบบการพัฒนานี้จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องอาศัยการนำขององค์กรวิจัยดาราศาสตร์ระดับชาติเพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อมหาวิทยาลัยและสถาบันการศึกษาในประเทศ ในแง่นี้ อาจกล่าวได้ว่า สดร. มีบทบาทเป็นทั้ง “ผู้เบิกทาง” (enabler) และ “ผู้ทำวิจัย” (doer) เพื่อผลักดันงานวิจัยดาราศาสตร์



หลุมดำ ณ ใจกลางดาราจักรกิมมันต์ เป็นแหล่งรังสีแกมมาหนึ่งที่โครงการ CTA มุ่งศึกษา

กรณีศึกษา: การพัฒนาเทคโนโลยีฟิล์มบางสำหรับกล้องโทรทรรศน์รังสีแกมมา Cherenkov Telescope Array

การเข้าร่วมโครงการ Cherenkov Telescope Array Observatory (CTA) นับเป็นครั้งแรกที่ไทยเข้าร่วมโครงการวิจัยดาราศาสตร์ระดับโลกขนาดใหญ่ตั้งแต่ระยะแรกก่อตั้ง ทำให้นักวิจัยไทยมีบทบาทเคียงบ่าเคียงไหล่กับนักวิจัยแนวหน้าจากทั่วโลกในการกำหนดทิศทางของโครงการ หอดูดาว CTA ประกอบไปด้วยกล้องเชเรนคอฟขนาด 4-23 เมตร จำนวนกว่าหนึ่งร้อยกล้องในสองซีกโลก ได้แก่ เกาะลาปาลมา ประเทศสเปน และทะเลทรายแถบปารานาล ประเทศชิลี ทำงานร่วมกันเป็นเครือข่ายหอดูดาวที่สามารถส่องสังเกตท้องฟ้าในช่วงคลื่นรังสีแกมมาระดับพลังงาน 20 GeV - 300 TeV ในทั้งสองซีกฟ้า มีความไวสูงกว่ากล้องโทรทรรศน์รังสีเชเรนคอฟใดๆ ในโลกอย่างน้อย 10 เท่า นับได้ว่าเป็นหน้าต่างบานใหม่สู่การศึกษาดาราศาสตร์รังสีแกมมาเมื่อเปิดใช้งานได้เต็มที่ในทศวรรษ 2030 อนึ่ง ระยะเวลา 15 ปี นับตั้งแต่ไทยเริ่มเข้าร่วมโครงการ CTA เมื่อปี ค.ศ. 2015 ไปจนถึงเวลาดังกล่าวเป็นระยะเวลาอันมีค่ายิ่งที่ไทยจะพัฒนาศักยภาพนักวิจัยดาราศาสตร์รังสีแกมมาและวิศวกรในสาขาที่เกี่ยวข้องอย่างเต็มกำลัง เพื่อพัฒนาไปสู่ความเป็นผู้นำระดับโลกด้านดาราศาสตร์รังสีแกมมา

ประเทศไทย นำโดย สดร. ได้เสนอ in-kind contribution (IKC) เพื่อเข้าร่วมโครงการในรูปของเทคโนโลยีการเคลือบและบำรุงรักษากระจกรวมแสงของกล้อง CTA ทั้งนี้ เพราะกล้องจำนวนกว่าร้อยกล้องของโครงการมีกระจกรวมแสงกว่า 6,000 บาน ที่ตั้งสังเกตการณ์อยู่กลางแจ้ง ทำให้ผิวสะท้อนถูกกัดกร่อนไปอย่างต่อเนื่อง และต้องเคลือบผิวใหม่ทุกๆ 6 ปี IKC นี้มีความเหมาะสมอย่างยิ่งต่อยุทธศาสตร์การพัฒนาเทคโนโลยีและกำลังคน เพราะ สดร. ได้ร่วมมือกับสถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สร้างเครื่องเคลือบกระจกสำหรับกล้องโทรทรรศน์ ณ หอดูดาวแห่งชาติขนาด 2.4 เมตร สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี จึงเป็นโอกาสอันดีที่ สดร. และภาคีความร่วมมือ จะได้ขยายศักยภาพที่มีอยู่แล้วไปสู่เทคโนโลยีการผลิตฟิล์มบางความแม่นยำสูงระดับอุตสาหกรรมต่อไป

เครื่องเคลือบกระจกระดับอุตสาหกรรมสำหรับโครงการ CTA ที่พัฒนาขึ้นโดย สซ. และ สดร.

ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2015 เป็นต้นมา สดร. ได้ร่วมกับ Durham University พัฒนาฟิล์มบางสะท้อนแสงให้ได้ตามมาตรฐานความคงทนของโครงการ CTA ผลปรากฏว่าฟิล์มสะท้อนแสงที่เคลือบด้วยระบบ magnetron sputtering ของ สดร. นั้นมีความคงทนสูงที่สุดชิ้นหนึ่งที่ได้ทดสอบมา ความประจวบเหมาะของความเชี่ยวชาญในประเทศและความร่วมมือกับ Durham University นี้เป็นเหตุให้คณะผู้วิจัยทั้งจากฝั่งไทยและสหราชอาณาจักรมีความเห็นพ้องกันที่จะขยายขอบเขตการดำเนินงาน จัดตั้ง CTA Mirror Facility (CMF) ในประเทศไทย เพื่อเคลือบกระจก ทดสอบสมรรถนะการสะท้อนแสง ความคงทน และพัฒนาแนวทางดูแลรักษาระบบกระจกของโครงการ CTA การจัดตั้ง CMF ในประเทศไทยจะยังประโยชน์หลายประการทั้งต่อโครงการ CTA และยิ่งไปกว่านั้นคือการพัฒนาศักยภาพเทคโนโลยีฟิล์มบางของ สดร. จุดมุ่งหมายสูงสุดระยะยาว คือ การพัฒนาเทคโนโลยีฟิล์มบางบนชิ้นงานขนาดใหญ่ในประเทศที่มีศักยภาพการแข่งขันภาคอุตสาหกรรม เช่น การพัฒนา solar cell ประสิทธิภาพสูง หรือการเคลือบกระจกหน้าต่างประหยัดพลังงาน (low emissivity glass)

พร้อมกันนี้ สดร. ได้ผลักดันให้เกิดความร่วมมือระหว่างนักวิจัยดาราศาสตร์รังสีแกมมาในประเทศ ปัจจุบันกลุ่มนักวิจัยมีจำนวนเติบโตเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ขณะนี้มีอาจารย์ นักวิจัย และนักศึกษากว่า 15 คน จาก 5 มหาวิทยาลัยร่วมวิจัยอยู่กับโครงการ CTA คณะนักวิจัยไทย ได้ร่วมกันจัด Thai-CTA Workshop on Astroparticle Physics เมื่อปี พ.ศ. 2562 มีจุดมุ่งหมายหลักให้นักศึกษาระดับปริญญาโท-เอก ในประเทศ มีประสบการณ์ตรงในการทำวิจัยดาราศาสตร์รังสีแกมมาด้วย CTA ซึ่งได้รับผลตอบรับเป็นอย่างดี มีผู้เข้าร่วมชาวไทย และนักศึกษาต่างชาติจาก 8 ประเทศ รวมทั้งสิ้นกว่า 50 คน นอกจากนี้ สดร. ยังได้ขยายขอบเขตการดำเนินงานให้กว้างขวางยิ่งขึ้นด้วยการร่วมมือกับผู้เชี่ยวชาญระดับโลกด้านดาราศาสตร์รังสีแกมมา ณ Durham University และ University of Oxford เพื่อถ่ายทอดความเชี่ยวชาญด้านการใช้ machine-based data analysis สำหรับข้อมูลจากโครงการ CTA จะก่อให้เกิดประโยชน์ทั้งการพัฒนาเทคโนโลยี กำลังคนด้านวิศวกรรม กำลังคนด้านการวิจัยดาราศาสตร์ รวมถึงความพยายามในการถ่ายทอดเทคโนโลยีไปสู่ภาคอุตสาหกรรมทั้งด้านเทคโนโลยีฟิล์มบางและ data science

กิจกรรมดูดาวของ สดร. ที่ลานหน้าห้างสรรพสินค้าสยามพารากอน

สถาบันเพื่อเชื่อมจักรวาลสู่สังคมไทย

สดร. เผยแพร่ความรู้ดาราศาสตร์สู่สังคมโดยมุ่งให้เกิดผลสัมฤทธิ์สูงสุดสองประการ ได้แก่ การร่วมบ่มเพาะสังคมอุดมปัญญา และการสร้างฉันทามติของสังคมให้เล็งเห็นถึงความสำคัญและประโยชน์ของการลงทุนด้านวิทยาศาสตร์รากฐานของชาติ จึงเป็นพันธกิจหลักที่ สดร. ทุ่มเททรัพยากรและกำลังคนอย่างต่อเนื่องมาตั้งแต่ก่อตั้งสถาบัน สดร. พัฒนาการบริการให้สอดคล้องกับความต้องการของประชาชน 4 กลุ่มหลัก ประกอบด้วย ครู นักเรียน/เยาวชน ประชาชนทั่วไป และนักดาราศาสตร์สมัครเล่น ปัจจุบันมีการให้บริการจาก 4 แห่ง ได้แก่ หอดูดาวภูมิภาคสำหรับประชาชนซึ่งตั้งอยู่ในจังหวัดฉะเชิงเทรา จังหวัดนครราชสีมา จังหวัดสงขลา และอุทยานดาราศาสตร์สิรินธร จังหวัดเชียงใหม่ สำหรับอีก 2 แห่ง อยู่ในระหว่างการก่อสร้าง คือ จังหวัดขอนแก่น และจังหวัดพิษณุโลก

สดร. เผยแพร่ความรู้ทางดาราศาสตร์และจัดอบรมครูในระดับต่างๆ อย่างต่อเนื่อง ในปี พ.ศ. 2565 สดร. ได้ให้บริการประชาชนจำนวน 465,000 คน เพิ่มขึ้นจากปีที่ผ่านมา แม้จะมีช่วงที่ไม่สามารถให้บริการได้ระยะหนึ่งจากสถานการณ์การระบาดของโรค COVID-19 ผู้รับบริการส่วนใหญ่เป็นเยาวชน และประชาชนทั่วไป ทั้งนี้ หอดูดาวภูมิภาคสำหรับประชาชนแต่ละแห่งประกอบด้วย หอดูดาวที่ติดตั้งกล้องโทรทรรศน์เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.7 เมตร สำหรับบริการประชาชนและการทำโครงงานจัยของนักเรียน นักศึกษา กล้องโทรทรรศน์ขนาดเล็กสำหรับจัดกิจกรรมดูดาว ท้องฟ้าจำลอง และส่วนนิทรรศการ หอดูดาวภูมิภาคสำหรับประชาชนลักษณะคล้ายกันนี้พบมากในหลายประเทศ อาทิ ญี่ปุ่น สหราชอาณาจักร สหรัฐอเมริกา เป็นต้น อย่างไรก็ตาม สดร. เป็นสถาบันวิจัยทางดาราศาสตร์ระดับชาติที่ให้ความสำคัญกับการเผยแพร่ความรู้ทางดาราศาสตร์สูงที่สุดแห่งหนึ่งในโลก หอดูดาวภูมิภาคของ สดร. มีความพิเศษคือมีการให้บริการครบวงจรอย่างเป็นระบบสำหรับทั้งสี่กลุ่มเป้าหมายข้างต้น เป็นการเผยแพร่ความรู้ทางดาราศาสตร์ที่จัดให้สอดคล้องกับบริบทความต้องการของสังคมไทย และไม่ปรากฏว่ามีสถาบันวิจัยดาราศาสตร์ระดับชาติอื่นใดที่มีศูนย์ให้บริการประชาชนทั่วไปในระดับที่เทียบได้ ยกเว้นองค์กรวิจัยดาราศาสตร์ขนาดใหญ่บางแห่งที่มีหน่วยงานเฉพาะสำหรับเผยแพร่ดาราศาสตร์ อาทิ Haus der Astronomie ของ Max Planck Institute for Astronomy และ ESO Supernova Planetarium & Visitor Centre ณ สำนักงานใหญ่ของ European Southern Observatory ประเทศเยอรมนี

ความโดดเด่นระดับโลกประการหนึ่งของงานเผยแพร่ความรู้ดาราศาสตร์ของ สดร. คือ การปรับตัวเข้าใช้สื่อสังคมออนไลน์ (social media) อย่างมีประสิทธิภาพ ดังปรากฏชัดจากการที่ Facebook Page ของ สดร. มีผู้ติดตามกว่า 620,000 คน (กันยายน พ.ศ. 2565) แม้จะเผยแพร่เนื้อหาเป็นภาษาไทย ซึ่งมีความโดดเด่นในหมู่หอดูดาวแห่งชาติ เมื่อเทียบกับหอดูดาวแห่งยุโรป (European Southern Observatory; จำนวนผู้ติดตาม 274,000 คน ณ เดือนกันยายน พ.ศ. 2565) หรือ National Astronomical Observatory of Japan (จำนวนผู้ติดตาม 3,300 คน ณ เดือนกันยายน พ.ศ. 2565) ในรอบปีที่ผ่านมามีการเผยแพร่ทางสื่อ Facebook สองครั้งที่ได้รับความสนใจจากสังคมไทยมากเป็นพิเศษ คือ การถ่ายทอดสดการเกิดปรากฏการณ์สุริยุปราคาบางส่วน วันที่ 21 มิถุนายน พ.ศ. 2563 ที่เข้าถึงผู้ใช้จำนวน 10.18 ล้านคน และ การเผยแพร่ข่าวการค้นพบสารฟอสฟีนบนดาวศุกร์ที่อาจเป็นหลักฐานบ่งชี้ถึงสารชีวโมเลกุลในบรรยากาศของดาว เมื่อวันที่ 14 กันยายน พ.ศ. 2563 ที่เข้าถึงผู้ใช้จำนวน 5.31 ล้านคน และมีการเผยแพร่คลิปวิดีโอ “เผยภาพแรกของหลุมดำใจกลางกาแล็กซีทางช้างเผือก Sagittarius A” หนึ่งในข่าวใหญ่ของวงการดาราศาสตร์โลก ยอดผู้เข้าชมกว่า 200,000 ครั้ง นอกจากนี้ สดร. ยังมีการเผยแพร่ข้อมูล ข่าวสารในสื่อสังคมออนไลน์ต่าง ๆ ส่งผลให้เกิดมูลค่าการประชาสัมพันธ์สูงถึง 764.9 ล้านบาท ในปี 2565

ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2558 เป็นต้นมา สดร. ได้บุกเบิกยุทธศาสตร์ใหม่ในการเผยแพร่ดาราศาสตร์เชิงรุก เป็นการขยายโอกาสเข้าถึง core competency การเผยแพร่ความรู้ของ สดร. ไปสู่เด็กและเยาวชนในถิ่นทุรกันดาร ภายใต้โครงการ “77 จังหวัด เปิดฟ้าส่องโลกดาราศาสตร์ เปิดโอกาสเรียนรู้ทั่วหล้า” ช่วยให้โรงเรียนที่ขาดงบประมาณอุปกรณ์เครื่องมือ สามารถให้บริการดาราศาสตร์ที่ครบวงจรแก่นักเรียนได้ กล่าวคือ มอบกล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสงขนาด 10 นิ้ว ซึ่งเป็นกล้องขนาดที่เริ่มสามารถใช้ศึกษาวัตถุท้องฟ้าได้อย่างจริงจัง มอบสื่อการเรียนรู้ จัดอบรมครูให้สามารถใช้กล้องโทรทรรศน์เพื่อการเรียนสอนรวมถึงการบริการดาราศาสตร์แก่ชุมชนได้อย่างมีประสิทธิภาพ พร้อมสร้างเครือข่ายครูที่สามารถเข้าถึงกิจกรรมทางดาราศาสตร์ระดับสูงได้อย่างต่อเนื่อง

นักเรียนฟังบรรยายเรื่องดาวฤกษ์ในท้องฟ้าจำลองของ สดร. (2560)

ยุทธศาสตร์นี้อาศัยประสบการณ์ของบุคลากรของ สดร. ที่คลุกคลีใกล้ชิดกับครูและบุคลากรการศึกษามากว่าทศวรรษ ทำให้เห็นปัญหาและอุปสรรคของการเรียนการสอนดาราศาสตร์ในไทย และสามารถแก้ไขได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีโรงเรียนในเครือข่าย 560 โรงเรียนใน 77 จังหวัดทั่วไทย ที่ได้รับมอบกล้องและสื่อการเรียนรู้ (พ.ศ. 2557-2565) ทำให้การเผยแพร่ความรู้มากขึ้น อย่างก้าวกระโดด เกิดการจัดกิจกรรมดาราศาสตร์โดยโรงเรียนแทรกซึมบุกเบิกเข้าไปในชุมชนอย่างเป็นวงกว้าง นอกจากนี้ยังมีโครงการติดตามพัฒนาเครือข่ายนี้ในทุกระดับ ตั้งแต่ระดับชมรมดาราศาสตร์ในโรงเรียนไปถึง research-based outreach หรือ “ยุววิจัยดาราศาสตร์” ที่ให้นักเรียนระดับมัธยมศึกษาทำโครงงานดาราศาสตร์ ภายใต้การสนับสนุนของ สดร. เพื่อให้นักเรียนมีประสบการณ์การทำงานวิจัยดาราศาสตร์อย่างครบวงจรเหมือน นักดาราศาสตร์ฟิสิกส์ ตั้งแต่การเก็บข้อมูลไปจนถึงการนำเสนอผลงาน โดยนักเรียนจะนำเสนอผลงานใน “การประชุมวิชาการดาราศาสตร์แห่งประเทศไทย (สำหรับเยาวชน)” ซึ่งเป็นเวทีแลกเปลี่ยนความรู้ที่ปราศจากการแข่งขัน มีนักเรียนเข้าร่วมนำเสนอผลงานยุววิจัยกว่า 1,500 คน รวมผลงานที่เข้าร่วมนำเสนอกว่า 450 โครงงาน ในระยะเวลา 8 ปีที่ผ่านมา

สดร. มุ่งใช้กำลังคนและศักยภาพการเผยแพร่ความรู้ทางดาราศาสตร์เพื่อสร้างความตระหนักถึงมิติของงานดาราศาสตร์ที่กว้างขวางไปกว่าการดูดาว อันรวมไปถึงการวิจัย การพัฒนาเทคโนโลยี โดยเฉพาะอย่างยิ่งเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นจากการตอบโจทย์ทางดาราศาสตร์ ทั้งนี้เพื่อสร้างความเห็นพ้องร่วมกันในสังคมต่อสารที่ว่าการลงทุนวิจัยดาราศาสตร์เป็นการลงทุนพัฒนาเทคโนโลยีและกำลังคนของประเทศ เพื่อยกระดับความสามารถการแข่งขันภาคอุตสาหกรรมและคุณภาพชีวิตของคนไทย อันจะนำไปสู่ฉันทามติในการลงทุนด้านดาราศาสตร์และวิทยาศาสตร์รากฐานของชาติ

(หน้าตรงข้าม) นักเรียนฟังบรรยายเรื่องเครื่องเคลือบกระจก ระหว่างการทัศนศึกษาสำนักงานใหญ่ สดร. ณ อุทยานดาราศาสตร์สิรินธร
(ภาพล่าง) Cherenkov Telescope Array เป็นโครงการวิจัยดาราศาสตร์ระดับโลกที่ สดร. มีบทบาทนำในการพาไทยเข้าร่วม (CTA/M-A. Besel/IAC/ESO)

สถาบันเพื่อเชื่อมไทยสู่ภูมิรัฐศาสตร์ในศตวรรษปัจจุบัน

งานวิจัยดาราศาสตร์อาศัยความร่วมมือของนักวิจัยทั่วโลกจำนวนมาก มีการทำงานร่วมกันอย่างแน่นแฟ้นของนักดาราศาสตร์จากหลายๆ ประเทศในแต่ละโครงการอยู่เสมอ เป็นธรรมดาวิสัยในวงการดาราศาสตร์ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะนักดาราศาสตร์ทั่วโลกล้วนมุ่งศึกษาท้องฟ้าเดียวร่วมกัน หรือ เพราะความเข้าใจในธรรมชาติของจักรวาล อาทิ ลักษณะทางกายภาพของวัตถุท้องฟ้า มักไม่มีผลกระทบโดยตรงต่อความลับทางการค้าหรือความมั่นคงของชาติ ทำให้นักดาราศาสตร์มีความร่วมมือระหว่างกัน แม้ในหมู่ประเทศที่ความสัมพันธ์ทางการเมือง และการทูตไม่ราบรื่นนัก เช่น ความร่วมมือของนักดาราศาสตร์จีนและไต้หวันในโครงการถ่ายภาพหลุมดำ (ค.ศ. 2019) ความร่วมมือของนักดาราศาสตร์เยอรมนีและรัสเซียในการสร้างกล้องโทรทรรศน์อวกาศเอกซ์เรย์ Spektr-RG (ค.ศ. 2019) เป็นต้น ในแง่นี้ ความร่วมมือทางดาราศาสตร์เป็นช่องทางพิเศษที่ช่วยสร้างความเข้าใจระหว่างกันในหมู่ประชาชนระดับทวิภาคีหรือพหุภาคีในภาวะที่ช่องทางอื่นตีบตัน

สดร. ได้ยึดถือการสร้างความร่วมมือทางดาราศาสตร์ทั้งในและต่างประเทศเป็นพันธกิจหลักประการหนึ่งของสถาบัน ขณะนี้มีความร่วมมืออย่างเป็นทางการ (นิยามโดยจำนวนบันทึกความเข้าใจ: MoU) กับหน่วยงานในประเทศจำนวน 43 MoU และสถาบันในต่างประเทศจำนวน 34 MoU จาก 21 ประเทศ ความสำคัญของความร่วมมือระหว่างประเทศปรากฏชัดขึ้นเมื่อไทยเข้าร่วมโครงการวิจัยพหุภาคีระดับโลก อาทิ Cherenkov Telescope Array หรือ Jiangmen Underground Neutrino Observatory ดังกล่าวข้างต้น โครงการพหุภาคีหนึ่งที่ควรกล่าวถึง คือ ศูนย์ฝึกอบรมดาราศาสตร์นานาชาติภายใต้ยูเนสโก (ITCA) ซึ่งเป็นศูนย์ฝึกอบรมดาราศาสตร์ภายใต้ยูเนสโกแห่งแรกของโลก มี สดร. เป็นเจ้าภาพผลักดันและสนับสนุนการก่อตั้ง นอกจากนี้ สดร. ยังสนับสนุนการเผยแพร่ความรู้ดาราศาสตร์ไปสู่ประเทศแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ภายใต้ SEA-ROAD อาทิ การส่งผู้เชี่ยวชาญเพื่อช่วยแนะนำให้คำปรึกษาและฝึกอบรมสำหรับสร้างหอดูดาวในสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว เป็นต้น (ภาพหน้าถัดไป)

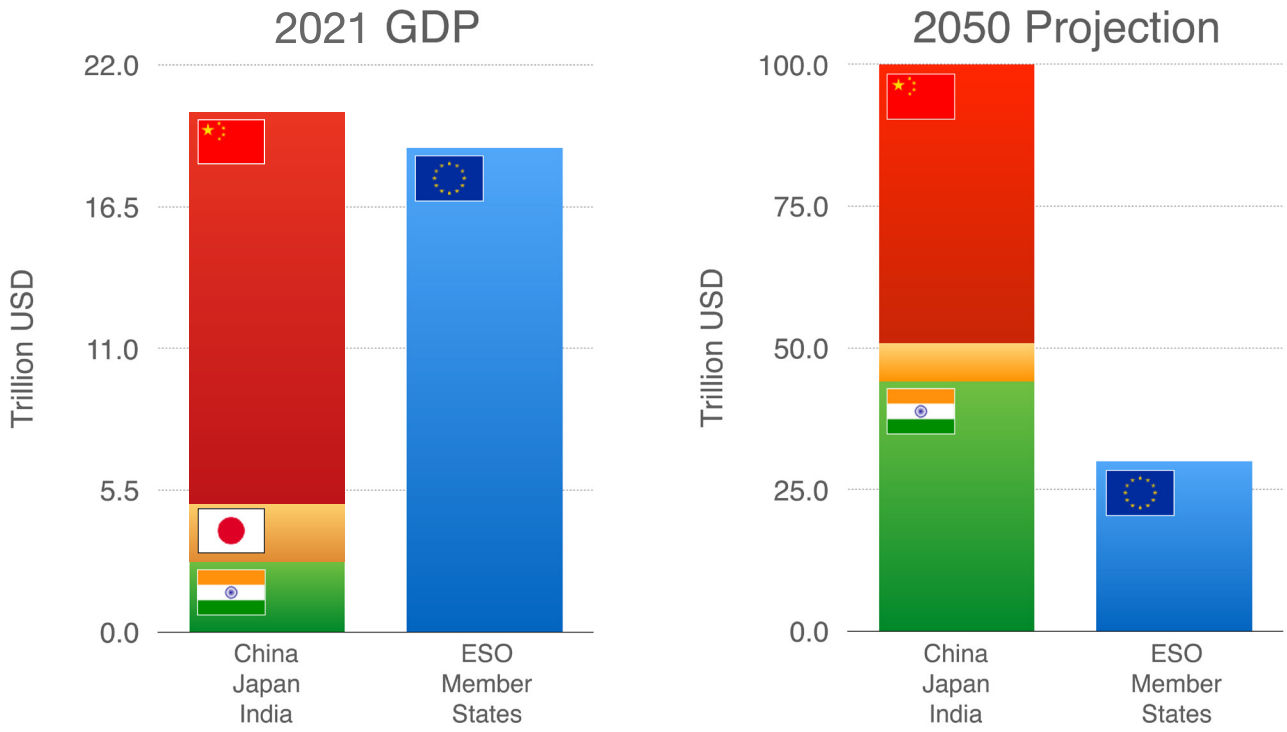
ITCA และ SEA-ROAD:
กระจายโอกาสดาราศาสตร์ สู่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้และมิตรประเทศ

กิจกรรมกระจายโอกาสด้านดาราศาสตร์สู่ประเทศแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ของ สดร. ผ่าน International Training Centre in Astronomy under the auspices of UNESCO (ITCA) และ Southeast Asia Regional Office of Astronomy for Development (SEA-ROAD)

ในทศวรรษนี้ การสร้างความร่วมมือทั้งในและต่างประเทศจะเข้ามามีบทบาทพิเศษ ตัวอย่างเช่นกรณีของภาคีวิจัยบรรยากาศแห่งประเทศไทย (TCAR: Thailand Consortium for Atmospheric Research) ที่เป็นความร่วมมือของนักวิจัย 55 คน นำโดย สดร. กับหน่วยงานภาครัฐ และมหาวิทยาลัยอีก 28 แห่ง เพื่อวิจัยวิทยาศาสตร์บรรยากาศและคุณภาพอากาศของไทย ภาคีนี้เป็นการขยายขอบเขต core competency ของ สดร. จากกลุ่มวิจัยวิทยาศาสตร์บรรยากาศ (ARUN: Atmospheric Research Unit of NARIT) ที่ศึกษาวิจัยด้านวิทยาศาสตร์บรรยากาศมาอย่างต่อเนื่อง ครอบคลุมตั้งแต่ผลกระทบจากอนุภาคที่มาจากอวกาศต่อชั้นบรรยากาศ จนถึงศึกษาการเกิดและการเคลื่อนตัวของฝุ่นละอองขนาดเล็กในชั้นบรรยากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ภาคเหนือของไทย ทำให้พบว่าการทำวิจัยด้านวิทยาศาสตร์บรรยากาศของไทยยังไม่ปรากฏแนวทางการวิจัยที่ชัดเจนรอบด้าน ผู้เชี่ยวชาญในสาขาวิจัยดังกล่าวกระจายอยู่ในมหาวิทยาลัยและหน่วยงานต่างๆ ทั่วประเทศ สดร. จึงได้ริเริ่มจัดทำแผนบูรณาการวิจัยด้านคุณภาพอากาศ (air quality research programs) ของประเทศ และจัดตั้งภาคีวิจัยบรรยากาศแห่งประเทศไทยในปี พ.ศ. 2562 เพื่อส่งเสริมการทำวิจัยด้านวิทยาศาสตร์บรรยากาศและคุณภาพอากาศของประเทศให้มีประสิทธิภาพ บูรณาการทรัพยากรทางการวิจัยทั้งที่อยู่ในมหาวิทยาลัย และหน่วยงานต่างๆ ร่วมกัน ผลของงานวิจัยร่วมจากภาคี TCAR จะยังประโยชน์ต่อยอดไปสู่ประเทศเพื่อนบ้านในคาบสมุทรสุวรรณภูมิที่ประสบปัญหามลภาวะทางอากาศร่วมกับไทย จะเป็นโอกาสหนึ่งที่จะดำเนินการทูตเชิงรุกเพื่อแก้ปัญหาสภาพอากาศของไทยและประเทศเพื่อนบ้านในระยะยาว พร้อมกับการสร้างความร่วมมือกันในหมู่ประเทศอาเซียนอีกด้วย

ในทศวรรษ 2050 ไทยจะอยู่ ณ ศูนย์กลางทางเศรษฐกิจของโลก

การลงทุนด้านวิทยาศาสตร์พื้นฐาน คือ การสร้างหลักประกันความสามารถในการแข่งขันของชาติ



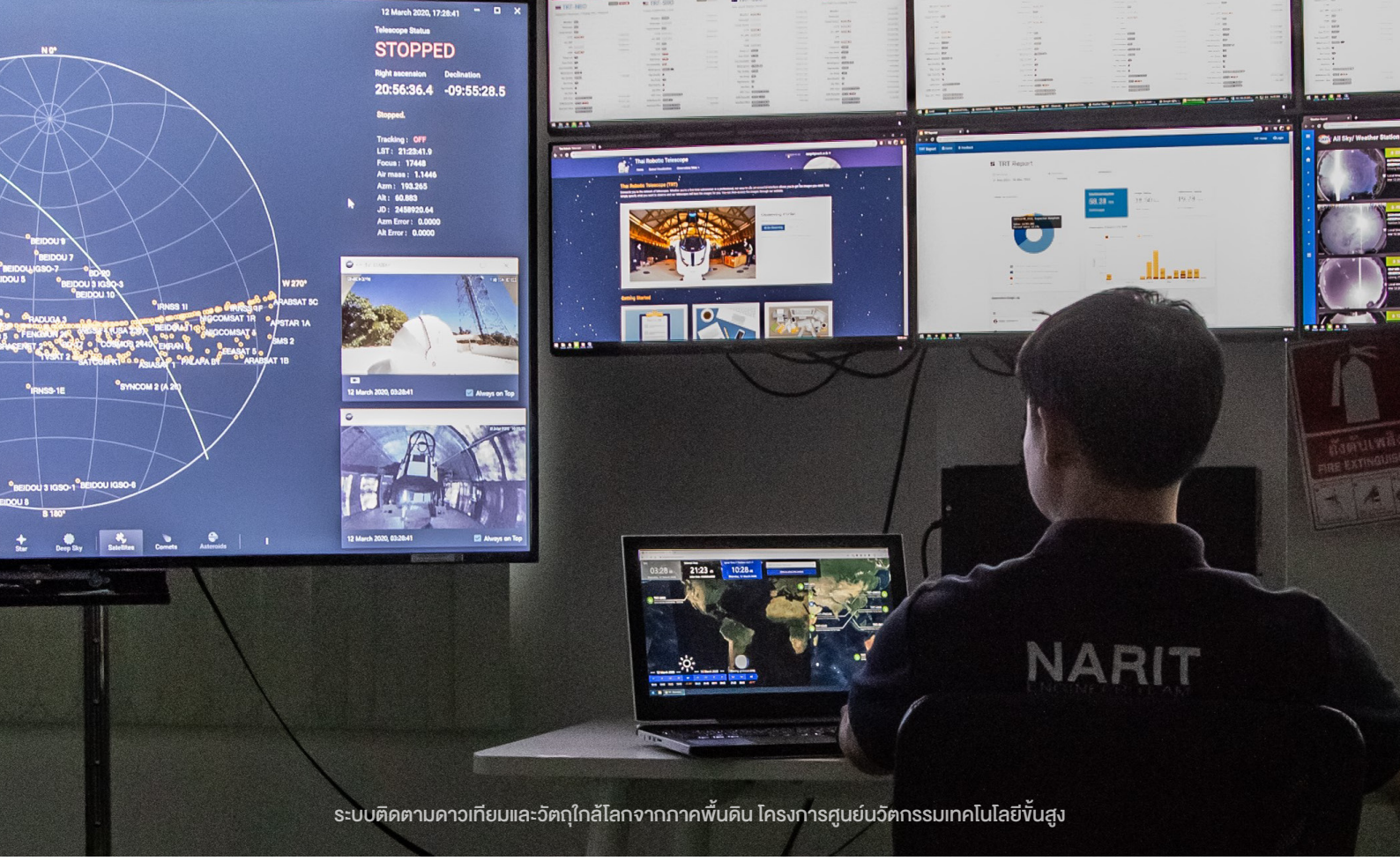
ห้วงเวลานี้มีความแหลมคมยิ่งของไทยในภูมิรัฐศาสตร์ของโลก กล่าวคือ การแข่งขันของขั้วอำนาจปัจจุบัน คือ จีน และสหรัฐอเมริกา อีก 30 ปี ข้างหน้า การแข่งขันของอินเดียและจีนจะเข้ามามีบทบาทมากขึ้นในฐานะประเทศขนาดเศรษฐกิจสองอันดับแรกของโลกในทศวรรษ 2050 การบ่มเพาะความร่วมมือพหุภาคีกับหมู่ประเทศเหล่านี้จะมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อไทยในอนาคต สดร. เล็งเห็นศักยภาพของการใช้งานวิจัยดาราศาสตร์เป็นช่องทางสร้างความร่วมมือและแลกเปลี่ยนระหว่างประเทศ และเล็งเห็นข้อจำกัดของประเทศแถบเอเชียที่ยังไม่มีองค์กรระหว่างประเทศเพื่อการวิจัยดาราศาสตร์ แม้ว่านักดาราศาสตร์จากภูมิภาคเอเชีย ไม่ว่าจะเป็น ญี่ปุ่น จีน อินเดีย เกาหลี หรือไต้หวัน จะมีความร่วมมือทางดาราศาสตร์แน่นแฟ้นมาโดยตลอด ทั้งนี้ส่วนหนึ่งของปัญหาเกิดจากความขัดแย้งทางประวัติศาสตร์หรือทางการเมือง ทำให้การเจรจาความร่วมมือพหุภาคีทางดาราศาสตร์ในเอเชียไม่สามารถเริ่มขึ้นได้ อย่างไรก็ตาม ไทยอยู่ในสถานะพิเศษที่มีความสัมพันธ์อันดีกับทุกประเทศข้างต้นมาช้านาน ทั้งด้านการทูตและสังคมวัฒนธรรม อีกทั้งไม่มีความโน้มเอียงทางการเมืองเป็นพิเศษกับประเทศใดประเทศหนึ่ง ทำให้นักดาราศาสตร์จาก จีน เกาหลี และอินเดีย สนับสนุนให้ไทยเริ่มเป็นเจ้าภาพในการเชิญประเทศของตนเข้าร่วมเจรจาจัดตั้งองค์การดาราศาสตร์เอเชียอย่างเป็นทางการ ซึ่งได้มีการดำเนินการมาแล้วตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562 และยังดำเนินการอยู่อย่างต่อเนื่อง ดังจะได้กล่าวถึงต่อไปในส่วนยุทธศาสตร์การพัฒนาในอนาคต (รายละเอียดเพิ่มเติมในหน้า 35-36)

กล้องโทรทรรศน์วิทยุแห่งชาติขนาด 40 เมตร ฐานการพัฒนานวัตกรรมคลื่นวิทยุของ สดร.

ยุทธศาสตร์การพัฒนา ตามพันธกิจของสถาบัน

สดร. มียุทธศาสตร์การพัฒนา 5 ด้าน เพื่อยกระดับไทยให้เป็นประเทศชั้นนำด้านการวิจัยดาราศาสตร์ระบบนิเวศเทคโนโลยีขั้นสูง สังคมอุดมปัญญา และสร้างความร่วมมือระหว่างประเทศเพื่อสร้างและรักษาขีดความสามารถในการแข่งขันของชาติ ภายใต้ความท้าทายทางภูมิรัฐศาสตร์ที่รายล้อมประเทศไทยในศตวรรษปัจจุบัน ได้แก่ **(1) โครงการศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีขั้นสูง (2) โครงการภาคีความร่วมมืออวกาศไทย (3) โครงการภาคีความร่วมมือการวิจัยวิทยาศาสตร์บรรยากาศไทย (4) โครงการขยายช่องทางเชื่อมจักรวาลสู่สังคมไทยผ่านหอดูดาวภูมิภาค และ (5) โครงการจัดตั้งองค์กรระหว่างประเทศเพื่อการวิจัยดาราศาสตร์แห่งเอเชีย**

หากใช้ผลการประเมินมูลค่าทางเศรษฐกิจของ สดร. ในปีงบประมาณ 2564 เป็นเกณฑ์ฐาน มูลค่าทางเศรษฐกิจจากการดำเนินงานของ สดร. ในปีงบประมาณ 2565 จะมีค่าอย่างน้อย 1,551.60 ล้านบาท ค่าประมาณการดังกล่าว ไม่รวมผลจากการดำเนินงานตามยุทธศาสตร์การพัฒนาดังกล่าวข้างต้น ทั้งนี้ สดร. คาดว่ายุทธศาสตร์การพัฒนาทั้ง 5 ด้าน จะทำให้มูลค่าทางเศรษฐกิจจากการดำเนินงานของ สดร. ในปีงบประมาณต่อๆ ไป เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและเพิ่มขึ้นเป็นทวีคูณ แม้งบประมาณที่ได้รับจะเพิ่มขึ้นเป็นเชิงเส้น



ระบบติดตามดาวเทียมและวัตถุใกล้โลกจากภาคพื้นดิน โครงการศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีขั้นสูง

โครงการศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีขั้นสูง

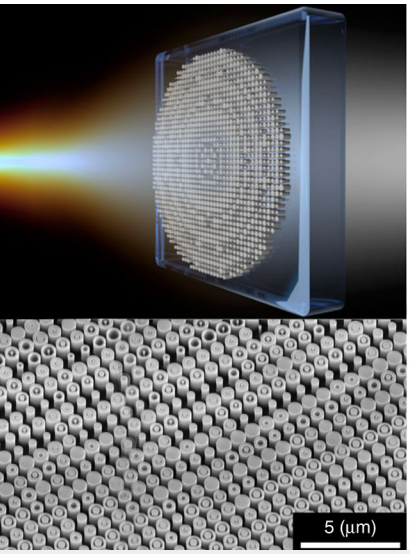
นวัตกรรมเทคโนโลยีขั้นสูง (Deep Tech) คือเทคโนโลยีที่ต้องพัฒนาขึ้นโดยอาศัยการวิจัยอย่างเข้มข้น ใช้เวลา ทุน และกำลังคนผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทาง อันเป็นอุปสรรคของภาคอุตสาหกรรม เพราะระยะเวลากว่าที่การลงทุนจะก่อผลิตภัณฑ์สู่ตลาด และเกิดผลตอบแทนนั้นมักยาวนานเกินกว่าที่เอกชนจะแบกรับความเสี่ยงได้ อย่างไรก็ตาม เป็นที่ประจักษ์เสมอมาว่าการลงทุนวิจัยดาราศาสตร์ก่อให้เกิดผลพลอยได้เป็นเทคโนโลยีขั้นสูงมาอย่างต่อเนื่อง ไม่ว่าจะเป็นเทคโนโลยีกล้องดิจิทัล (เริ่มพัฒนาใช้ในการวิจัยดาราศาสตร์ในยุค 1970) Wi-Fi (พัฒนาขึ้นจากการวิจัยดาราศาสตร์วิทยุช่วงยุค 1990) หรือการใช้เทคโนโลยี Big Data ในการบริหารจัดการข้อมูลปริมาณมาก (เริ่มใช้แพร่หลายในการจัดการข้อมูลดาราศาสตร์ในยุค 1990 เช่นกัน) การวิจัยดาราศาสตร์จึงส่งผลให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีและกำลังคนที่มีความเชี่ยวชาญ พร้อมถ่ายทอดสู่ภาคอุตสาหกรรมในทันทีที่มีความต้องการ ในแง่นี้ การลงทุนวิจัยดาราศาสตร์เป็นแนวทางหนึ่งของการใช้โจทย์ที่ท้าทายที่สุดในการพัฒนากำลังคน เพื่อเป็นหลักประกันของการพัฒนาประเทศในระยะยาว เราอาจมองได้ว่าการลงทุนเพื่อวิจัยดาราศาสตร์นั้นเป็น “Deepest niche of the Deep Tech” ที่อาจไม่ได้รับความสนใจจากภาคอุตสาหกรรมเพราะไม่เห็นผลตอบแทนในระยะสั้น จึงเป็นหน้าที่ของรัฐบาลและสถาบันวิจัยระดับชาติที่จะผลักดันการสร้างหลักประกันของชาติด้วยยุทธศาสตร์นี้

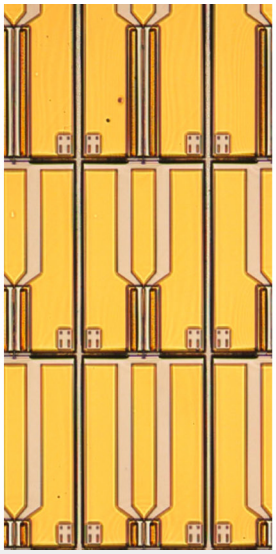
ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีขั้นสูงมุ่งเน้นการวิจัยและพัฒนา Deep Tech ในสาขาที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการวิจัยดาราศาสตร์ ห้องปฏิบัติการ 5 สาขา ภายใต้ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีขั้นสูง ได้แก่ เทคโนโลยีทัศนศาสตร์และโฟโตนิกส์ เทคโนโลยีคลื่นความถี่วิทยุและสัญญาณดิจิทัล เทคโนโลยีเมคาทรอนิกส์ เทคโนโลยีการขึ้นรูปชิ้นงานความละเอียดสูง และเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์สมรรถนะสูงและวิทยาศาสตร์ข้อมูล เมื่อทำงานบูรณาการกันจะก่อให้เกิดการพัฒนาอุปกรณ์วิจัยทางดาราศาสตร์ระดับ best-in-class ที่สามารถใช้เจรจาความร่วมมือเคียงบ่าเคียงไหล่กับนักดาราศาสตร์จากทั่วโลก เปิดโอกาสให้นักวิจัยไทยสามารถทำงานวิจัยดาราศาสตร์ระดับโลกได้ แม้การลงทุนสร้างกล้องโทรทรรศน์ขนาดใหญ่จะอยู่เหนือความสามารถในการลงทุนของประเทศก็ตาม

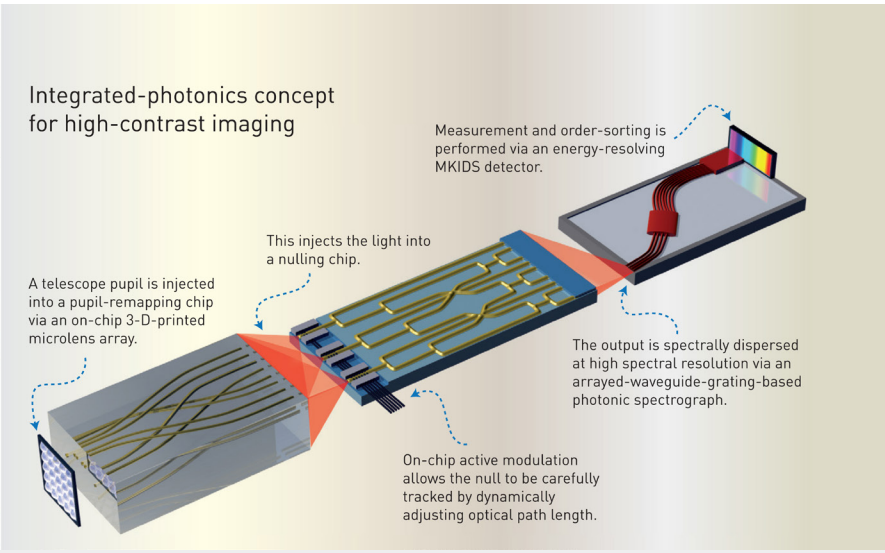
นักวิจัยทัศนูปกรณ์ดาราศาสตร์ สดร. ในห้องปฏิบัติการ

ในระยะ 10-15 ปี ข้างหน้า สดร. คาดว่าจะมี Deep Tech ที่มีผลกระทบสูงกับเศรษฐกิจของประเทศเกิดขึ้นจากการตอบโจทย์ดาราศาสตร์โดยตรงหลายสาขา ที่พัฒนาขึ้นจากห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีดาราศาสตร์และถ่ายทอดสู่ภาคอุตสาหกรรมได้ด้วยระบบนิเวศ Deep Tech เช่น

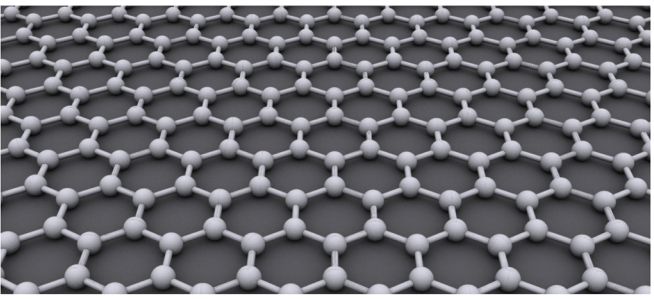
(1) เทคโนโลยีโฟโตนิกส์ขั้นสูง (advanced photonics; ภาพล่าง) การค้นหาและศึกษาระบบดาวเคราะห์นอกระบบสุริยะ (exoplanets) ต้องใช้สเปกโตรกราฟความละเอียดสูงที่อาศัยเทคโนโลยีโฟโตนิกส์ขั้นสูง (advanced photonics) โดยเฉพาะอย่างยิ่งวงจร integrated photonics ซึ่งใช้โฟตอนในวงจร (แทนอิเล็กตรอนใน integrated circuit หรือ IC ในปัจจุบัน) แม้ปัจจุบันจะยังไม่มีความต้องการเทคโนโลยีนี้ในภาคอุตสาหกรรม แต่มีความต้องการใช้สร้างสเปกโตรกราฟเพื่องานวิจัยดาราศาสตร์สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังเห็นได้จากจำนวนการอ้างอิงด้าน astrophotonics spectrograph ที่เพิ่มสูงขึ้นกว่า 500% ในระยะ 15 ปีที่ผ่านมา[12] หาก integrated photonics circuit มีการใช้งานแพร่หลายเช่นเดียวกับชิพ IC ความเชี่ยวชาญในประเทศที่เกิดขึ้นจากการพัฒนาดาราศาสตร์ตั้งแต่ห้วงเวลานี้ จะช่วยให้ไทยมีระบบนิเวศด้าน integrated photonics ที่พร้อมเป็นผู้นำระดับโลกทั้งด้านการวิจัยและภาคอุตสาหกรรม และอีกตัวอย่างหนึ่ง คือ เลนส์แบบเรียบที่สร้างขึ้นจากเทคโนโลยี nanolithography ที่เริ่มมีบทบาทในงานวิจัยดาราศาสตร์เพื่อการออกแบบทัศนูปกรณ์ที่ไม่สามารถทำได้ด้วยเลนส์แบบดั้งเดิมที่ใช้ในกล้องโทรทรรศน์

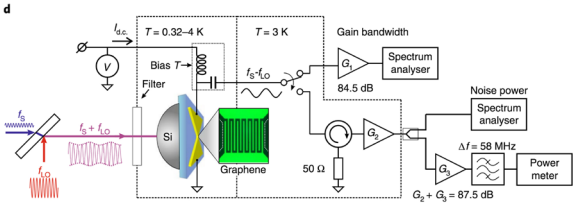


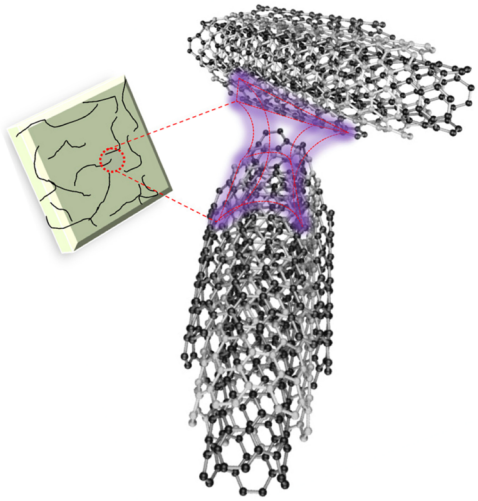


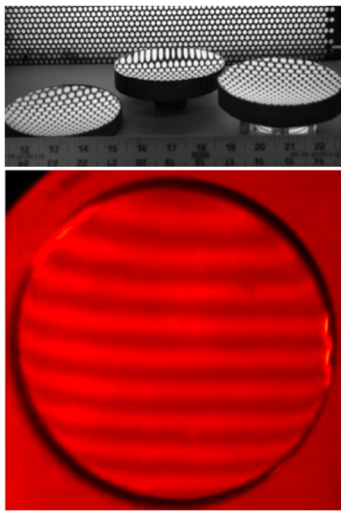


(ซ้าย) เลนส์แบบเรียบชนิดใหม่ที่สร้างด้วยเทคโนโลยี (nanolithographic metalenses)[13] **(ขวา)** เทคโนโลยี integrated photonics ขั้นสูงเริ่มมีการใช้งานในการสร้างสเปกโตรกราฟทางดาราศาสตร์ แม้จะยังไม่มีความต้องการแพร่หลายในภาคอุตสาหกรรม[14]







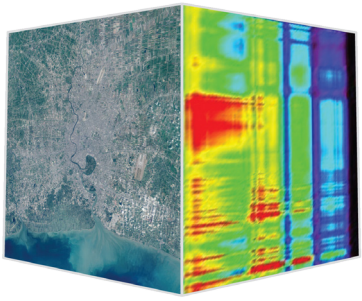


(ซ้าย) ตัวรับสัญญาณเทราเฮิรตซ์ที่สร้างจากกราฟีน จะมีบทบาทสูงยิ่งในการถ่ายภาพทางการแพทย์ในอนาคต[15,16,17,18]
(ขวา) กระจกรับแสงจาก carbon nanotube ที่สามารถปรับรูปได้อาจเป็นหัวใจสำคัญในการสร้างกล้องโทรทรรศน์ขนาด 100 เมตร[19,20]

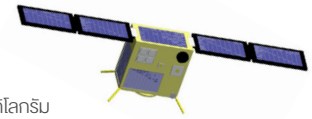
(2) เทคโนโลยีวัสดุศาสตร์ขั้นสูง (advanced materials) เช่น การใช้กราฟีนสร้างอุปกรณ์รับสัญญาณเทราเฮิรตซ์ (THz หรือช่วงคลื่นไมโครเวฟ; ภาพบนซ้าย) ซึ่งสามารถใช้สร้างกล้องเทราเฮิรตซ์ที่มีขนาดใหญ่ความละเอียดสูงสำหรับศึกษาดาวและกาแล็กซีขณะก่อตัวที่มักห่อหุ้มด้วยฝุ่นหนาทึบ เทคโนโลยีเดียวกันนี้จะมีบทบาทสูงยิ่งในการถ่ายภาพทางการแพทย์ในอนาคต โดยเฉพาะอย่างยิ่งการถ่ายภาพเซลล์มะเร็งที่มีการไหลเวียนของเลือดสูงกว่าเซลล์รอบข้าง ทำให้มีลักษณะเฉพาะที่จำแนกได้ในช่วงคลื่นไมโครเวฟ และอีกตัวอย่างหนึ่ง คือการสร้างกระจกรับแสงจาก carbon nanotube (ภาพบนขวา) ที่มีศักยภาพ self-sensing และ self-actuating รวมทั้งมีน้ำหนักเบา จึงได้รับความสนใจเป็นพิเศษในฐานะเทคโนโลยีที่จะเป็นตัวแปรสำคัญในการสร้างกล้องโทรทรรศน์ขนาด 100 เมตร ที่ยังไม่สามารถสร้างขึ้นได้ด้วยเทคโนโลยีและงบประมาณในปัจจุบัน อนึ่ง นักดาราศาสตร์คาดว่ากล้องโทรทรรศน์ที่สามารถใช้ศึกษาสัญญาณชีวโมเลกุลจากดาวเคราะห์นอกระบบสุริยะจะต้องมีขนาดอย่างน้อย 70 เมตร

(3) เทคโนโลยี AI และควอนตัมคอมพิวเตอร์ การวิจัยดาราศาสตร์ก่อให้เกิดข้อมูลปริมาณมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสำรวจท้องฟ้าแบบดิจิทัล ที่ผลักดันให้เกิดการพัฒนาด้าน data science อย่างมากตั้งแต่ทศวรรษ 1980 จึงมีการพัฒนากำลังคนที่มีความเชี่ยวชาญพร้อมป้อนสู่ภาคอุตสาหกรรม เมื่อความต้องการเกิดขึ้นอย่างแทบจะฉับพลันในทศวรรษ 2000 กล้องโทรทรรศน์ยุคหน้าจะผลิตข้อมูลปริมาณมากยิ่งขึ้นไปอีก เช่น กล้อง Square Kilometer Array ที่จะสร้างแล้วเสร็จปลายทศวรรษ 2020 โดยจะมีปริมาณข้อมูลมากกว่าข้อมูลที่ส่งผ่านอินเทอร์เน็ตทั้งโลกในปัจจุบัน ข้อมูลเหล่านี้มีปริมาณมากกว่าข้อมูลจากอุตสาหกรรม Big Data ใดๆ จึงเป็นเสมือนห้องปฏิบัติการ Big Data ขั้นสูงที่จะเป็นฐานในการพัฒนาการจัดการข้อมูล โดยเฉพาะอย่างยิ่ง AI ที่จะมีบทบาทสำคัญยิ่งในระยะ 10-20 ปีข้างหน้า อีกทั้งยังเป็นแหล่งข้อมูลปริมาณมากที่มีความสัมพันธ์ทางฟิสิกส์ในหลายมิติที่สามารถใช้ศึกษาวิจัย quantum algorithm ต่างๆ เพื่อเตรียมความพร้อมเข้าสู่ยุคของควอนตัมคอมพิวเตอร์

ประโยชน์โดยตรงต่อภาคอุตสาหกรรมของศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีขั้นสูง คือ การพัฒนากำลังคนควบคู่กับการถ่ายทอดเทคโนโลยี (technology transfer) พัฒนาเทคโนโลยีต้นแบบ (prototype) สู่ผลิตภัณฑ์ที่มีความพร้อมทางการตลาด (market-mature product) และร่วมบ่มเพาะธุรกิจ start-up ในฐานะผู้ผลิตเทคโนโลยีเพื่อสร้างระบบนิเวศ Deep Tech ในประเทศที่จะเป็นส่วนสำคัญต่อการสร้างหลักประกันความสามารถเพื่อการแข่งขันของชาติในระยะยาว



TSC-1



มวลดาวเทียม: 100 กิโลกรัม
วงโคจร: Sun-Synchronous Orbit ความสูง 500-600 กิโลเมตร

อุปกรณ์วิจัยหลัก: Hyperspectral Imager ความละเอียดภาคพื้น 30 เมตร ครอบคลุมความยาวคลื่น 400-1000 นาโนเมตร
อุปกรณ์วิจัยรอง: อุปกรณ์สำรวจสภาพอวกาศ (space weather)
ผู้ออกแบบและผลิต: ภาคีความร่วมมืออวกาศไทย
ศูนย์ควบคุมและปฏิบัติการภาคพื้น: GISTDA

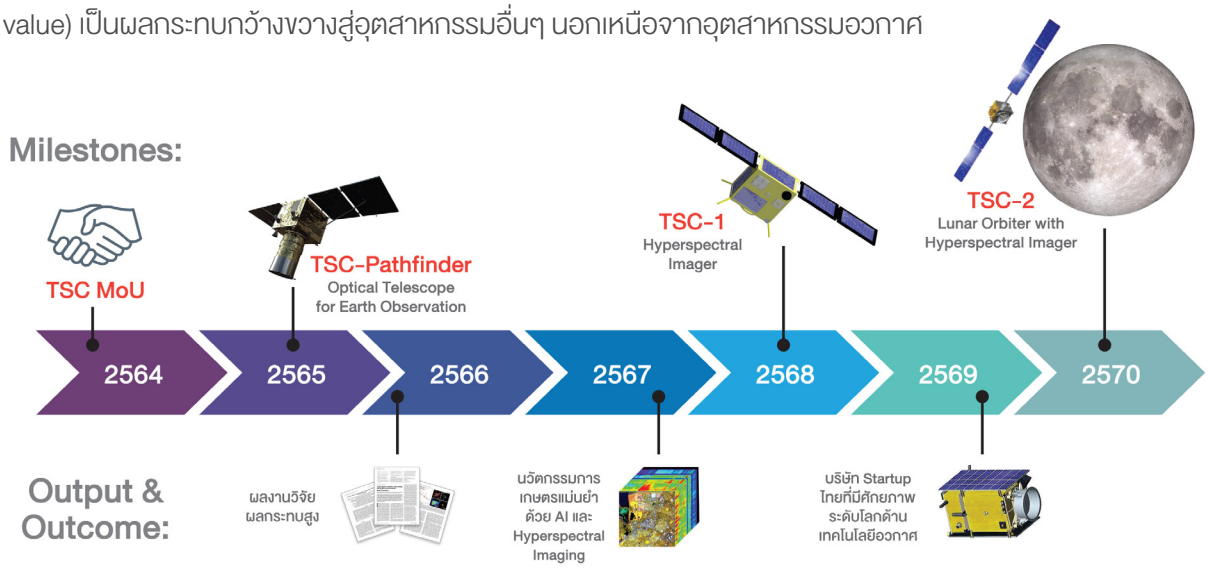
งบประมาณรวม: 891 ล้านบาท (ปีงบประมาณ 2565-2569)
กำหนดส่งขึ้นสู่อวกาศ: พ.ศ. 2568

สดร. และ ภาคีความร่วมมืออวกาศไทยมุ่งสร้างดาวเทียม TSC-1 เพื่อสำรวจโลกด้วย hyperspectral imager ที่จะบันทึกสเปกตรัมของทุกพื้นที่ และวิเคราะห์ข้อมูลเชิงลึกด้วยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ เพื่อส่งเสริมการเกษตรแม่นยำและการจัดการทรัพยากรธรรมชาติอย่างมีประสิทธิภาพ

ภาคีความร่วมมืออวกาศไทย

ภาคีความร่วมมืออวกาศไทย (Thai Space Consortium หรือ TSC) คือการผนึกกำลังของ 12 หน่วยงาน ภายใต้กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม โดยมี สดร. เป็นผู้ประสานงาน เพื่อสร้างดาวเทียมสำรวจโลกมวล 100 กิโลกรัม ด้วยกำลังคนและเทคโนโลยีในประเทศ ดาวเทียมดวงแรกที่ภาคีฯ จะสร้างขึ้น (TSC-1 ในภาพบน) จะใช้สำรวจพื้นโลกตลอดช่วงคลื่นที่ตามองเห็นด้วยเทคนิค hyperspectral imaging ที่บันทึกทั้งภาพและสเปกตรัมของผิวโลกไปพร้อมๆ กัน เพื่อวิเคราะห์ทางภูมิศาสตร์ในหลากหลายมิติ หมุดหมายสำคัญในแผนแม่บทของภาคีฯ (ภาพล่าง) คือ ดาวเทียม TSC-2 ที่มีอุปกรณ์วิจัยหลักคือ hyperspectral imager เช่นเดียวกับ TSC-1 แต่เพิ่มระบบขับดันให้ดาวเทียมเดินทางออกจากวงโคจรของโลกเพื่อไปโคจรศึกษารอบดวงจันทร์

การสร้างดาวเทียมเป็นการยกระดับศักยภาพการแข่งขันของชาติ ที่มีตัวเทียบวัดกับชาติอื่นๆ ชัดเจนในรูปของดาวเทียมและอวกาศยานที่มีความซับซ้อนมากขึ้นโดยลำดับ ผลักดันให้เกิดการสร้างกำลังคนที่มีทักษะความเชี่ยวชาญด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม และคณิตศาสตร์ (STEM) ถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ภาคเอกชน สร้างงานวิศวกรรมขั้นสูง เหนี่ยวนำให้เกิดห่วงโซ่อุปทานใหม่ในประเทศด้วยกำลังซื้อที่ผลักดันโดยภาครัฐ (anchor customer) เป็นการบ่มเพาะระบบนิเวศเทคโนโลยีอวกาศไทย ที่เมื่อเติบโตขึ้นอย่างมั่นคงจะก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มพลอยได้ (spill-over value) เป็นผลกระทบกว้างขวางสู่อุตสาหกรรมอื่นๆ นอกเหนือจากอุตสาหกรรมอวกาศ



ภาคีความร่วมมืออวกาศไทยมุ่งส่งดาวเทียม TSC-1 ขึ้นสู่อวกาศในปี พ.ศ. 2568 โดยในระยะก่อนหน้านั้น ภาคีฯ จะส่งดาวเทียม TSC-Pathfinder ขึ้นสู่อวกาศในปี พ.ศ. 2565 เพื่อพัฒนาศักยภาพ และโครงสร้างพื้นฐานตั้งต้น ด้วยการริเริ่มสร้างดาวเทียมภายใต้ความร่วมมือระหว่าง สดร. และ CIOMP (ประเทศจีน) อนึ่ง จุดมุ่งหมายสำคัญของภาคีฯ ในระยะ 10 ปีแรก คือ สร้างและพัฒนาศักยภาพกำลังคนและเทคโนโลยี ให้สามารถส่งดาวเทียม TSC-2 ไปโคจรรอบดวงจันทร์ภายในปี พ.ศ. 2570

New Space: โอกาสใหม่ของประเทศไทย

ปัจจัยที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอุตสาหกรรมอวกาศด้วยความเร่งในระยะ 15 ปีที่ผ่านมา (New Space) เกิดจากเทคโนโลยีอวกาศใหม่ๆ[22] โดยเฉพาะอย่างยิ่งเทคโนโลยีดิจิทัล และเทคโนโลยีการผลิตขั้นสูง ที่ทำให้การสำรวจและใช้ประโยชน์จากอวกาศมีต้นทุนต่ำลง มีประสิทธิภาพมากขึ้น เปิดโอกาสให้ภาคเอกชนเข้ามามีบทบาทสำคัญในการพัฒนาธุรกิจอวกาศ เช่น ดาวเทียมที่มีขนาดเล็กลงแต่ประสิทธิภาพสูงขึ้น เมื่อผนวกกับต้นทุนที่ต่ำลงในการส่งขึ้นสู่อวกาศด้วยจรวดของเอกชน ทำให้เกิดธุรกิจและบริการใหม่ด้านการสื่อสาร เช่น internet-of-things (IoT) จากอวกาศ หรือเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศที่ขับเคลื่อนด้วย AI อันเป็นรากฐานของการสร้างมูลค่าเพิ่มด้วยเกษตรอัจฉริยะและการสร้างการเติบโตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อนึ่ง ยุทธศาสตร์การใช้การวิจัยและสำรวจอวกาศเป็นเครื่องมือในการพัฒนาอุตสาหกรรมได้รับความสนใจอย่างยิ่งจากหลายประเทศ ดังจะเห็นจากการที่มูลค่าการลงทุนด้านอวกาศของภาครัฐทั่วโลกที่เพิ่มขึ้นเป็น 8 หมื่นล้านเหรียญสหรัฐ[23] (พ.ศ. 2562) นับว่าสูงที่สุดนับตั้งแต่ยุคโครงการอะพอลโลเมื่อกว่า 5 ทศวรรษที่แล้ว

ระบบนิเวศอวกาศ ประกอบด้วยสามส่วนใหญ่ๆ ได้แก่ (1) ส่วนต้นน้ำ (upstream segment) ที่เป็นกลไกนำในการสร้างโครงสร้างพื้นฐานให้แก่ส่วนอื่นๆ คือ การผลิตดาวเทียม ยานอวกาศ และจรวด ซึ่งต้องอาศัยเทคโนโลยีการผลิตขั้นสูง ทั้งเมคาทรอนิกส์ วิศวกรรมอัตโนมัติ (automation) ส่วนต้นน้ำนี้มีมูลค่าประมาณ 30% ของตลาดเทคโนโลยีอวกาศทั่วโลก (2) ส่วนกลางน้ำ (midstream segment) คือ ศูนย์ควบคุมและปฏิบัติการดาวเทียม (ground control and operation) ซึ่งมีมูลค่าประมาณ 10% ของตลาดเทคโนโลยีอวกาศทั่วโลก (3) อีก 60% ของตลาดอยู่ในส่วนปลายน้ำ (downstream segment) ที่เป็นการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีอวกาศ อาทิ การสื่อสาร ภูมิสารสนเทศ เกษตรอัจฉริยะ การเตือนภัยพิบัติ การนำร่อง และความมั่นคง ทั้งนี้ การใช้ประโยชน์อย่างสูงสุดจากอวกาศ ย่อมต้องพัฒนาระบบนิเวศทั้งสามส่วนให้เกิดขึ้นอย่างแข็งแกร่งในประเทศไทย เติบโตจากการเป็นผู้ซื้อเทคโนโลยี เป็นผู้ผลิตในประเทศ และก้าวต่อไปยังการเป็นผู้ส่งออกที่มีสถานะมั่นคงในห่วงโซ่มูลค่าเพิ่มการผลิตระหว่างประเทศ (global value chain)

	ต้นน้ำ	กลางน้ำ	ปลายน้ำ
กิจกรรมหลัก	การผลิตดาวเทียม ยานอวกาศ จรวด	ศูนย์ควบคุมและปฏิบัติการภาคพื้น	การสื่อสาร การนำร่อง ภูมิสารสนเทศ
มูลค่ารวมทั่วโลก	1.1 แสนล้านเหรียญสหรัฐ	3.3 หมื่นล้านเหรียญสหรัฐ	2.2 แสนล้านเหรียญสหรัฐ
ความเชี่ยวชาญหลัก	การผลิตขั้นสูง เมคาทรอนิกส์ การประกอบและทดสอบวัตถุอวกาศ	การสื่อสาร	วิศวกรรมซอฟต์แวร์ ปัญญาประดิษฐ์
องค์กรในประเทศที่มีศักยภาพ			
Prime/Tier-1 ผู้ผลิตระบบเทคโนโลยีอวกาศ	NARIT Siam Photon GISTDA		GISTDA
Tier-2/3/4 ผู้ผลิตชิ้นส่วนเทคโนโลยีอวกาศ	สทอภ. NSTDA	GISTDA NARIT	NIA NARIT

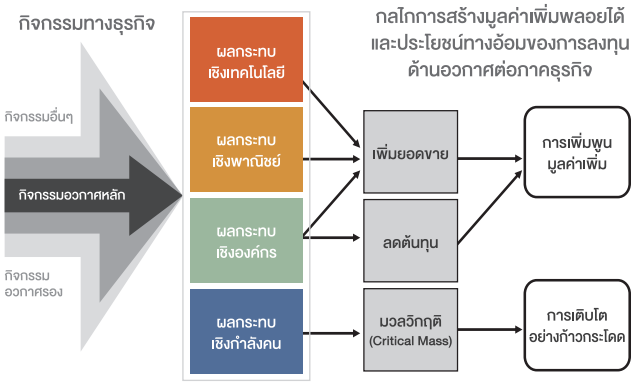
ระบบนิเวศอวกาศประกอบด้วยสามส่วน คือ ต้นน้ำ (upstream) กลางน้ำ (midstream) และปลายน้ำ (downstream) สดร. และอีก 11 สถาบันวิจัย และมหาวิทยาลัยภายใต้กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ร่วมกันก่อตั้ง Thai Space Consortium เพื่อพัฒนาระบบนิเวศทั้งสามส่วนขึ้นในประเทศไทย[21]

ผลกระทบเชิงเทคโนโลยี: การถ่ายทอดเทคโนโลยี ยกระดับคุณภาพผลิตภัณฑ์เดิม พัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่

ผลกระทบเชิงพาณิชย์: การสร้างเครือข่ายในหมู่ผู้ผลิตเทคโนโลยีอวกาศ ชื่อเสียงในฐานะผู้ผลิตเทคโนโลยีอวกาศขั้นสูง

ผลกระทบเชิงองค์กร: ยกระดับองค์ความรู้ภายในองค์กร (know-how) กระบวนการผลิต ควบคุมคุณภาพ ตรวจสอบวัดผล และการบริหารจัดการ

ผลกระทบเชิงกำลังคน: กิจกรรมอวกาศจะยกระดับทักษะและความรู้ขั้นสูงของวิศวกร ผู้เชี่ยวชาญ ช่างเทคนิค ที่เมื่อเกิด critical mass จะสามารถผลักดันการเติบโตอย่างก้าวกระโดด

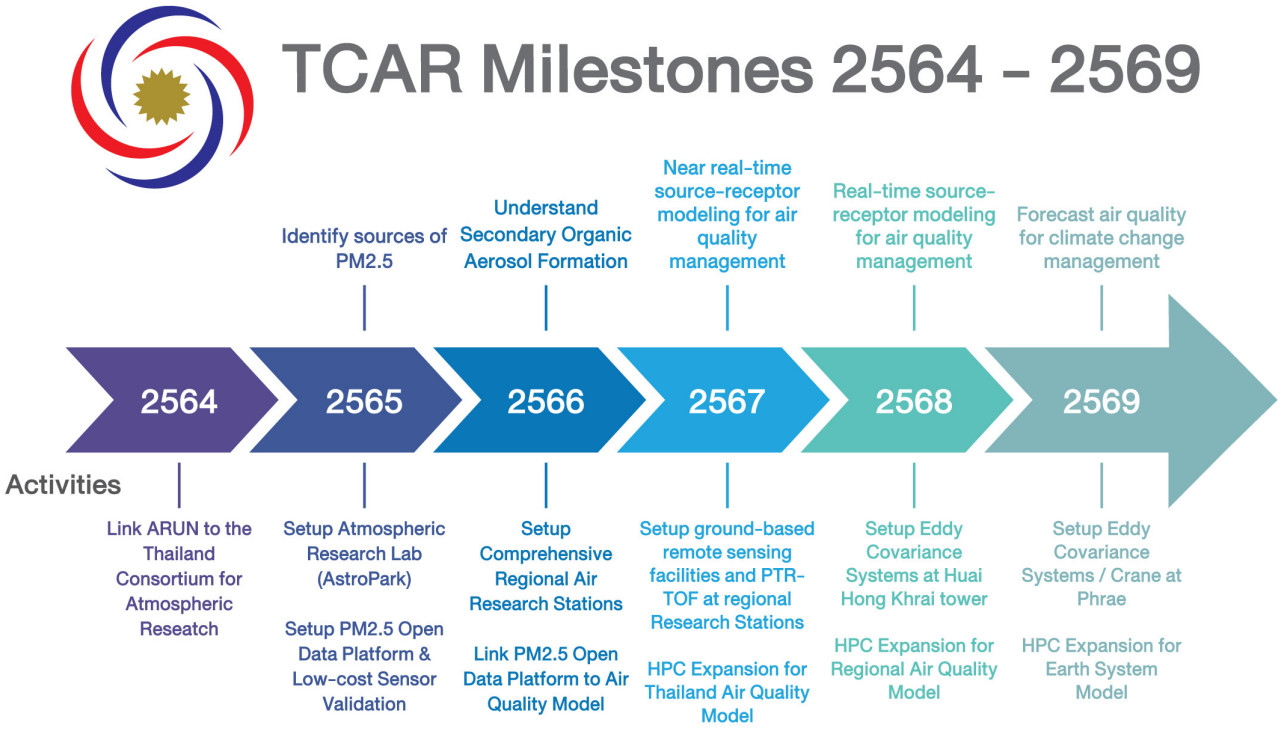


อุตสาหกรรมอวกาศก่อมูลค่าเพิ่มพลอยได้ (spill-over value) 3-5 เท่าของเม็ดเงินลงทุน ผลกระทบเชิงบวก 4 ด้าน คือ เชิงเทคโนโลยี เชิงพาณิชย์ เชิงองค์กร และเชิงกำลังคน[24,25]

งานวิจัยระบบนิเวศเทคโนโลยีอวกาศที่โตเต็มที่[24,25] ชี้ว่าอุตสาหกรรมอวกาศก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มพลอยได้ (spill-over value) ไปสู่อุตสาหกรรมอื่นๆ ที่กว้างขวางออกไป มีตัวคูณมูลค่าเพิ่มพลอยได้ประมาณ 3-5 เท่าของเม็ดเงินลงทุนด้านอวกาศ ตัวคูณนี้เป็นผลรวมของผลกระทบเชิงบวกสี่ด้าน คือ (1) ผลกระทบเชิงเทคโนโลยี (technological effects) เช่น การถ่ายทอดเทคโนโลยี หรือการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ (2) ผลกระทบเชิงพาณิชย์ (commercial effect) เช่น การสร้างเครือข่ายในหมู่ผู้ผลิตเทคโนโลยีอวกาศ หรือชื่อเสียงในฐานะผู้ผลิตเทคโนโลยีอวกาศ (3) ผลกระทบเชิงองค์กร (organizational effect) เช่น การพัฒนากระบวนการผลิต ตรวจสอบ หรือบริหารจัดการ และ (4) ผลกระทบเชิงกำลังคน (work factor effect) เช่น ทักษะความรู้ขั้นสูงของวิศวกรและช่างเทคนิคที่เมื่อเกิด critical mass จะสามารถผลักดันการเติบโตอย่างก้าวกระโดด (ภาพบน)

ภายใต้ฉากทัศน์อุตสาหกรรมอวกาศระลอกใหม่ของโลก ประเทศไทยมีความจำเป็นเร่งด่วนที่จะต้องพัฒนาระบบนิเวศอวกาศในประเทศ และยกระดับขีดความสามารถสำหรับอุตสาหกรรมอวกาศภายในประเทศ ทั้งเพื่อให้อุตสาหกรรมไทยมีศักยภาพระดับโลกที่จะตักตวงผลประโยชน์จากห่วงโซ่มูลค่าเพิ่มการผลิตระหว่างประเทศ และเพื่อให้เกิดผลพลอยได้ (spill over) จากการพัฒนาอุตสาหกรรมอวกาศสู่อุตสาหกรรมอื่นๆ อันเกิดจากกำลังคนที่มีศักยภาพสูงขึ้น และการเพิ่มขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมขั้นสูง ที่จะช่วยลดต้นทุนและเพิ่มมูลค่าให้กับอุตสาหกรรมที่กว้างขวางไปกว่าด้านอวกาศ เช่น วิศวกรรมอัตโนมัติและหุ่นยนต์ (automation and robotics) อิเล็กทรอนิกส์อัจฉริยะ (smart electronics) ยานยนต์แห่งอนาคต อวกาศยาน การขนส่ง ความมั่นคงของชาติ เกษตรอัจฉริยะ เทคโนโลยีดิจิทัล เป็นต้น

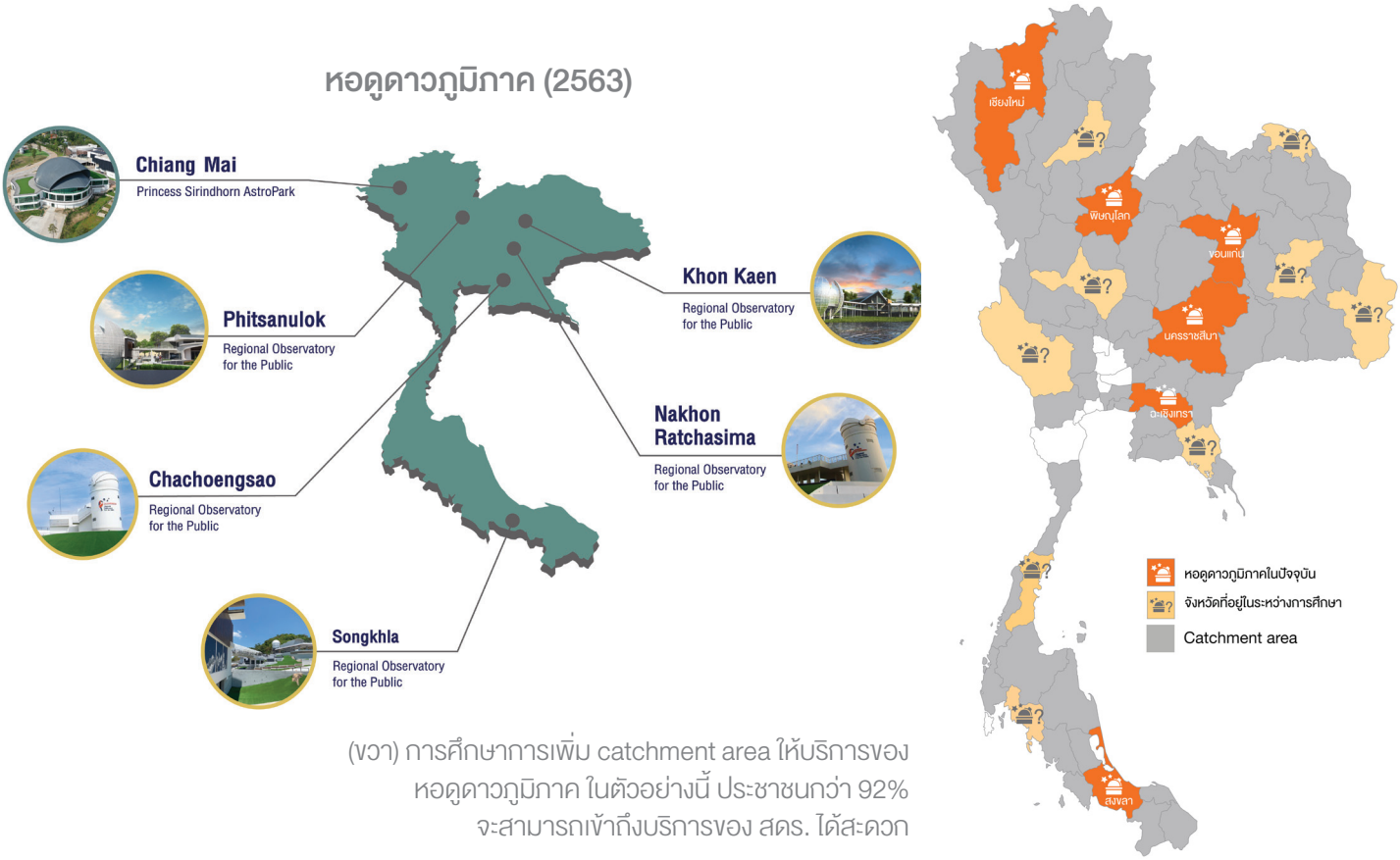
นักเศรษฐศาสตร์คาดการณ์ว่าอุตสาหกรรมอวกาศจะมีมูลค่ารวมทั่วโลก[26] สูงถึง 2.7 ล้านล้านเหรียญสหรัฐในปี พ.ศ. 2580 เมื่อเทียบกับอุตสาหกรรมเซมิคอนดักเตอร์ที่ขณะนี้มีมูลค่าประมาณ 0.5 ล้านล้านเหรียญสหรัฐ จะปรากฏฉากทัศน์ชัดเจนว่า การลงทุนด้านอวกาศภายในประเทศจะเป็นโอกาสใหม่ที่จะยกระดับขีดความสามารถของอุตสาหกรรม พัฒนาแรงงาน ผลักดันศักยภาพการแข่งขันให้ไทยเป็นส่วนหนึ่งของห่วงโซ่มูลค่าระหว่างประเทศ เป็นหนึ่งในยุทธศาสตร์การพัฒนาที่จะมีบทบาทสำคัญในการผลักดันไทยให้พ้นออกจากประเทศกับดักรายได้ปานกลางในอีก 10-20 ปี ข้างหน้า



ภาคีวิจัยบรรยากาศแห่งประเทศไทย

ภาวะการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ (climate change) เป็นภาวะคุกคามต่อการธำรงอยู่ (existential threat) ของไทย ภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และมนุษยชาติ สำหรับประเทศไทย ใน 80 ปี ข้างหน้า ระดับน้ำทะเลจะสูงขึ้น 50-100 เซนติเมตร เนื่องจากการขยายตัวของน้ำทะเลจากภาวะโลกร้อน (global warming อันเป็นปรากฏการณ์หนึ่งของ climate change) กอปรกับการทรุดตัวของเมือง จะทำให้พื้นที่ส่วนใหญ่ของกรุงเทพมหานครอยู่ใต้ระดับน้ำทะเล ทั้งนี้ ปัจจุบันยังไม่มีข้อสรุปว่าระดับน้ำทะเลจะสูงขึ้นเพียงใด เพราะยังต้องอาศัยการศึกษาวิจัยบรรยากาศร่วมกับวิทยาศาสตร์โลกสาขาต่างๆ ความเข้าใจอย่างถ่องแท้นี้จะมีบทบาทสำคัญยิ่งในการเตรียมการตั้งรับปรับตัวของไทยให้เข้ากับวิถีใหม่ของธรรมชาติเพื่อความอยู่รอด

ในระยะ 10 ปี ข้างหน้า แม้ภาวะคุกคามต่อการธำรงอยู่ของไทยจะยังไม่ปรากฏชัด แต่ภาวะคุกคามต่อสวัสดิภาพสาธารณะอันเป็นที่ประจักษ์ คือ หมอกควัน PM2.5 ที่เกิดขึ้นเป็นประจำทุกปี สาเหตุของหมอกควัน PM2.5 ยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัดว่า หมอกควันในบริเวณหนึ่งๆ เกิดจากแหล่งใดเป็นสัดส่วนมากน้อยเพียงใด มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลามากน้อยเพียงใด แหล่งกำเนิดต่างๆ มีสารก่อมะเร็งและสารที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพมากน้อยเพียงใด ความเข้าใจผลของปัจจัยต่างๆ ต้องอาศัยการสร้างแบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์สมรรถนะสูง (ระบบเดียวกับที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยดาราศาสตร์) และนำมาเปรียบเทียบกับการตรวจวัดอย่างฉับพลัน (real time) ในระยะสั้น แบบจำลองที่ทำนาย PM2.5 ได้เที่ยงตรงจะสามารถเตือนภัยแก่ผู้มีปัจจัยเสี่ยงทางสุขภาพ เช่น ผู้สูงอายุ เด็ก ผู้ป่วยโรคทางเดินหายใจ ได้อย่างทันท่วงที และสามารถบอกสัดส่วนของแหล่งที่มาของหมอกควันในแต่ละภูมิภาคได้อย่างกี่ถ้วน อันจะเป็นข้อมูลตั้งต้นสำคัญสำหรับกำหนดนโยบายสาธารณะเพื่อแก้ไขปัญหาหมอกควันระยะยาวภายใต้การสนับสนุนของภาครัฐ ภาคีวิจัยบรรยากาศแห่งประเทศไทยมุ่งสร้างแบบจำลองฉับพลันที่เที่ยงตรงภายในปี พ.ศ. 2568 และจะสามารถทำนายปริมาณ PM2.5 ได้ภายในปี พ.ศ. 2569



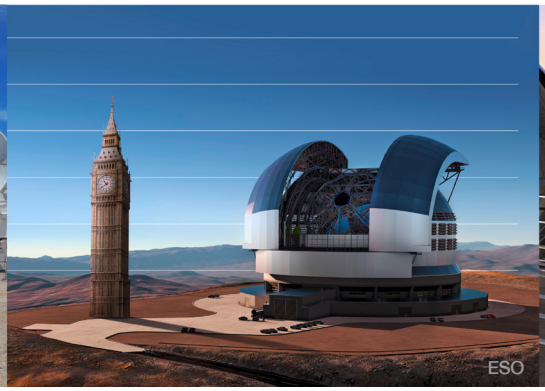
(ขวา) การศึกษาการเพิ่ม catchment area ให้บริการของหอดูดาวภูมิภาค ในตัวอย่างนี้ ประชาชนกว่า 92% จะสามารถเข้าถึงบริการของ สดร. ได้สะดวก

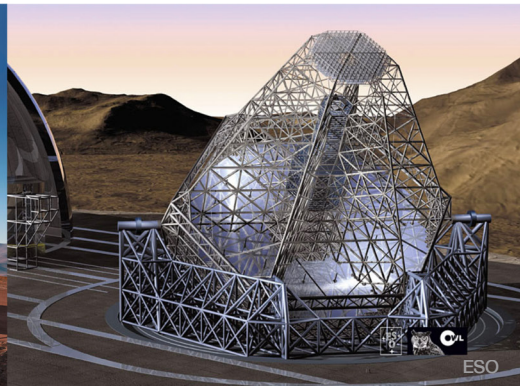
การขยายช่องทางเชื่อมจักรวาลสู่สังคมไทยผ่านหอดูดาวภูมิภาค

ดังที่เป็นที่ประจักษ์ว่าหอดูดาวภูมิภาคของ สดร. ได้รับการตอบสนองจากสังคมอย่างดียิ่ง และเป็นช่องทางสำคัญในการใช้ดาราศาสตร์เป็นเครื่องมือเพื่อสร้างแรงบันดาลใจ ความตระหนักและความฉลาดรู้ด้านวิทยาศาสตร์ (scientific literacy) ของสังคม สดร. อยู่ระหว่างการพัฒนาแผนการสร้างหอดูดาวภูมิภาคระยะต่อไป เพื่อขยายช่องทางเชื่อมจักรวาลสู่สังคมไทย แผนขยายโครงข่ายหอดูดาวภูมิภาคมีความมุ่งหมายหลักเพื่อบริการประชาชนอย่างทั่วถึง โดยการเลือกสถานที่ตั้งหอดูดาวให้อยู่ใกล้ศูนย์กลางการกระจายประชากรของภูมิภาคต่างๆ ซึ่งจะทำให้มีพื้นที่ที่ประชาชนสามารถเข้ามาใช้บริการได้อย่างสะดวก (catchment area) มากที่สุด

ภาพด้านบนขวา เป็นตัวอย่างหนึ่งจากการศึกษาแนวทางการเพิ่ม catchment area โดยสร้างหอดูดาวภูมิภาคเพิ่มอีก 9 แห่งในระยะ 10-15 ปี ข้างหน้า หากดำเนินการตามแผนการศึกษานี้ catchment area จะครอบคลุมประชากรอย่างน้อย 92% ของประเทศที่จะสามารถเข้าถึงการบริการของ สดร. ได้สะดวก (จาก 55% ในปัจจุบัน) จากสถิติการใช้บริการในปีงบประมาณ 2563 สดร. คาดว่าเมื่อแล้วเสร็จทั้งสามระยะจะสามารถให้บริการประชาชนได้อย่างน้อย 1.1 ล้านคนต่อปี การประมาณการณ์นี้เป็นตัวเลขขั้นต่ำ เพราะจำนวนประชากรที่เข้าถึงโครงสร้างพื้นฐานจะขยายเพิ่มทวีคูณเมื่อสร้างหอดูดาวในหลายภูมิภาคมากขึ้น

นอกจากการให้บริการประชาชน หอดูดาวภูมิภาคจะเป็นที่ตั้งของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ เพื่องานวิจัยของภาคีวิจัยบรรยากาศแห่งประเทศไทย ข้อมูลจากการตรวจวัดในโครงข่ายสถานีที่กระจายอยู่ทั่วประเทศจะช่วยให้ภาคีฯ สามารถสร้างแบบจำลองความเที่ยงตรงสูงได้สำหรับทุกภูมิภาค เพื่อช่วยกำหนดนโยบายสาธารณะที่แก้ไขปัญหาคุณภาพอากาศได้สอดคล้องกับวิถีชีวิตในภูมิภาคและเอื้อประโยชน์ต่อสวัสดิภาพสาธารณะอย่างสูงสุด





Now
Proven technologies.
Ongoing projects.
Ongoing discoveries.

2030's
Proven technologies.
Ongoing projects.
Emerging science.

2040's
Emerging technologies.
Emerging projects.
Our children's science.

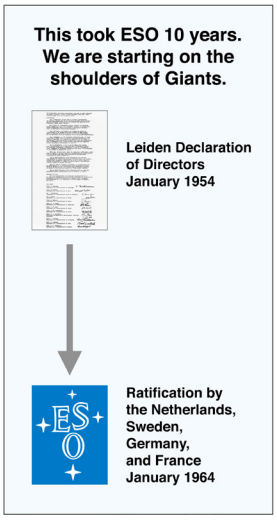
โครงการจัดตั้งองค์กรระหว่างประเทศเพื่อการวิจัยดาราศาสตร์แห่งเอเชีย

ในปี พ.ศ. 2562 นักดาราศาสตร์จากจีน เกาหลี และอินเดีย นำโดย หอดูดาวแห่งชาติจีน (National Astronomical Observatory of China) สถาบันดาราศาสตร์และวิทยาศาสตร์อวกาศเกาหลี (Korea Astronomy and Space Science Institute) และสถาบันดาราศาสตร์ฟิสิกส์แห่งอินเดีย (Indian Institute of Astrophysics) ตามลำดับ ได้เห็นพ้องต้องกันที่จะให้ไทยเริ่มเป็นเจ้าภาพในการเจรจาจัดตั้งองค์กรระหว่างประเทศเพื่อการวิจัยดาราศาสตร์แห่งเอเชีย (Asian Treaty Organization for Astronomy หรือ ATOA) โดยได้แบบอย่างมาจาก European Southern Observatory (ESO) ของยุโรปที่ตั้งขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1964 และขณะนี้เป็นตัวจักรสำคัญในการสร้างกล้องโทรทรรศน์ขนาดใหญ่ที่สุดในโลกที่จะแล้วเสร็จในปี ค.ศ. 2026 ขนาด 39 เมตร และทำให้กลุ่มประเทศสหภาพยุโรปพัฒนาการวิจัยดาราศาสตร์ล้ำหน้าสหรัฐอเมริกาและประเทศอื่นใดในโลกในเวลา 6 ทศวรรษของการดำเนินงาน ประชาคมนักดาราศาสตร์เอเชียมีความปรารถนาที่จะจัดตั้งองค์กรความร่วมมือลักษณะเดียวกันนี้มาตั้งแต่ทศวรรษ 1990 อย่างไรก็ตาม การผลักดันการเจรจาระดับภาครัฐได้ประสบปัญหาด้านภูมิรัฐศาสตร์เสมอมา นักดาราศาสตร์จากสามชาติเล็งเห็นว่า ไทยอยู่ในสถานะพิเศษที่จะสามารถเริ่มการเจรจาพหุภาคีระหว่างประเทศเหล่านี้ได้เพราะความได้เปรียบทางภูมิรัฐศาสตร์และพื้นหลังทางสังคมวัฒนธรรม นำมาซึ่งความเห็นพ้องดังกล่าว

เป็นที่น่าสังเกตว่าในยุค ค.ศ. 2050-2060 จีนและอินเดียจะเป็นสองประเทศที่มีขนาดเศรษฐกิจใหญ่ที่สุดในโลก สหรัฐอเมริกาจะตามมาเป็นอันดับสาม และอินโดนีเซียจะอยู่อันดับสี่ ทำให้ไทยอยู่ ณ ศูนย์กลางของกิจกรรมทางเศรษฐกิจของโลกในห้วงเวลาดังกล่าว[27] การที่ไทยเสนอตัวเป็นผู้นำในการสร้างความร่วมมือพหุภาคีระหว่างประเทศเหล่านี้ จึงจะเข้ามามีบทบาทมากยิ่งขึ้นในฐานะยุทธศาสตร์การทูตเชิงรุกที่ตั้งอยู่บนฐานความได้เปรียบทางภูมิรัฐศาสตร์ของไทย การใช้ดาราศาสตร์เป็นจุดเริ่มต้นนั้นมีความได้เปรียบเป็นพิเศษ เพราะองค์ความรู้ทางดาราศาสตร์มักไม่มีผลกระทบโดยตรงต่อกิจการทหาร ความมั่นคง หรือความลับทางการค้า อีกทั้งมีภาพลักษณ์ของการศึกษาท้องฟ้าและจักรวาลที่มนุษย์ทุกชาติพันธุ์เป็นเจ้าของร่วมกัน

***หมายเหตุ:** กล้องโทรทรรศน์ที่ประชาคมนักดาราศาสตร์สหรัฐกำลังพัฒนาขึ้น มีขนาด 30 และ 24 เมตร ทำให้มีกำลังรับแสงเพียงครึ่งหนึ่ง ของกล้อง 39 เมตร

Milestones toward establishing the ATOA



1 **Consensus within each region and core institutions**
Goal: Achieve a consensus on ATOA. Converge on the mandates, identify national industrial partners. Thailand sends out invitations for ministerial dialogues.

2 **Ministerial discussions; joint political declaration**
Goal: Agreement to appoint a board of governmental representatives comprising of ministerial and scientific representatives to negotiate the establishment of ATOA.

3 **Negotiation of statutes to establish ATOA**
Goal: Organizational structure, membership, governance, business model, cost-sharing scheme; draft statutes.

4 **Treaty to establish ATOA**
Goal: Sign

5 **Ratification in each member state**
Goal: ATOA with international legal personality

การจัดตั้งองค์กรวิจัยดาราศาสตร์แห่งเอเชียจะช่วยยกระดับ core competency ของ สดร. และไทยสู่ระดับโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การที่ไทยจะสามารถเป็นฐานการวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีดาราศาสตร์ เปิดโอกาสให้นักดาราศาสตร์ วิศวกร นักศึกษาจากทั่วทั้งเอเชีย เข้ามาทำวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีในไทย ภายใต้ความคุ้มครองและเอกสิทธิตาม พรบ. เอกสิทธิ์และความคุ้มกันสำหรับองค์การระหว่างประเทศ และการประชุมระหว่างประเทศในประเทศไทย พ.ศ. 2561 ประเทศสมาชิกจะได้ประโยชน์จากการยกเว้นภาษี ทำให้สามารถดำเนินโครงการวิจัยได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น และสามารถจ้างกำลังคนที่มีความเชี่ยวชาญระดับโลกด้วยค่าตอบแทนที่สูงใช้งบประมาณในการวิจัยได้อย่างคุ้มค่ายิ่งขึ้น นอกจากนี้ การรวมกลุ่มของประเทศแถบเอเชีย จะช่วยให้ประเทศสมาชิกสามารถร่วมกันเจรจากับประเทศมหาอำนาจทางดาราศาสตร์ได้อย่างเป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน และมีอำนาจต่อรองที่เพิ่มมากยิ่งขึ้น

กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ได้ส่งหนังสือเชิญหารืออย่างเป็นทางการไปยังรัฐมนตรีว่าการกระทรวง Ministry of Science and Technology ของจีน Department of Science & Technology ประเทศอินเดีย และ Ministry of Science and ICT ของเกาหลีใต้ ผ่านสถานเอกอัครราชทูตไทยประจำแต่ละประเทศในช่วงต้นปี ค.ศ. 2020 เพื่อสานต่อฉันทามติของเหล่านักดาราศาสตร์ และยกระดับไปสู่ปฏิญญาทางการเมืองร่วมกัน

การใช้ข้อได้เปรียบทางภูมิรัฐศาสตร์ของไทยเป็นฐานในการพัฒนาความร่วมมือทางดาราศาสตร์ในเอเชียต้องอาศัยการสนับสนุนจากทั้งกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม และกระทรวงการต่างประเทศอย่างต่อเนื่อง หากดำเนินการได้สำเร็จในประชาคมดาราศาสตร์ จะเกิดเป็นความร่วมมือพหุภาคีที่ไทยมีบทบาทนำในฐานะผู้เชื่อมประสานระหว่างขั้วอำนาจ ซึ่งจะเป็นยุทธศาสตร์สำคัญที่สามารถนำไปปรับใช้กับสาขาและกิจการอื่นๆ เพื่อสร้างและรักษาความสามารถในการแข่งขันของไทยในห้วงเวลานี้จวบจนถึง ค.ศ. 2060

Astronomy as a challenge that drives human capacity and technology developments

อ้างอิง

[1] ข้อมูลเพิ่มเติมสืบค้นได้จาก https://www.astronet-eu.org

[2] ข้อมูลเพิ่มเติมสืบค้นได้จาก https://www.nationalacademies.org/our-work/decadal-survey-on-astronomy-and-astrophysics-2020-astro2020

[3] Nuntiyakul et al. 2014, The Astrophysical Journal, Volume 795, Issue 1, article id. 11 (doi.org/10.1088/0004-637X/795/1/11)

[4] Yun, Ho, and Lo 1994, Nature, Volume 372, Issue 6506, pp. 530-532 (doi.org/10.1038/372530a0)

[5] Karimi et al. “Classification accuracy of discriminant analysis, artificial neural networks, and decision trees for weed and nitrogen stress detection in corn”, Transactions of the ASAE, (2005) Vol. 48(3): 1261—1268

[6] Casa et al. “A comparison of sensor resolution and calibration strategies for soil texture estimation from hyperspectral remote sensing”, Geoderma 197–198 (2013) 17–26

[7] Miphokasap & Wannasiri “Estimations of Nitrogen Concentration in Sugarcane Using Hyperspectral Imagery”, Sustainability 2018, 10, 1266

[8] Moharana & Dutta “Spatial variability of chlorophyll and nitrogen content of rice from hyperspectral imagery”, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 122 (2016) 17–29

[9] Apan et al. “Detecting sugarcane ‘orange rust’ disease using EO-1 Hyperion hyperspectral imagery” International Journal of Remote Sensing, 25:2, 489-498 (2004)

[10] Yue et al. “Estimation of Winter Wheat Above-Ground Biomass Using Unmanned Aerial Vehicle-Based Snapshot Hyperspectral Sensor and Crop Height Improved Models”, Remote Sens. 2017, 9, 708 (2017)

[11] Amato et al. “Statistical Classification for Assessing PRISMA Hyperspectral Potential for Agricultural Land Use”, IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, Volume: 6, Issue: 2 (2013)

[12] Gatkine, Veilleux, and Dagenais 2019, Applied Sciences, 9, 290 (doi.org/10.3390/app9020290)

[13] Shrestha et al. 2018, Light: Science & Applications, 7:85 (doi.org/10.1038/s41377-018-0078-x)

[14] Norris and Bland-Hawthorn 2019, Optics and Photonics News, Vol. 30, Issue 5, pp. 26-33 (doi.org/10.1364/OPN.30.5.000026)

[15] Cai et al. 2014, Nature Nanotechnology, Volume 9, Issue 10, pp. 814-819 (doi.org/10.1038/nnano.2014.182)

[16] Lara-Avila et al. 2019, Nature Astronomy, Volume 3, p. 983-988 (doi.org/10.1038/s41550-019-0843-7)

[17] Obraztsov et al. 2019, ACS Photonics, 6, 7, 1780–1788 (doi.org/10.1021/acsphotonics.9b00536)

[18] Mittendorff et al. 2013, Applied Physics Letters, 103, 021113 (doi.org/10.1063/1.4813621)

[19] Doshi and Thostenson 2015, Multifunctionality of Polymer Composites, ISBN: 978-0-323-26434-1

[20] Chen and Rabin 2015, Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems 1(1), 014005 (doi.org/10.1117/1.JATIS.1.1.014005)

[21] Global market size เป็นข้อมูลปี 2560 จากการวิเคราะห์ของ Morgan Stanley และ OECD

[22] OECD; “The Space Economy in Figures: How Space Contributes to the Global Economy”, OECD Publishing, Paris, 2019, https://doi.org/10.1787/c5996201-en

[23] OECD; “Measuring the Economic Impact of the Space Sector: Key Indicators and Options to Improve Data”, 2020, Background paper for the G20 Space Economy Leaders’ Meeting (Space20)

[24] Eerme, Tonis; “Indirect industrial effects from space investments”, Space Policy 38 (2016) 12-21

[25] Cohendet, Patrick; “Evaluating the indirect effects of technology programmes: the case of the European Space Agency (ESA) Programmes”, Proceedings of the OECD Conference on Policy Evaluation in Innovation and Technology, 1997, pp. 189-223.

[26] Bank of America Merrill Lynch คาดการณ์มูลค่าไว้ที่ 2.7 ล้านล้านเหรียญสหรัฐในทศวรรษ 2040 ในขณะที่ Morgan Stanley คาดการณ์มูลค่าไว้ที่ 1.1 ล้านล้านเหรียญสหรัฐในปี 2040 อ้างอิงจาก Bryce (2018), State of the satellite industry report 2018, commissioned by the Satellite Industry Association; Morgan Stanley (2018), “Investing in Space”; Bank of America (2018), “The space industry will be worth nearly $3 trillion in 30 years”

[27] PricewaterhouseCoopers LLP, 2017, “The World in 2050: How will the global economic order change?”

สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)
National Astronomical Research Institute of Thailand (Public Organization)

260 หมู่ 4 ต.ดอนแก้ว อ.แม่ริม จ.เชียงใหม่ 50180
260 Moo 4, Don Kaeo, Mae Rim, Chiang Mai, 50180 Thailand
โทรศัพท์ : 0-5312-1268-9 โทรสาร : 0-5312-1250

www.narit.or.th

ฉบับล่าสุดของหนังสือนี้