

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การศึกษาและพัฒนาแบบจำลองสภาพภูมิอากาศระดับ ภูมิภาค RegCM3 สำหรับประเทศไทย

คณะผู้วิจัย

- | | |
|--|---|
| 1. รศ. ดร. สิรินทรเทพ เต๋อประยูร
(หัวหน้าโครงการ) | บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม |
| 2. รศ. ดร. เกษมสันต์ มโนมัยพิบูลย์ | บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม |
| 3. นส. เมกา ออกลทาเวียอาณี | บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม |
| 4. นายกฤตชัย ต่อศรี | บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม |

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)



Final Report

Study of Potential Regional Climate Change for Thailand Using RegCM3 Model

Investigators

- | | |
|---|-------|
| 1. Assoc. Prof. Dr.Sirintornthep Towprayoon
(Principal Investigator) | JGSEE |
| 2. Assoc. Prof. Dr. Kasemsan Manomaiphiboon | JGSEE |
| 3. Ms. Mega Octaviani | JGSEE |
| 4. Mr. Kritanai Torsri | JGSEE |

Supported by Thailand Research Fund (TRF)

(The views expressed herein do not necessarily reflect those of the TRF)



บทสรุปผู้บริหาร

บทนำ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้กลายเป็นประเด็นปัญหาที่สำคัญ และเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนที่ต้องอาศัยข้อมูลที่หลากหลายเพื่อนำไปใช้ในการประเมินหรือทำนายสถานการณ์เพื่อแก้ไขหรือลดความเสี่ยงของผลกระทบที่มีแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ดังนั้นการพัฒนาฐานข้อมูลพื้นฐานทางสภาพภูมิอากาศให้กับประเทศจึงมีความสำคัญ เพื่อเป็นประโยชน์ในการวางแผนนโยบายและช่วยประกอบการตัดสินใจ โครงการวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของชุดโครงการวิจัยที่ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย เพื่อการสร้างฐานข้อมูลดังกล่าวโดยอาศัยการจำลองทางคณิตศาสตร์ การศึกษาได้พิจารณาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของอุณหภูมิจากพื้นผิวและฝนของประเทศไทยในช่วงเวลาอดีตและอนาคต และนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกัน โดยใช้แบบจำลอง RegCM3 ซึ่งเป็นแบบจำลองสภาพภูมิอากาศในระดับภูมิภาคที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในวงการวิทยาศาสตร์

วัตถุประสงค์

ประกอบด้วย

1. เพื่อประยุกต์ใช้และศึกษาความเหมาะสมของแบบจำลองสภาพภูมิอากาศ RegCM3 สำหรับประเทศไทย
2. เพื่อเสริมสร้างทักษะและความชำนาญในศาสตร์การจำลองประเภทนี้สำหรับประเทศไทย และ
3. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางด้านสภาพภูมิอากาศภายใต้สถานการณ์จำลองในอนาคตของ IPCC โดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจากพื้นผิวและฝนสำหรับประเทศไทย

ขอบเขตของการวิจัย

การจำลองได้ครอบคลุมพื้นที่ทั่วประเทศด้วยความละเอียดกริดเซลล์ 20 กม. และพิจารณาสภาพภูมิอากาศในช่วงเวลาอดีต 40 ปี (พ.ศ. 2504-2543 หรือ ค.ศ. 1961-2000) และช่วงเวลาอนาคต 40 ปี (พ.ศ. 2574-2613 หรือ ค.ศ. 2031-2070) ภายใต้ภาพฉายอนาคตสมมติ A1B ของ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) โดยพิจารณาอุณหภูมิและฝน มีการประเมินสมรรถนะการทำนายของแบบจำลองโดยเปรียบเทียบกับค่าตรวจวัดที่ได้จากสถานีของกรมอุตุนิยมวิทยา รวมทั้งวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยและดัชนีสภาวะสุดขีดของสองตัวแปรที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

ผลสรุปสำคัญที่ได้จากการวิจัย

ประกอบด้วย

1. แบบจำลองประสบปัญหาในการทำนายอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่าความเป็นจริงค่อนข้างมาก (Systematic Underestimation) ในทุกภาค ยกเว้นภาคใต้ ในหลายพื้นที่ ต่ำกว่าที่เป็นจริงถึง 4°C อย่างไรก็ตามแบบจำลองสามารถแสดงความผันแปรเชิงฤดูและการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของอุณหภูมิและฝนได้อย่างสอดคล้องและยอมรับได้เมื่อเทียบกับสภาพจริงในทุกภาค สำหรับฝนเฉลี่ย ได้ทำนายเกินจริงในภาคใต้และภาคกลาง-ตะวันออก และต่ำกว่าจริงในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
2. ในช่วงเวลาอดีต แนวโน้มของอุณหภูมิเฉลี่ยและดัชนีสภาวะสุดขีดของอุณหภูมิที่ได้จากการจำลองมีความสอดคล้องกับค่าตรวจวัด แต่ขนาดมีความแตกต่างกันไปตามแต่ละตัวแปร ในกรณีของวันอากาศร้อนได้เพิ่มขึ้นทุกภาค วันอากาศเย็นได้ลดลงทุกภาค คีนาอากาศอุ่นเพิ่มขึ้นทุกภาค และคีนอากาศหนาวลดลงทุกภาค

3. ในช่วงเวลาอดีต แนวโน้มของฝนเฉลี่ยจากค่าตรวจวัด มีแนวโน้มลดลงทุกภาค ยกเว้นภาคกลาง-ตะวันออก โดยที่ผลจำลองมีทิศทางสอดคล้องในภาคกลาง-ตะวันออกและภาคใต้ แต่ขนาดการเปลี่ยนแปลงมีความแตกต่างกันชัดเจน สำหรับดัชนีสภาวะสุดขีดของฝน วันมีฝนมากมีแนวโน้มลดลงในทุกภาค ขณะที่ผลจำลองแสดงแนวโน้มเพิ่มขึ้น ยกเว้นภาคใต้ที่ลดลง วันแห้งต่อเนื่องมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกภาค ยกเว้นภาคใต้ที่ลดลง โดยผลจำลองมีทิศทางสอดคล้องในระดับหนึ่ง สำหรับวันเปียกต่อเนื่อง มีแนวโน้มทิศทางคละกันไปในแต่ละภาค โดยผลจำลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกภาค ยกเว้นภาคใต้ที่ลดลง สำหรับฝนรวมของวันเปียกมาก แนวโน้มมีทิศทางเหมือนกับฝนเฉลี่ย
4. สำหรับอุณหภูมิเฉลี่ยในอนาคต เมื่อเปรียบเทียบกับช่วงเวลาในอดีต พบว่า รูปแบบการกระจายเชิงพื้นที่ของอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละภาคและในช่วงเวลาต่างๆ ของปีมีความคล้ายคลึงกันสำหรับสองช่วงเวลาในอดีตและอนาคต ในช่วงเวลาอนาคต ประเทศไทยจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นทั่วประเทศหรือทุกภาคประมาณ $<1-3^{\circ}\text{C}$ แนวโน้มอุณหภูมิมีทิศทางเพิ่มขึ้นตลอดทุกทศวรรษในอนาคตและพบได้ในทุกภาค
5. สำหรับฝนเฉลี่ยในอนาคต เมื่อเปรียบเทียบกับช่วงเวลาในอดีต พบว่า รูปแบบการกระจายเชิงพื้นที่ของฝนในแต่ละภาคและช่วงเวลาต่างๆ ของปีก็มีความคล้ายคลึงกันสำหรับสองช่วงเวลาในอดีตและอนาคต ในช่วงเวลาอนาคต พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไม่ได้รับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนเท่าไร ยกเว้นภาคใต้ ซึ่งจะมีฝนน้อยลงไป 3-5 มม./วัน
6. สำหรับดัชนีสภาวะสุดขีดของอุณหภูมิในอนาคต วันอากาศร้อน (TX90p) จะเพิ่มขึ้นตามทศวรรษทั่วประเทศในทุกภาค สำหรับวันอากาศเย็น (TX10p) ทิศทางจะเป็นไปตรงข้ามกับวันอากาศร้อน สำหรับคืนอากาศอุ่น (TN90p) ทิศทางจะสอดคล้องโดยตรงกับวันอากาศร้อน สำหรับคืนอากาศหนาว (TN10p) ทิศทางมีความใกล้เคียงกับวันอากาศเย็นในแง่ที่ว่าจำนวนวันดังกล่าวมีแนวโน้มลดลงตามทศวรรษในทุกภาค และ
7. สำหรับดัชนีสภาวะสุดขีดของฝนในอนาคต เมื่อพิจารณาภาพเฉลี่ย 40 ปีในอดีตและอนาคต วันมีฝนมาก (R10mm) ไม่พบว่ามีเปลี่ยนแปลงในภาคต่างๆ ของประเทศ ยกเว้นภาคใต้และภาคตะวันออก สำหรับวันแห้งต่อเนื่อง (CDD) ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีพื้นที่ซึ่งมีวันดังกล่าวเพิ่มขึ้นหลายพื้นที่ โดยเฉพาะตอนกลางของภาค ขณะที่ภาคเหนือฝั่งตะวันตก วันดังกล่าวได้ลดลงเล็กน้อย สำหรับวันเปียกต่อเนื่อง (CWD) ไม่ได้แตกต่างกันมากในทุกภาค ยกเว้นภาคใต้ ซึ่งวันดังกล่าวจะลดลง สำหรับฝนรวมของวันเปียกมาก (R95p) ไม่พบความแตกต่างกันมากในทุกภาค ยกเว้นภาคใต้และภาคตะวันออก ซึ่งปริมาณฝนดังกล่าวได้ลดลง

การเผยแพร่ข้อมูล

ข้อมูลดิจิทัลขนาดใหญ่ (ประมาณ 50 กิกะไบต์ หรือ GB) ที่ถูกประมวลจากการจำลองในช่วงเวลาอดีตและอนาคตได้ถูกเผยแพร่ต่อสาธารณะเพื่อเป็นประโยชน์ในการอ้างอิง นำไปใช้ หรือต่อยอดงานวิจัยในอนาคต โดยเผยแพร่ผ่านเว็บไซต์ของบัณฑิตวิทยาลัยร่วมฯ และเว็บไซต์ฐานข้อมูลที่ศูนย์เครือข่ายงานวิเคราะห์วิจัยและฝึกอบรมการเปลี่ยนแปลงของโลก และในอนาคต อาจจะเผยแพร่ที่เว็บไซต์ศูนย์ประสานงานและพัฒนางานวิจัยด้านโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ: RDG5030034

ชื่อโครงการ: การศึกษาและพัฒนาแบบจำลองสภาพภูมิอากาศระดับภูมิภาค RegCM3 สำหรับประเทศไทย

ชื่อนักวิจัย:

1. สิรินทรเทพ เต่าประยูร (หัวหน้าโครงการ)
2. เกษมสันต์ มโนมัยพิบูลย์
3. เมกา ออกทาวีเยอาณี และ
4. นายภฤตชัย ต่อกศรี

บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

อีเมล: sirin@jgsee.kmutt.ac.th

ระยะเวลาโครงการ: กรกฎาคม 2550 – ธันวาคม 2554

โครงการวิจัยนี้ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของอุณหภูมิจากอากาศใกล้พื้นผิวและฝนของประเทศไทย อาศัยการจำลองทางคณิตศาสตร์โดยประยุกต์ใช้แบบจำลอง RegCM3 ซึ่งเป็นแบบจำลองสภาพภูมิอากาศในระดับภูมิภาคที่นิยมใช้กันแพร่หลายในวงการวิทยาศาสตร์ การจำลองได้ครอบคลุมพื้นที่ทั่วประเทศด้วยความละเอียดกริดเซลล์ 20 กม. และพิจารณาสภาพภูมิอากาศในช่วงเวลาอดีต 40 ปี (พ.ศ. 2504-2543 หรือ ค.ศ. 1961-2000) และช่วงเวลานาอนาคต 40 ปี (พ.ศ. 2574-2613 หรือ ค.ศ. 2031-2070) ภายใต้ภาพฉายอนาคตสมมติ A1B ของ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) ค่าตรวจวัดและผลจำลองในช่วงเวลาอดีตได้ถูกวิเคราะห์และนำมาเปรียบเทียบเพื่อประเมินสมรรถนะการทำนายของแบบจำลอง พบว่า แบบจำลองประสบปัญหาในการทำนายอุณหภูมิเฉลี่ยทุกภาคของประเทศ ซึ่งต่ำกว่าความเป็นจริงของค่อนข้างมากในทุกภาค ยกเว้นภาคใต้ โดยในหลายพื้นที่ให้ค่าต่ำกว่าการตรวจวัดถึง 4°C อย่างไรก็ตาม แบบจำลองสามารถแสดงความผันแปรเชิงฤดูและการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของอุณหภูมิและฝนได้อย่างสอดคล้องยอมรับได้เมื่อเทียบกับสภาพจริงในทุกภาค สำหรับฝนเฉลี่ย ได้ทำนายเกินจริงในภาคใต้และภาคกลาง-ตะวันออก และต่ำกว่าจริงในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

สำหรับ**อุณหภูมิเฉลี่ย**ในอนาคต เมื่อเปรียบเทียบกับช่วงเวลาในอดีต พบว่า รูปแบบการกระจายเชิงพื้นที่ของอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละภาคและในช่วงเวลาต่างๆ ของปีมีความคล้ายคลึงกันสำหรับสองช่วงเวลาในอดีตและอนาคต ในช่วงเวลาอนาคต ประเทศไทยจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นทั่วประเทศหรือทุกภาคประมาณ $<1-3^{\circ}\text{C}$ แนวโน้มอุณหภูมิมีทิศทางเพิ่มขึ้นตลอดทุกทศวรรษในอนาคตและพบได้ในทุกภาค สำหรับ**ฝนเฉลี่ย**ในอนาคต เมื่อเปรียบเทียบกับช่วงเวลาในอดีต พบว่า รูปแบบการกระจายเชิงพื้นที่ของฝนในแต่ละภาคและช่วงเวลาต่างๆ ของปีก็มีความคล้ายคลึงกันสำหรับสองช่วงเวลาในอดีตและอนาคต ในช่วงเวลาอนาคต พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไม่ได้รับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนเท่าไร ยกเว้นภาคใต้ ซึ่งจะมีฝนน้อยลงไป 3-5 มม./วัน สำหรับดัชนีสภาวะสุดขีดของอุณหภูมิในอนาคต **วันอากาศร้อน (TX90p)** จะเพิ่มขึ้นตามทศวรรษทั่วประเทศ สำหรับ**วันอากาศเย็น**

(TX10p) ทิศทางจะเป็นไปตรงข้ามกับวันอากาศร้อน สำหรับ**คืนอากาศอุ่น (TN90p)** ทิศทางจะสอดคล้องโดยตรงกับวันอากาศร้อน สำหรับ**คืนอากาศหนาว (TN10p)** ทิศทางมีความใกล้เคียงกับวันอากาศเย็นในแง่ที่ว่าจำนวนวันดังกล่าวมีแนวโน้มลดลงตามทศวรรษในทุกภาค สำหรับดัชนีสภาวะสุดขีดของฝนในอนาคต เมื่อพิจารณาภาพเฉลี่ย 40 ปีในอดีตและอนาคต **วันมีฝนมาก (R10mm)** ไม่พบว่ามีเปลี่ยนแปลงในภาคต่างๆ ของประเทศ ยกเว้นภาคใต้และภาคตะวันออก สำหรับ**วันแห้งต่อเนื่อง (CDD)** ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีพื้นที่ซึ่งมีวันดังกล่าวเพิ่มขึ้นหลายพื้นที่ โดยเฉพาะตอนกลางของภาค ขณะที่ภาคเหนือฝั่งตะวันตก วันดังกล่าวได้ลดลงเล็กน้อย สำหรับ**วันเปียกต่อเนื่อง (CWD)** ไม่ได้แตกต่างกันมากในทุกภาค ยกเว้นภาคใต้ ซึ่งวันดังกล่าวจะลดลง สำหรับ**ฝนรวมของวันเปียกมาก (R95p)** ไม่พบความแตกต่างกันมากในทุกภาค ยกเว้นภาคใต้และภาคตะวันออก ซึ่งปริมาณฝนดังกล่าวได้ลดลง

คำหลัก: การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ, แบบจำลองสภาพภูมิอากาศระดับภูมิภาค, อุณหภูมิ, ฝน, ประเทศไทย

Abstract

Project Code: RDG5030034

Project Title: Study of Potential Regional Climate Change for Thailand Using RegCM3 Model

Investigators:

1. Sirintornthep Towprayoon (Principal Investigator)
2. Kasemsan Manomaiphiboon
3. Mega Octaviani and
4. Kritanai Torsri

The Joint Graduate School of Energy and Environment, King Mongkut's University of Technology
Thonburi

Email Address: sirin@jgsee.kmutt.ac.th

Project Duration: July 2007 - December 2011

This research project studied potential future changes of near-surface air temperature (shortly, temperature) and precipitation over Thailand due to global climate change, using regional climate model RegCM3. The model has long been developed and continuously updated, and it has been widely used by scientists worldwide. In this study, regional climatic conditions were simulated to a grid horizontal resolution of 20 km, spanning two 40-year periods: past-year period (1961-2000) and future-year period (2031-2070) under projected future emission scenario A1B of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). To evaluate the overall performance of RegCM3 configured and applied here, simulated results were compared against observation data from a number of surface monitoring stations of the Thai Meteorological Department. It was found that the model suffers from substantial underestimation on **(40-year average) temperature** for most of the country (except for Southern region with a lesser degree), with mean bias over several areas being as large as -4°C . However, the model was satisfactorily capable of capturing the annual seasonality and geographical variations of those two variables. For **(40-year average) precipitation**, the model tends to give overestimates in Southern and Central-Eastern regions and underestimates in Northern and Northeastern regions.

The spatial distributions of **(40-year average) temperature** simulated for the future years are similar to those simulated for the past years. In the future, temperature is expected to increase over the entire Thailand by $<1-3^{\circ}\text{C}$, and its trend is positive (i.e., increasing) in every region along the future decades in question. For **(40-year average) precipitation** simulated for the future years, most areas would not have substantial change in terms of precipitation amount when compared to the past years,

except in Southern region where a decrease of 3-5 mm/day is predicted. For selected eight climate extreme indices, it was found for the future years as follows: For **Hot Days Index (TX90p)**, it tends to increase along the future decades over the country. For **Cool Days Index (TX10p)**, the direction would be opposite of that of TX90p. For **Warm Nights Index (TN90p)**, the direction is the same as TX90p. For **Cold Nights Index (TN10p)**, the direction is similar to that of TX10p in that the index is predicted to decline with the decades in all regions. For **Significant-Precipitation Days Index (R10mm)**, no substantial differences (between the past years and the future years) were found in every region, except in Southern and Eastern regions. For **Consecutive Dry Days Index (CDD)**, many areas in Northeastern region (particularly in its central part) would see an increase in this index while the western part of Northern region would see a slight decrease. For **Consecutive Wet Days Index (CWD)**, no substantial differences were found across Thailand, except in Southern region where the index declines. For **Precipitation Due to Very Wet Days Index (R95p)**, no substantial differences were also found across Thailand, except in Southern region and also Eastern region where the index declines.

Keywords: Climate Change, Regional Climate Modeling, Temperature, Precipitation, Thailand

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยขอขอบคุณหน่วยงานและบุคคลดังต่อไปนี้:

- สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย สำหรับทุนสนับสนุนการวิจัยและคำแนะนำที่มีประโยชน์
- บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม สำหรับการสนับสนุนการวิจัย
- ศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีพลังงานและสิ่งแวดล้อม กระทรวงศึกษาธิการ สำหรับการสนับสนุนการวิจัย
- กรมอุตุนิยมวิทยา สำหรับข้อมูลอุตุนิยมวิทยา
- Dr. Gao Xuejie (China Meteorological Administration) สำหรับข้อมูล ECHAM5/MPI-OM และคำแนะนำทางเทคนิคที่มีประโยชน์ต่อโครงการ
- คุณศุภกร ชินวรโรจน์ (ศูนย์เครือข่ายงานวิเคราะห์วิจัยและฝึกอบรมการเปลี่ยนแปลงของโลกแห่งภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้) ดร. จิรสรณ์ สันติสิริสมบุรณ์ (มหาวิทยาลัยรามคำแหง) สำหรับข้อมูลตรวจวัดเสริม ดร. อัครมน ลิ่มสกุล (ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม) และ รศ. ดร. อำนาจ ชิดไธสง (บัณฑิตวิทยาลัยร่วมฯ) สำหรับคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการ
- รศ. ดร. ประจันต์ วัชรวิเศษ (บัณฑิตวิทยาลัยร่วมฯ) สำหรับความช่วยเหลือในการติดต่อกับ CMA
- The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (ICTP) อิตาลี สำหรับแบบจำลอง RegCM3
- Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies ของ Institute of Global Environment and Society สำหรับโปรแกรมกราฟฟิก GrADS และ
- นักศึกษาและเจ้าหน้าที่ของห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ของบัณฑิตวิทยาลัยร่วมฯ วิทยาเขตบางขุนเทียน โดยเฉพาะนายธายุกร พระบำรุง

สารบัญ

	หน้า
บทสรุปผู้บริหาร	ก
บทคัดย่อ	ค
Abstract	จ
กิตติกรรมประกาศ	ช
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ณ
สารบัญรูป	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
บทที่ 2 วิธีการวิจัย	3
2.1 รายละเอียดของแบบจำลองและข้อมูลนำเข้า	3
2.2 วิธีการจำลอง	4
2.3 การวิเคราะห์ผลจำลอง	4
บทที่ 3 ผลวิจัยและอภิปราย	10
3.1 สมรรถนะการทำนายของแบบจำลอง	10
3.2 อุณหภูมิเฉลี่ยและฝนเฉลี่ยในอนาคต	17
3.3 ดัชนีสภาวะสุดขีดของอุณหภูมิในอนาคต	22
3.4 ดัชนีสภาวะสุดขีดของฝนในอนาคต	27
บทที่ 4 สรุปและข้อเสนอแนะ	32
4.1 สรุป	32
4.2 ข้อเสนอแนะ	33
เอกสารอ้างอิง	36

สารบัญตาราง

	หน้า
2.1 ดัชนีสภาวะสุดขีดของอุณหภูมิจากการพิจารณา	8
2.2 ดัชนีสภาวะสุดขีดของฝนจากการพิจารณา	8
3.1 แนวโน้มของอุณหภูมิจากการพิจารณาและฝนในช่วงเวลาอดีต 40 ปี รายการเปรียบเทียบระหว่างค่าตรวจวัดและค่าจำลอง	16

สารบัญรูป

	หน้า
2.1 องค์ประกอบและการไหลของข้อมูลใน RegCM3	5
2.2 ระดับของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกทำนายในอนาคตภายใต้ภาพฉายต่างๆ ของ IPCC	5
2.3 โดเมนที่ใช้ในการจำลอง: ก) D1 และ ข) D2	7
2.4 ตำแหน่งของสถานีตรวจวัด	9
3.1 อุณหภูมิเฉลี่ย 40 ปีในอดีต ของแต่ละสถานีตรวจวัด แสดงเฉลี่ยทั้งปีและทุกสามเดือน	12
3.2 อุณหภูมิเฉลี่ย 40 ปีในอดีต รายภาค แสดงเฉลี่ยทั้งปีและทุกสามเดือน	13
3.3 ฝนเฉลี่ย 40 ปีในอดีต ของแต่ละสถานีตรวจวัด แสดงเฉลี่ยทั้งปีและทุกสามเดือน	14
3.4 ฝนเฉลี่ย 40 ปีในอดีต รายภาค แสดงเฉลี่ยทั้งปีและทุกสามเดือน	15
3.5 แผนที่เฉลี่ย 40 ปีในอดีตของอุณหภูมิ, แผนที่เฉลี่ย 40 ปีในอนาคตของอุณหภูมิ, และ ผลต่างของสองแผนที่ (อนาคต-อดีต) แสดงเฉลี่ยทั้งปีและทุกสามเดือน	18
3.6 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ เฉลี่ยทุกสิบปีในอนาคตเทียบกับค่าเฉลี่ยรวม 40 ปีในอดีต และอุณหภูมิเฉลี่ยทุกสิบปีในอนาคต แสดงเฉลี่ยทั้งปีและทุกสามเดือน	19
3.7 แผนที่เฉลี่ย 40 ปีในอดีตของฝน, แผนที่เฉลี่ย 40 ปีในอนาคตของฝน, และผลต่างของสองแผนที่ (อนาคต-อดีต) แสดงเฉลี่ยทั้งปีและทุกสามเดือน	20
3.8 การเปลี่ยนแปลงของฝน เฉลี่ยทุกสิบปีในอนาคตเทียบอ้างอิงกับค่าเฉลี่ย 40 ปีในอดีต และฝนเฉลี่ยทุกสิบปีในอนาคต แสดงเฉลี่ยทั้งปีและทุกสามเดือน	21
3.9 TX90p เฉลี่ย 40 ปีในอดีต, เฉลี่ยทุก 10 ปีในอนาคต, และผลต่างของแผนที่ทุก 10 ปีในอนาคต เทียบกับค่าเฉลี่ย 40 ปีในอดีต	23
3.10 TX10p เฉลี่ย 40 ปีในอดีต, เฉลี่ยทุก 10 ปีในอนาคต, และผลต่างของแผนที่ทุก 10 ปีในอนาคต เทียบกับค่าเฉลี่ย 40 ปีในอดีต	24
3.11 TN90p เฉลี่ย 40 ปีในอดีต, เฉลี่ยทุก 10 ปีในอนาคต, และผลต่างของแผนที่ทุก 10 ปีในอนาคต เทียบกับค่าเฉลี่ย 40 ปีในอดีต	25
3.12 TN10p เฉลี่ย 40 ปีในอดีต, เฉลี่ยทุก 10 ปีในอนาคต, และผลต่างของแผนที่ทุก 10 ปีในอนาคต เทียบกับค่าเฉลี่ย 40 ปีในอดีต	26
3.13 R10mm เฉลี่ย 40 ปีในอดีต, เฉลี่ยทุก 10 ปีในอนาคต, และผลต่างของแผนที่ทุก 10 ปีในอนาคต เทียบกับค่าเฉลี่ย 40 ปีในอดีต	28
3.14 CDD เฉลี่ย 40 ปีในอดีต, เฉลี่ยทุก 10 ปีในอนาคต, และผลต่างของแผนที่ทุก 10 ปีในอนาคต เทียบกับค่าเฉลี่ย 40 ปีในอดีต	29
3.15 CWD เฉลี่ย 40 ปีในอดีต, เฉลี่ยทุก 10 ปีในอนาคต, และผลต่างของแผนที่ทุก 10 ปีในอนาคต เทียบกับค่าเฉลี่ย 40 ปีในอดีต	30
3.16 R95p เฉลี่ย 40 ปีในอดีต, เฉลี่ยทุก 10 ปีในอนาคต, และผลต่างของแผนที่ทุก 10 ปีในอนาคต เทียบกับค่าเฉลี่ย 40 ปีในอดีต	31
4.1 เว็บไซต์ของฐานข้อมูลที่บัณฑิตวิทยาลัยร่วมฯ	35
4.2 เว็บไซต์ของฐานข้อมูลที่ศูนย์เครือข่ายงานวิเคราะห์วิจัยและฝึกอบรมการเปลี่ยนแปลงของโลกฯ	35

บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้กลายเป็นประเด็นปัญหาที่สำคัญที่นานาชาติได้เริ่มตระหนักถึง ปัญหานี้เป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนและต้องอาศัยข้อมูลที่หลากหลายเพื่อนำไปใช้ในการประเมินหรือทำนายสถานการณ์เพื่อแก้ไขหรือลดความเสี่ยงของผลกระทบที่มีแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นในระยะยาวโดยเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ รวมทั้งการหาแนวทางการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงนั้นได้ จากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลจำนวนมากจากแหล่งต่างๆ โดย Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) พบว่า อุณหภูมิของโลกสูงขึ้นและมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้นต่อเนื่อง โดยเฉพาะในช่วงศตวรรษที่ผ่านมา และมีแนวโน้มที่สูงขึ้นต่อไปในอนาคตอย่างชัดเจนหลีกเลี่ยงไม่ได้ ซึ่งอาจจะส่งผลกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อมในทุกภาคส่วนที่มีความรุนแรงแตกต่างกัน ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาลักษณะและสภาพของภูมิอากาศที่จะเปลี่ยนแปลงในอนาคตในทางปฏิบัติแล้ว สามารถทำได้โดยอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทางสภาพภูมิอากาศ (Climate Model) หรือเรียกสั้นๆ ว่า แบบจำลองสภาพภูมิอากาศ

โดยทั่วไป แบบจำลองสภาพภูมิอากาศแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ 1) แบบจำลองสภาพภูมิอากาศระดับโลก (Global Circulation/Climate Model หรือ GCM) และ 2) แบบจำลองสภาพภูมิอากาศระดับภูมิภาค (Regional Climate Model หรือ RCM) แบบจำลอง GCM เป็นแบบจำลองที่มีความซับซ้อนโดยมีการเชื่อมโยงกระบวนการและความสัมพันธ์ต่างๆ ของระบบบรรยากาศ พื้นดิน มหาสมุทร รวมทั้งกิจกรรมของมนุษย์เข้าไว้ด้วยกัน โดยครอบคลุมพื้นที่ทั้งโลก โดยทั่วไปขนาดกริดเซลล์ค่อนข้างหยาบ (ประมาณ 100 กม. หรือมากกว่า) ซึ่งไม่ละเอียดเพียงพอที่จะนำไปใช้ในการศึกษาในระดับภูมิภาค ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องใช้แบบจำลอง RCM เข้าช่วย โดยอาศัยผลลัพธ์ที่ได้จาก GCM เป็นเงื่อนไขเริ่มต้นและขอบเขตในการจำลอง โดยทั่วไป RCM มีขีดความสามารถที่รองรับการจำลองที่มีความละเอียดกริดเซลล์ได้ถึง 60 กม. หรือน้อยกว่า (เช่น 10-20 กม.) และได้มีการพัฒนาแบบจำลองชนิดนี้ขึ้นมาเป็นจำนวนมาก สำหรับการประยุกต์แบบจำลอง RCM สำหรับประเทศไทยเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสภาพภูมิอากาศ ยังถือว่าไม่มาก แต่ก็ได้รับความสนใจมากขึ้นจากสาธารณะและนักวิจัยในประเทศอย่างต่อเนื่อง โดยการศึกษาแรกแรกที่ได้ดำเนินการในประเทศไทย คือ ศุภกรและคณะ (2552) ซึ่งได้จำลองสภาพภูมิอากาศอนาคตสำหรับประเทศไทยและพื้นที่ข้างเคียงโดยใช้แบบจำลอง PRECIS ของประเทศอังกฤษ ด้วยตระหนักถึงความสำคัญของปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและผลกระทบต่อประเทศไทย จึงเป็นที่มาของการศึกษานี้ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรมวิจัยการจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศสำหรับประเทศไทย ภายใต้การสนับสนุนจาก สกว. ในการศึกษาได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองระดับภูมิภาค RegCM3 ซึ่งเป็นแบบจำลองที่มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องยาวนานมากกว่า 15 ปี จนถึงปัจจุบันและเป็นที่ยอมรับจากนักวิชาการและนักวิจัยนานาชาติ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

4. เพื่อประยุกต์ใช้และศึกษาความเหมาะสมของแบบจำลองสภาพภูมิอากาศระดับภูมิภาค RegCM3 สำหรับประเทศไทย
5. เพื่อเสริมสร้างทักษะและความชำนาญในศาสตร์การจำลองประเภทสำหรับประเทศไทย และ

6. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางด้านสภาพภูมิอากาศภายใต้สถานการณ์จำลองในอนาคตของ IPCC โดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและฝนสำหรับประเทศไทย เพราะเป็นตัวแปรหลักในการศึกษาสภาพภูมิอากาศ และเผยแพร่ข้อมูลที่ได้จากการจำลองเพื่อเป็นประโยชน์ต่อสาธารณะ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษานี้ได้พิจารณาสภาพภูมิอากาศภายใต้สถานการณ์จำลองในอนาคตของ IPCC A1B โดยพิจารณาสองตัวแปรอุตุนิยมวิทยา คือ 1) อุณหภูมิอากาศใกล้พื้นผิว (Near-Surface Air Temperature) (เรียกสั้นๆ ว่า อุณหภูมิ) และ 2) ฝน (Precipitation) โดยจำลองสภาพภูมิอากาศสำหรับช่วงเวลาอดีตครอบคลุม 40 ปี (พ.ศ. 2504-2543 หรือ ค.ศ. 1961-2000) และจำลองสภาพภูมิอากาศสำหรับช่วงเวลาอนาคตครอบคลุม 40 ปี (พ.ศ. 2574-2613 หรือ ค.ศ. 2031-2070) โดยมีความละเอียดกริดเซลล์สุดท้ายที่ 20 กม. และครอบคลุมประเทศไทยทั้งหมดและพื้นที่ข้างเคียง และจะทำการวิเคราะห์ผลการจำลอง โดยเปรียบเทียบข้อมูลตรวจวัดสำหรับช่วง 40 ปี ในอดีตและคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและฝนในอนาคตอีก 40 ปีข้างหน้า ว่ามีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันน้อยอย่างไร โดยพิจารณาทั้งค่าเฉลี่ย (Mean หรือ Average) ดัชนีสภาวะสุดขีด (Climate Extreme Index) และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลง (Trend) ของอุณหภูมิและฝน

บทที่ 2

วิธีการวิจัย

2.1 รายละเอียดของแบบจำลองและข้อมูลนำเข้า

RegCM3 เป็นแบบจำลองสภาพภูมิอากาศในระดับภูมิภาคในลักษณะพลศาสตร์ (Dynamical Model) ที่ถูกพัฒนาโดย National Center for Atmospheric Research ประเทศสหรัฐอเมริกา มาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1980 (Giorgi et al., 1993) มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบันโดย Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (ICTP) ประเทศอิตาลี และได้การนำไปประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลาย (Pal et al., 2007) เป็นแบบจำลองในลักษณะโอเพนซอสและไม่เป็นเชิงพาณิชย์ จึงเหมาะสมต่อการวิจัยเพื่อสร้างองค์ความรู้ แกนคำนวณเชิงตัวเลขของ RegCM3 เป็นแบบ Hydrostatic ใช้ Sigma-Pressure Coordinate โดยสมการคณิตศาสตร์หลักในการคำนวณค่าอุณหภูมินั้นเป็นสมการชุดเดียวกันกับแบบจำลอง MM5 (Grell et al., 1994)

กลุ่มและตัวเลือกฟิสิกส์ที่ได้ถูกบรรจุไว้ในแบบจำลอง RegCM3 ประกอบด้วย

- Radiation Parameterization ของแบบจำลอง CCM3 (Kiehl et al., 1996) แต่ได้เพิ่มอิทธิพลของก๊าซเรือนกระจกที่มีต่อบรรยากาศเข้าไว้ในการคำนวณ ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2), ไอน้ำ (H_2O), โอโซน (O_3), ไนตรัสออกไซด์ (N_2O), มีเทน (CH_4), ไตรคลอโรฟลูโอโรมีเทน (CFC-11) และไดคลอโรไดฟลูโอโรมีเทน (CFC-12)
- Planetary Boundary Layer (PBL) โดย Holtslag et al. (1990)
- Subgrid Explicit Moisture scheme (SUBEX) (Pal et al., 2000)
- Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme (BATS) version 1e (Dickinson et al., 1993) สำหรับคำนวณกระบวนการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องระหว่างพื้นดินกับบรรยากาศ
- Convective parameterization scheme (CPS) เพื่อคำนวณฝน ซึ่งมีทั้งหมด 4 scheme ดังนี้ 1) Modified-Kuo (Anthes, 1977) 2) Grell with Arakawa and Schubert Closure (หรือ Grell-AS) (Arakawa and Schubert, 1974) 3) Grell with Fritsch and Chappell (หรือ Grell-FC) (Fritsch and Chappell, 1980) และ 4) MIT-Emanuel scheme (Emanuel, 1991; Emanuel and Zivkovic-Rothman, 1999) และ
- Ocean Flux Scheme (OFS) เพื่อคำนวณกระบวนการต่างๆ ระหว่างพื้นผิวน้ำทะเลกับบรรยากาศ ซึ่งมีทั้งหมด 2 scheme ดังนี้ 1) BATS (Dickinson et al., 1993) และ 2) Zeng et al. (1998)

ในการศึกษานี้ CPS และ OFS ที่ได้เลือกใช้ คือ Grell-AS กับ BATS ซึ่งได้มาจากการทดสอบแบบจำลอง RegCM3 สำหรับระยะสั้น โดยพิจารณาหลายกลุ่มหรือคู่ของตัวเลือกฟิสิกส์ (Octavianai, 2008; Octaviani and Manomaiphiboon, 2011) พบว่า เมื่อใช้ Grell-AS กับ BATS ร่วมกัน จะให้ผลที่คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงไม่มากเท่าผลจำลองจากบางกลุ่มหรือคู่ที่พิจารณาสำหรับทั้งอุณหภูมิและฝน ภาพรวมขององค์ประกอบและการไหลของข้อมูลใน RegCM3 ได้ให้ไว้ในรูปที่ 2.1 สำหรับรายละเอียดเพิ่มเติมและซอร์สโคดของ RegCM3 ผู้อ่านสามารถดูได้หรือดาวน์โหลดจาก <http://www.ictp.trieste.it/~pubregcm/RegCM3/> สำหรับค่าเงื่อนไขเริ่มต้นและขอบเขต (Initial Conditions and Boundary Conditions หรือ ICBC) ให้กับแบบจำลอง ในที่นี้ ได้ใช้ผลลัพธ์ของ ECHAM5/MPI-OM (เรียกสั้นๆ ว่า ECHAM5) ซึ่งเป็นแบบจำลอง GCM ภายใต้การร่วมงานของ European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) และ Max Planck Institute for Meteorology (Roeckner et al., 2003) และ Max Planck Institute Ocean Model (MPI-OM) (Marsland et al., 2003) โดยข้อมูลมีความละเอียดกริดเซลล์ที่ 140×210 กม. มีความละเอียดแนวตั้ง 32 ชั้น และเป็นราย 6 ชม. โดยข้อมูล

ผลลัพธ์ GCM ที่ทำนายในช่วงอดีต มาจากการจำลองรหัส 20C3M ซึ่งพิจารณาอิทธิพลการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกและแอโรซอลในอดีตที่ได้มาจากการตรวจวัด สำหรับช่วงอนาคต การจำลองอยู่ภายใต้ภาพนายสมมติ A1B ของ IPCC (Nakicenovic et al., 2000) (รูปที่ 2.2) ข้อมูล GCM ดังกล่าว ได้รับความอนุเคราะห์จาก Dr. Gao Xuejie (China Meteorological Administration) สำหรับข้อมูลความชันพื้นผิวที่ใช้ในการจำลองในครั้งนี้ ได้ใช้ข้อมูล GTOPO30 (USGS, 2008a) ซึ่งมีความละเอียดกริดเซลล์เริ่มต้นประมาณ 1 กม. และสำหรับข้อมูลลักษณะปกคลุมพื้นผิว ได้ใช้ข้อมูล Global Land Cover Characterization (USGS, 2008b) ซึ่งมีความละเอียดกริดเซลล์เริ่มต้นประมาณ 1 กม. โดยข้อมูลเหล่านี้สามารถดาวน์โหลดได้ที่ <http://users.ictp.it/RegCNET/globedat.html>

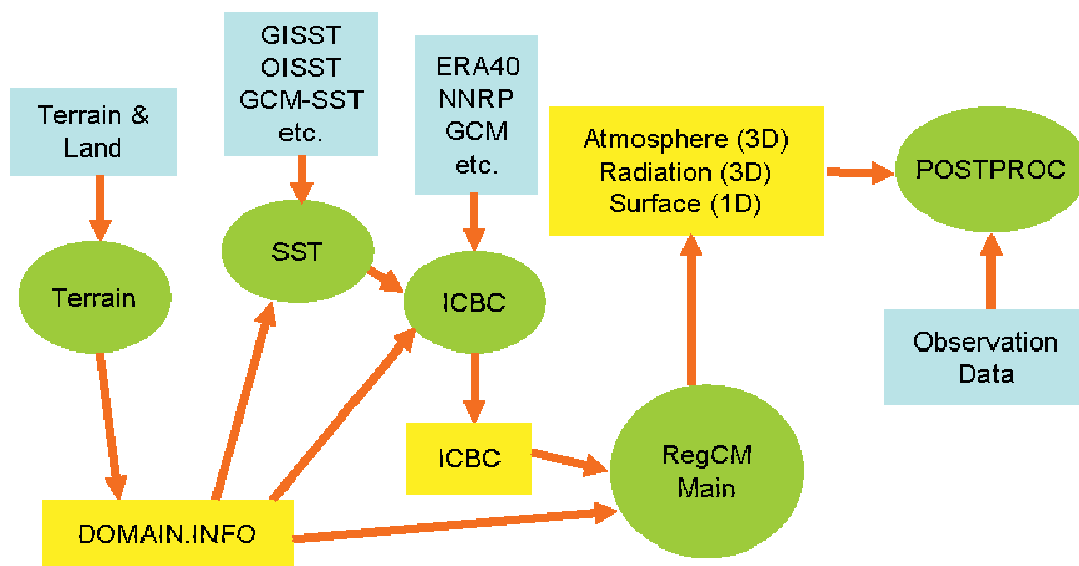
2.2 วิธีการจำลอง

การจำลองได้เริ่มต้นที่โดเมน D1 เมื่อแล้วเสร็จก็นำผลลัพธ์ไปใช้เป็นค่าเงื่อนไขเริ่มต้นและขอบเขตสำหรับการจำลองในโดเมน D2 โดยโดเมน D1 ถูกกำหนดให้มีขนาดใหญ่ครอบคลุมพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้เกือบทั้งหมด รวมไปถึงพื้นที่ตอนใต้ของประเทศไทยและประเทศในแถบทวีปเอเชียใต้บางส่วน และครอบคลุมไปถึงบางส่วนของมหาสมุทรอินเดียและมหาสมุทรเอเชียแปซิฟิก ทั้งนี้เพื่อให้การจำลองได้รวมอิทธิพลของกระบวนการฟิสิกส์บรรยากาศต่างๆ ในภูมิภาคนี้ให้มากที่สุดเพียงพอหรือครบถ้วน โดยเฉพาะอิทธิพลจากลมมรสุม จากที่กล่าวมาแล้วในช่วงต้น การจำลองจะครอบคลุมช่วงเวลาอดีตครอบคลุม 40 ปี (พ.ศ. 2504-2543 หรือ ค.ศ. 1961-2000) และช่วงเวลาอนาคตครอบคลุม 40 ปี (พ.ศ. 2574-2613 หรือ ค.ศ. 2031-2070)

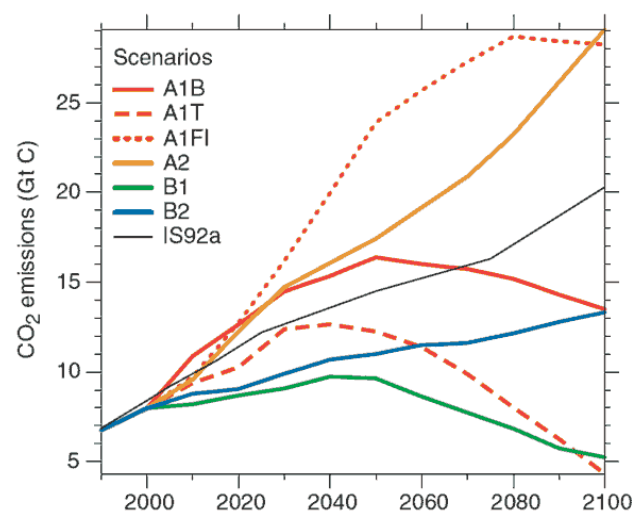
2.3 การวิเคราะห์ผลจำลอง

ผลลัพธ์จากการจำลองของช่วงเวลาอดีต 40 ปี จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัด โดยพิจารณาตัวแปรพื้นฐานและดัชนีสภาวะสุดขีด (Climate Extremes Indices) ของอุณหภูมิและฝนด้วย ตัวแปรพื้นฐานประกอบด้วย อุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน (Daily Mean Temperature) และฝนรายวัน (Daily Rainfall/Precipitation) สำหรับดัชนีสภาวะสุดขีดที่พิจารณาในที่นี้ มีจำนวนทั้งหมด 8 ดัชนี ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของดัชนีจำนวนมากที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศซึ่งเสนอโดย Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Indices (ETCCDMI) (Klein Tank et al., 2009):

1. วันอากาศร้อน (Hot Days) (TX90p)
2. วันอากาศเย็น (Cool Days) (TX10p)
3. คืนอากาศอุ่น (Warm Nights) (TN90p)
4. คืนอากาศหนาว (Cold Nights) (TN10p)
5. วันมีฝนมาก (Significant Precipitation Days) (R10mm)
6. วันแห้งต่อเนื่อง (Consecutive Dry Days) (CDD)
7. วันเปียกต่อเนื่อง (Consecutive Wet Days) (CWD) และ
8. ฝนรวมของวันเปียกมาก (Precipitation Due to Very Wet Days) (R95p)



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบและการไหลของข้อมูลใน RegCM3



รูปที่ 2.2 ระดับของคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้ที่ทำนายภายใต้ภาพฉายต่าง ๆ ของ IPCC
(ที่มา Nakicenovic et al., 2000)

คำนียามโดยสังเขปของดัชนีข้างบนนี้ได้ไว้ในตารางที่ 2.1 และ 2.2 ส่วนคำนียามโดยละเอียด สามารถดูได้จาก Klein Tank et al. (2009) ในการคำนวณค่าของบางดัชนีข้างบนนี้ อาจมีความจำเป็นที่ต้องคำนวณค่าสถิติระยะยาว 30 ปี ตามแต่ที่คำนียามได้กำหนดไว้ ในที่นี้ได้เลือกใช้ช่วงเวลา พ.ศ. 2514-2543 (ค.ศ. 1971-2000) เป็นฐาน (Base Period) สำหรับค่าสถิติระยะยาว การเปรียบเทียบรค่าตรวจวัดกับผลจำลองจะพิจารณา

ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Mean Bias หรือ MB) ซึ่งคำนวณจากสมการ

$$MB = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)$$

โดยที่ N คือ จำนวนของข้อมูลเปรียบเทียบ P_i คือ ค่าผลจำลองที่ i และ O_i คือ ค่าตรวจวัดที่ i

แนวโน้ม (Trend) ของค่ารายปีของตัวแปรพื้นฐานต่าง ๆ (อุณหภูมิเฉลี่ยรายวันและฝนรายวัน) และของดัชนีสภาวะสุดขีด (Climate Extremes Index) โดยจะพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ความชันของสมการถดถอยเชิงเส้น (Linear Trend: $Y = aX + b$) ซึ่งคำนวณจาก

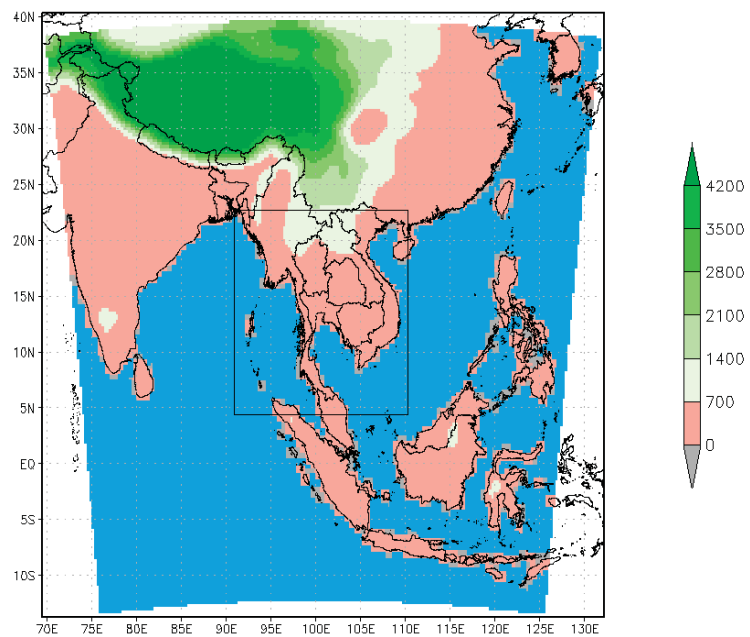
$$a = \frac{N \sum_{i=1}^N X_i Y_i - (\sum_{i=1}^N X_i)(\sum_{i=1}^N Y_i)}{N(\sum_{i=1}^N X_i^2) - (\sum_{i=1}^N X_i)^2}$$

โดยที่ N คือ จำนวนของข้อมูล X_i คือ ค่าของตัวแปรอิสระที่ i (ในที่นี้ เวลา) และ Y_i คือ ค่าของตัวแปรตามที่ i (ในที่นี้ ค่าตรวจวัดหรือค่าจำลอง)

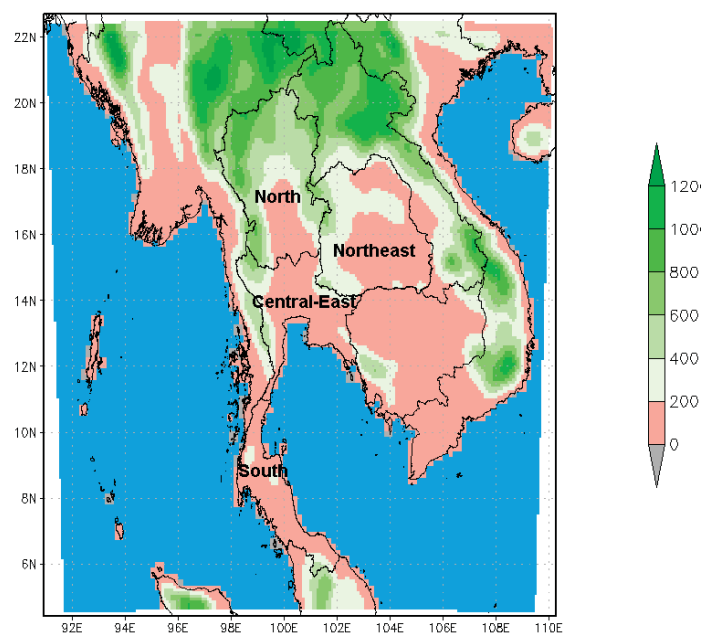
ข้อมูลตรวจวัดอุณหภูมิและฝนรายวันที่ใช้ในการศึกษานี้มาจากสถานีตรวจวัดพื้นผิวของกรมอุตุนิยมวิทยา จำนวนทั้งสิ้น 73 สถานี (รูปที่ 2.4) โดยที่สถานีดังกล่าวมีข้อมูลที่ค่อนข้างสมบูรณ์ (อย่างน้อย 70% ของข้อมูลตลอดช่วงเวลา 40 ปีที่พิจารณา) และข้อมูลตรวจวัดจากสถานีเหล่านี้ได้ผ่านการทดสอบภาวะเอกพันธ์ (Homogeneity Test) แล้ว ในที่นี้ได้ใช้วิธี Standard Normal Homogeneity Test (Alexandersson, 1986)

(เว้นว่างโดยเจตนา โปรดดูหน้าต่อไป)

ก)



ข)



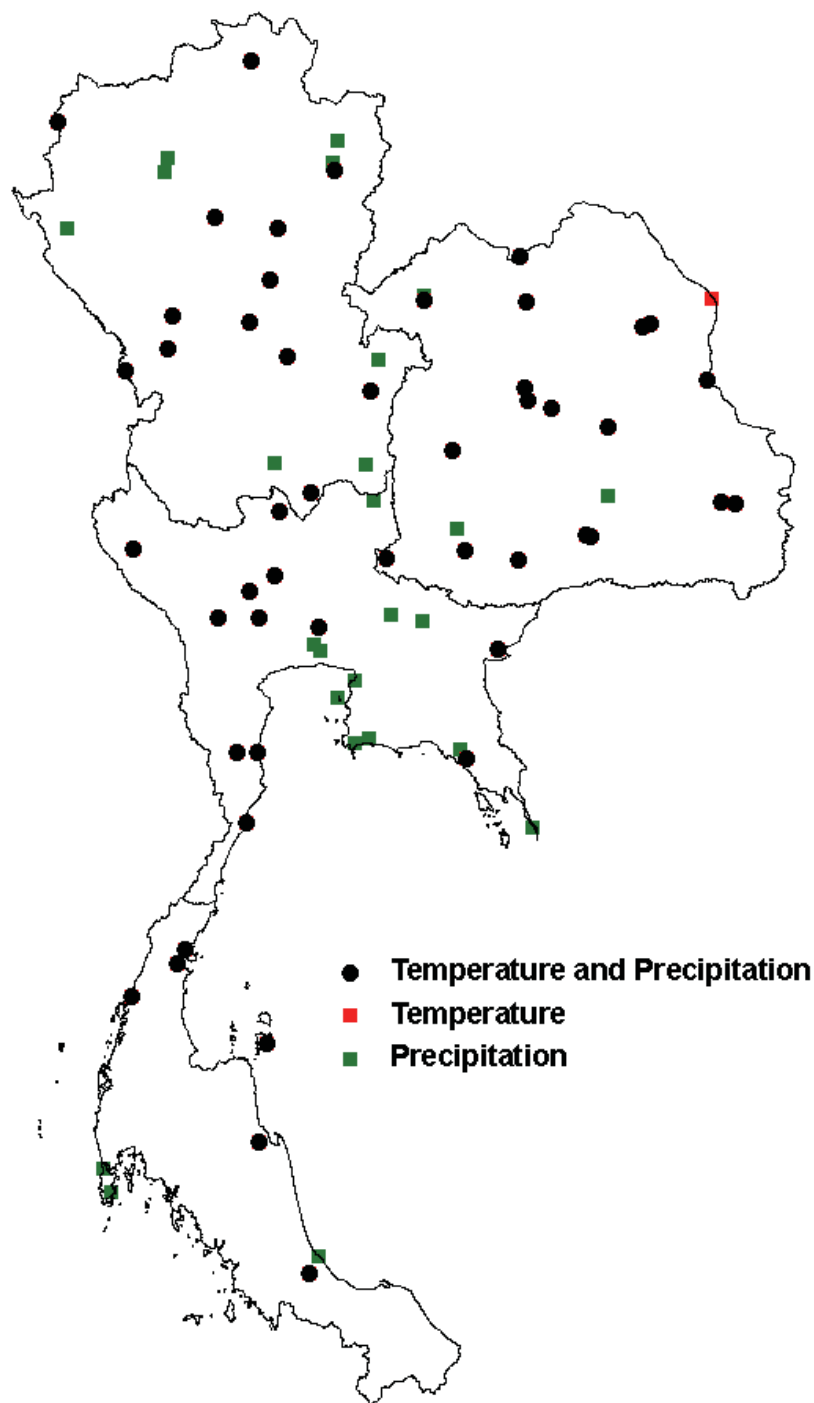
รูปที่ 2.3 โดเมนที่ใช้ในการจำลอง: ก) D1 และ ข) D2

ตารางที่ 2.1 ดัชนีสภาวะสุดขีดของอุณหภูมิที่พิจารณา

ชื่อ	นิยาม
วันอากาศร้อน Hot Days (TX90p)	เปอร์เซ็นต์ของจำนวนวัน(ในหนึ่งปี) ที่อุณหภูมิสูงสุดมากกว่าค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 90 Percentage of days when daily maximum temperature > 90 th percentile
วันอากาศเย็น Cool Days (TX10p)	เปอร์เซ็นต์ของจำนวนวัน(ในหนึ่งปี) ที่อุณหภูมิต่ำสุดน้อยกว่าค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 10 Percentage of days when daily maximum temperature < 10 th percentile
คืนอากาศอุ่น Warm Nights (TN90p)	เปอร์เซ็นต์ของจำนวนวัน(ในหนึ่งปี) ที่อุณหภูมิต่ำสุดมากกว่าค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 90 Percentage of days when daily minimum temperature > 90 th percentile
คืนอากาศหนาว Cold Nights (TN10p)	เปอร์เซ็นต์ของจำนวนวัน(ในหนึ่งปี) ที่อุณหภูมิต่ำสุดน้อยกว่าค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 10 Percentage of days when daily minimum temperature < 10 th percentile

ตารางที่ 2.2 ดัชนีสภาวะสุดขีดของฝนที่พิจารณา

ชื่อ	นิยาม
วันมีฝนมาก Significant Precipitation Days (R10mm)	จำนวนวันในรอบปีที่มีฝนรายวันมากกว่าหรือเท่ากับ 10 มม. Annual count of days when daily precipitation $\geq$ 10 mm
วันแห้งต่อเนื่อง Consecutive Dry Days (CDD)	จำนวนวันต่อเนื่องสูงสุดในรอบปีที่มีฝนรายวันน้อยกว่า 1 มม. Maximum number of consecutive days with daily precipitation < 1 mm
วันเปียกต่อเนื่อง Consecutive Wet Days (CWD)	จำนวนวันต่อเนื่องสูงสุดในรอบปีที่มีฝนรายวันมากกว่าหรือเท่ากับ 1 มม. Maximum number of consecutive days with daily precipitation $\geq$ 1 mm
ฝนรวมของวันเปียกมาก Precipitation Due to Very Wet Days (R95p)	ปริมาณฝนรวม (มม.) จากวันต่างๆ ในรอบปีที่มีฝนรายวันมากกว่าค่า เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 Total precipitation from days with daily precipitation > 95 th percentile



รูปที่ 2.4 ตำแหน่งของสถานีตรวจวัด
 (สีแดง: สถานีที่ข้อมูลอุณหภูมิถูกใช้เท่านั้น, สีเขียว: สถานีที่ข้อมูลฝนถูกใช้เท่านั้น, และสีดำ:
 สถานีที่ทั้งข้อมูลอุณหภูมิและฝนถูกใช้)

บทที่ 3

ผลวิจัยและอภิปราย

3.1 สมรรถนะการทำนายของแบบจำลอง

จากการเปรียบเทียบค่าจำลองจากสถานีตรวจวัดแต่ละสถานี พบว่า ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันในช่วงเวลาอดีต 40 ปีที่ได้จากการจำลองทั้งค่าเฉลี่ยรายปี (Annual) และเฉลี่ยสามเดือน (ซึ่งคือ ธ.ค.-ก.พ. หรือ DJF, มี.ค.-พ.ค. หรือ MAM, มิ.ย.-ส.ค. หรือ JJA, และ ก.ย.-พ.ย. หรือ SON) มีค่าต่ำกว่าค่าตรวจวัดทุกสถานีในทุกภาค (รูปที่ 3.1 และ 3.2) ในช่วง DJF ซึ่งเป็นฤดูหนาว พบว่า ทำนายค่อนข้างต่ำมากกว่าความเป็นจริงในทุกภาค ($MB = -4^{\circ}C$) ยกเว้นภาคใต้ สำหรับช่วง JJA และ SON ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน ได้ผลดีขึ้น ผลจำลองในภาคใต้อยู่ในเกณฑ์ใช้ได้ใกล้เคียงกับค่าตรวจวัด (MB ประมาณ $-2^{\circ}C$) เมื่อพิจารณาถึงการกระจายตัวของค่าอุณหภูมิ ซึ่งดูได้จากขนาดของช่วงเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) พบว่า การกระจายตัวมีขนาดใกล้เคียงกันทั้งค่าจำลองและค่าตรวจวัดในทุกภาคและทุกช่วงเวลาและมีขนาดน้อยในภาคใต้และในช่วงฤดูฝน

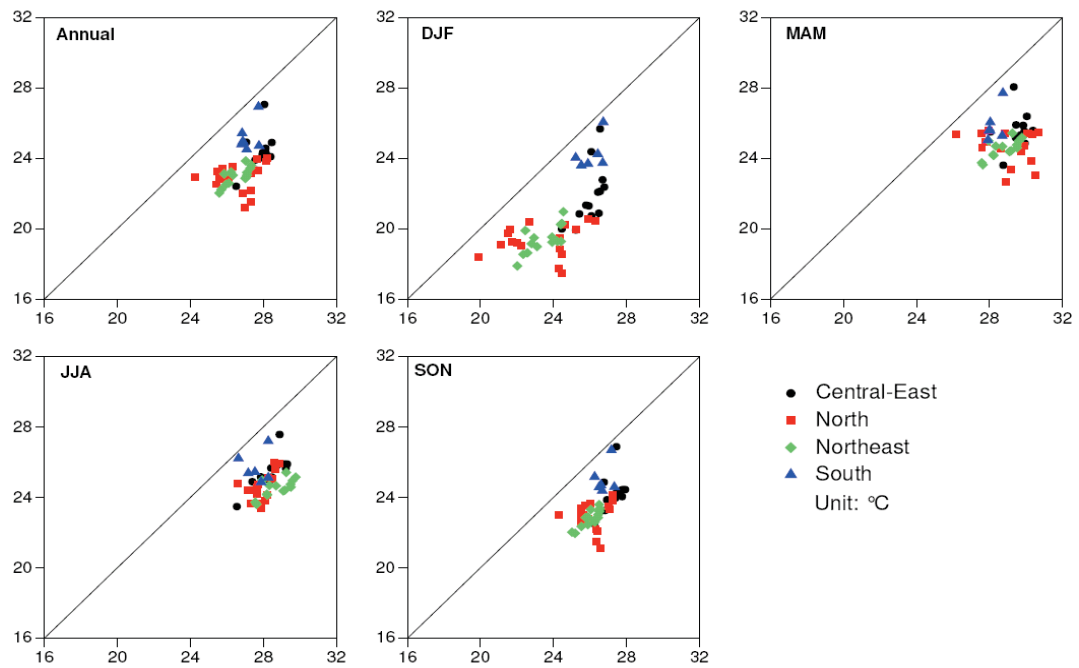
สำหรับฝน ค่าจำลองมีความแตกต่างกันไปในแต่ละภาค (รูปที่ 3.3 และ 3.4) โดยทั่วไปภาคใต้และภาคกลาง-ตะวันออกมีฝนมากกว่าภาคอื่น ซึ่งค่อนข้างสอดคล้องกันทั้งผลจำลองและค่าตรวจวัด เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยรายปี ผลจำลองทำนายเกินจริงในทั้งสองภาคดังกล่าว ($MB = 9.1$ มม./วัน และ 3.9 มม./วัน ตามลำดับ)และต่ำกว่าจริงเล็กน้อยในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ($MB = -0.7$ มม./วัน และ -1.4 มม./วัน ตามลำดับ) เมื่อพิจารณาทุกสามเดือน ผลจำลองให้ค่าสอดคล้องกับฤดูกาล นั่นคือ ฝนน้อยในฤดูหนาวหรือแล้งในทุกภาค ยกเว้นภาคใต้ (เนื่องจากอิทธิพลของมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่พัดผ่านอ่าวไทย) และฝนมากในช่วงฤดูฝนในทุกภาค การทำนายเกินจริงสูงสุดในภาคใต้ในทุกช่วงเวลาของปี (โดยเฉพาะในช่วง JJA ซึ่งสูงถึง 17 มม./วัน) รองลงมาคือ ภาคกลาง-ตะวันออก (ในช่วง JJA ซึ่งสูงถึง 10 มม./วัน) สำหรับภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่า การจำลองอยู่ในเกณฑ์ที่ดียอมรับได้ สำหรับการกระจายตัวของค่าฝนรายวัน มีความสอดคล้องกันทั้งจากค่าตรวจวัดและผลจำลอง โดยในภาคใต้และภาคกลาง-ตะวันออก มีขนาดมากกว่าภาคอื่นอย่างชัดเจนในทุกช่วงเวลา ยกเว้นภาคกลาง-ตะวันออกในช่วง DJF

แนวโน้มของอุณหภูมิและฝนในช่วงเวลาอดีตได้ถูกสรุปในตารางที่ 3.1 จะเห็นว่า อุณหภูมิเฉลี่ยจากค่าตรวจวัดมีแนวโน้มสูงขึ้นในทุกภาคด้วยขนาด $0.1-0.2^{\circ}C/10$ ปี (ตารางที่ 3.1) แนวโน้มของผลจำลองมีทิศทางสอดคล้องดีกับค่าตรวจวัด แต่ให้ค่าที่ต่ำกว่า ($0.0-0.1^{\circ}C/10$ ปี) สำหรับดัชนีสภาวะสุดขีดของอุณหภูมิ วันอากาศร้อนได้เพิ่มขึ้นทุกภาคและมีทิศทางสอดคล้องระหว่างค่าตรวจวัดและผลจำลอง แม้ว่ามีขนาดต่างกันไป โดยมีความการเปลี่ยนแปลง $3-5\%$ วัน/10 ปี (ค่าตรวจวัด) และ $1-2\%$ วัน/10 ปี (ผลจำลอง) วันอากาศเย็นได้ลดลงทุกภาคและสอดคล้อง มีขนาด 2% วัน/10 ปี (ค่าตรวจวัด) และ $0.5-3\%$ วัน/10 ปี (ผลจำลอง) คื่นอากาศอุ่นเพิ่มขึ้นทุกภาคและสอดคล้อง มีขนาด $4-5\%$ วัน/10 ปี (ค่าตรวจวัด) และ $1-3\%$ วัน/10 ปี (ผลจำลอง) คื่นอากาศหนาวลดลงทุกภาคและสอดคล้อง มีขนาด $4-5\%$ วัน/10 ปี (ค่าตรวจวัด) และ $1-3\%$ วัน/10 ปี (ผลจำลอง)

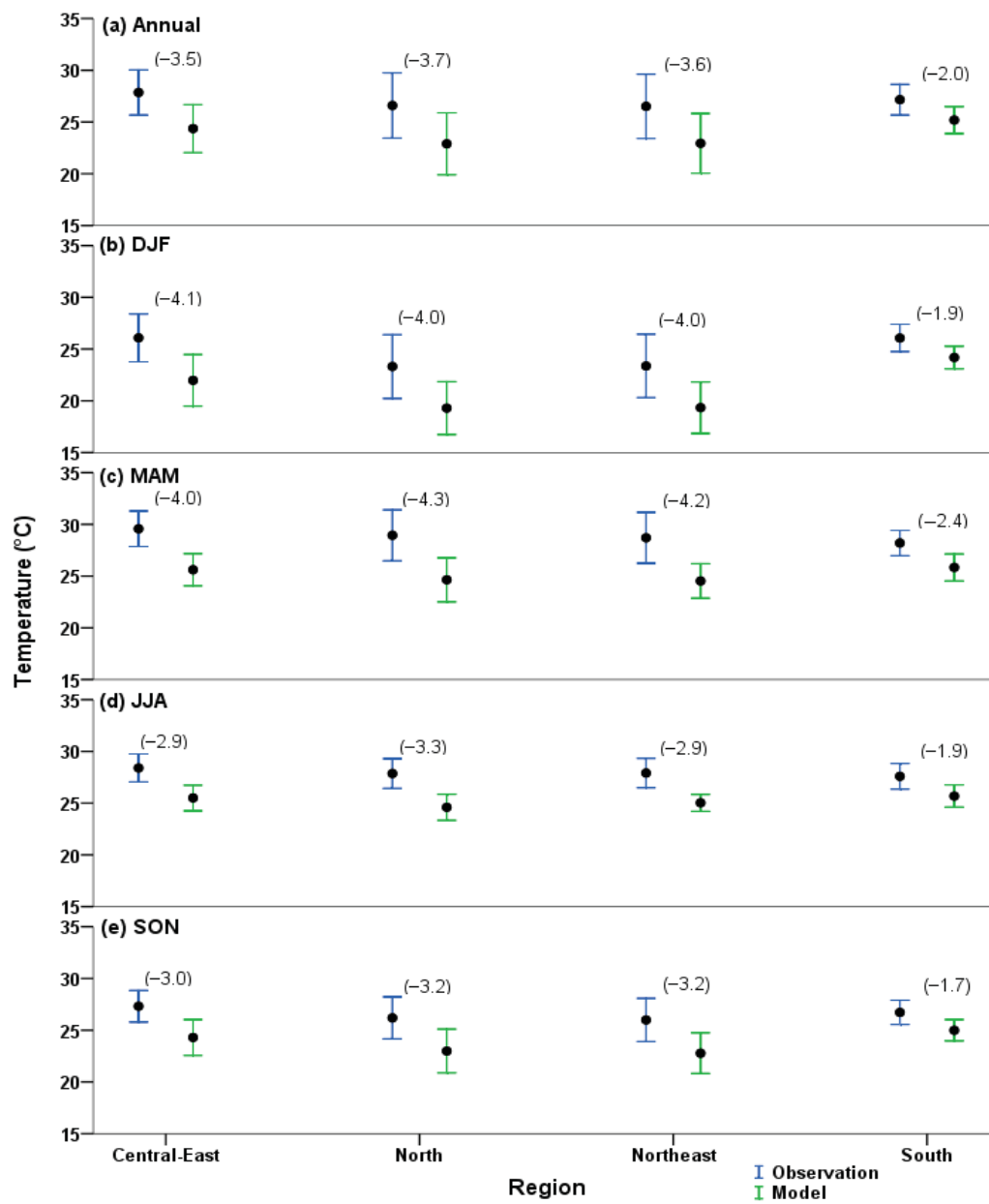
สำหรับแนวโน้มของฝน (ตารางที่ 3.1) จะเมื่อพิจารณาค่าตรวจวัด มีแนวโน้มลดลงทุกภาค ยกเว้นภาคกลาง-ตะวันออก โดยที่ผลจำลองมีทิศทางสอดคล้องในภาคกลาง-ตะวันออกและภาคใต้ แต่ขนาดการเปลี่ยนแปลงมีความแตกต่างชัดเจน เช่น 3 มม./10 ปี กับ 146 มม./10 ปี (สำหรับภาคกลาง-ตะวันออก) สำหรับดัชนีสภาวะสุดขีดของฝน วันมีฝนมากมีแนวโน้มลดลงในทุกภาค ($0-1$ วัน/10 ปี) ขณะที่ผลจำลองแสดงแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($0-3$ วัน/10 ปี) ยกเว้นภาคใต้ที่ลดลง (3 วัน/10 ปี) วันแห้งต่อเนื่องมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกภาค ($1-7$ วัน/10 ปี) ยกเว้น

ภาคใต้ที่ลดลง (1 วัน/10 ปี) โดยผลจำลองมีความสอดคล้องดีในระดับหนึ่ง แสดงแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกภาค (1-6 วัน/10 ปี) สำหรับวันเปียกต่อเนื่อง มีแนวโน้มทิศทางลดลงไปในแต่ละภาค โดยเพิ่มขึ้นในภาคกลาง-ตะวันออก (<1 วัน/10 ปี) แต่ภาคอื่นลดลง (0-1 วัน/10 ปี) โดยผลจำลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกภาค (1 วัน/10 ปี) ยกเว้น ภาคใต้ที่ลดลง (3 วัน/10 ปี) สำหรับฝนรวมของวันเปียกมาก โดยรวมแล้ว แนวโน้มมีทิศทางเหมือนกับฝนเฉลี่ย และค่าตรวจวัดกับผลจำลองมีความแตกต่างกันค่อนข้างมากในภาคกลาง-ตะวันออกและภาคใต้ เช่น 2 มม./10 ปี กับ 123 มม./10 ปี (สำหรับภาคกลาง-ตะวันออก)

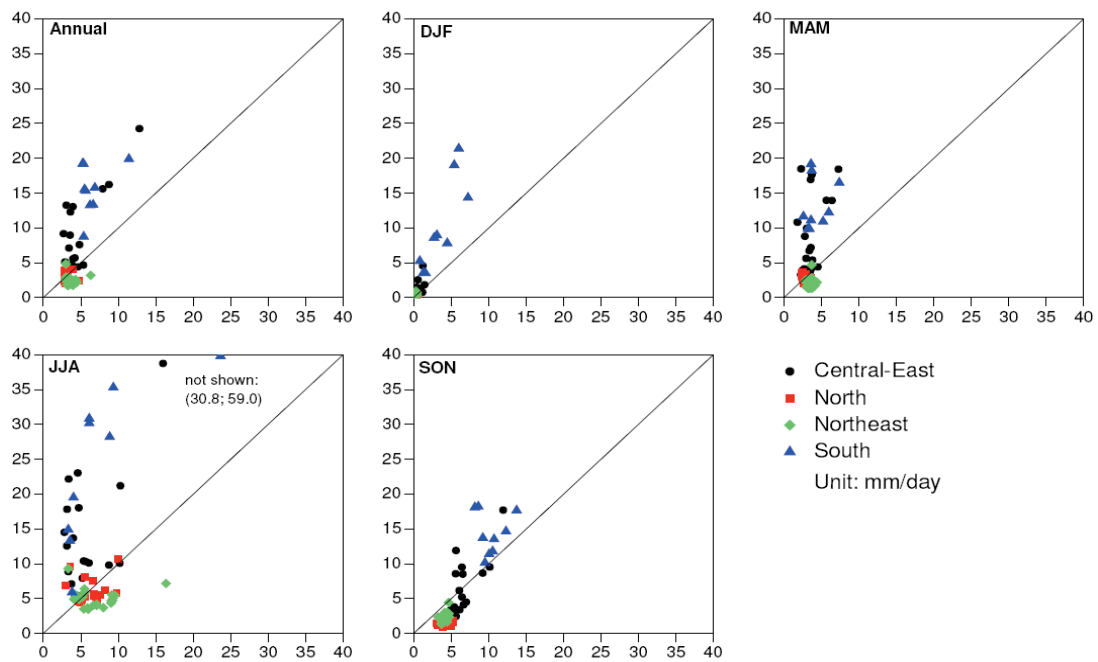
(เว้นว่างโดยเจตนา โปรดดูหน้าต่อไป)



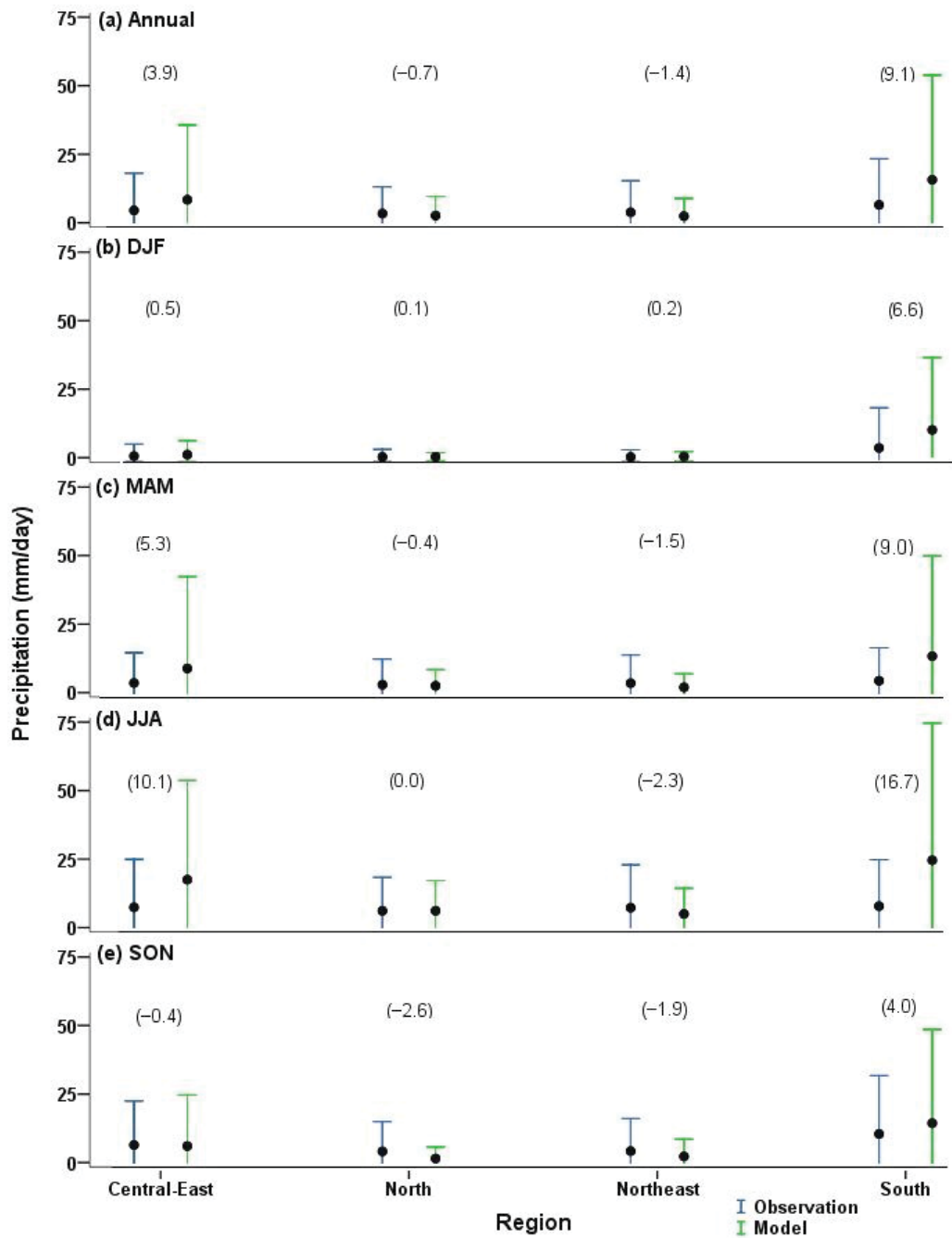
รูปที่ 3.1. อุณหภูมิเฉลี่ย 40 ปีในอดีต ของแต่ละสถานีตรวจวัด แสดงเฉลี่ยทั้งปีและทุกสามเดือน (แกน X คือ ค่าตรวจวัด, แกน Y คือ ค่าจำลอง, และจุดในภาพเป็นค่าของสถานีตรวจวัดแต่ละแห่ง)



รูปที่ 3.2. อุณหภูมิเฉลี่ย 40 ปีในอดีต รายภาค แสดงเฉลี่ยทั้งปีและทุกสามเดือน (สีน้ำเงิน คือ ค่าตรวจวัด, สีเขียว คือ ค่าจำลอง, บาร์แสดงช่วงเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย, และตัวเลขในวงเล็บแสดงความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย)



รูปที่ 3.3 ฝนเฉลี่ย 40 ปีในอดีต ของแต่ละสถานีตรวจวัด แสดงเฉลี่ยทั้งปีและทุกสามเดือน (แกน X คือ ค่าตรวจวัด, แกน Y คือ ค่าจำลอง, และจุดในภาพเป็นค่าของสถานีแต่ละแห่ง)



รูปที่ 3.4 ฝน เฉลี่ย 40 ปีในอดีต รายภาค แสดงเฉลี่ยทั้งปีและทุกสามเดือน
(สีน้ำเงิน คือ ค่าตรวจวัด, สีเขียว คือ ค่าจำลอง, บาร์แสดงช่วงเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย ซึ่งไม่ได้
ลากต่ำกว่าแกน X, ตัวเลขในวงเล็บเป็นค่าปป)

ตาราง 3.1 แนวโน้มของอุณหภูมิและฝนในช่วงเวลาอดีต 40 ปี รายภาค เปรียบเทียบระหว่างค่าตรวจวัด และค่าจำลอง (ค่าที่อยู่ในวงเล็บ คือ p-value)

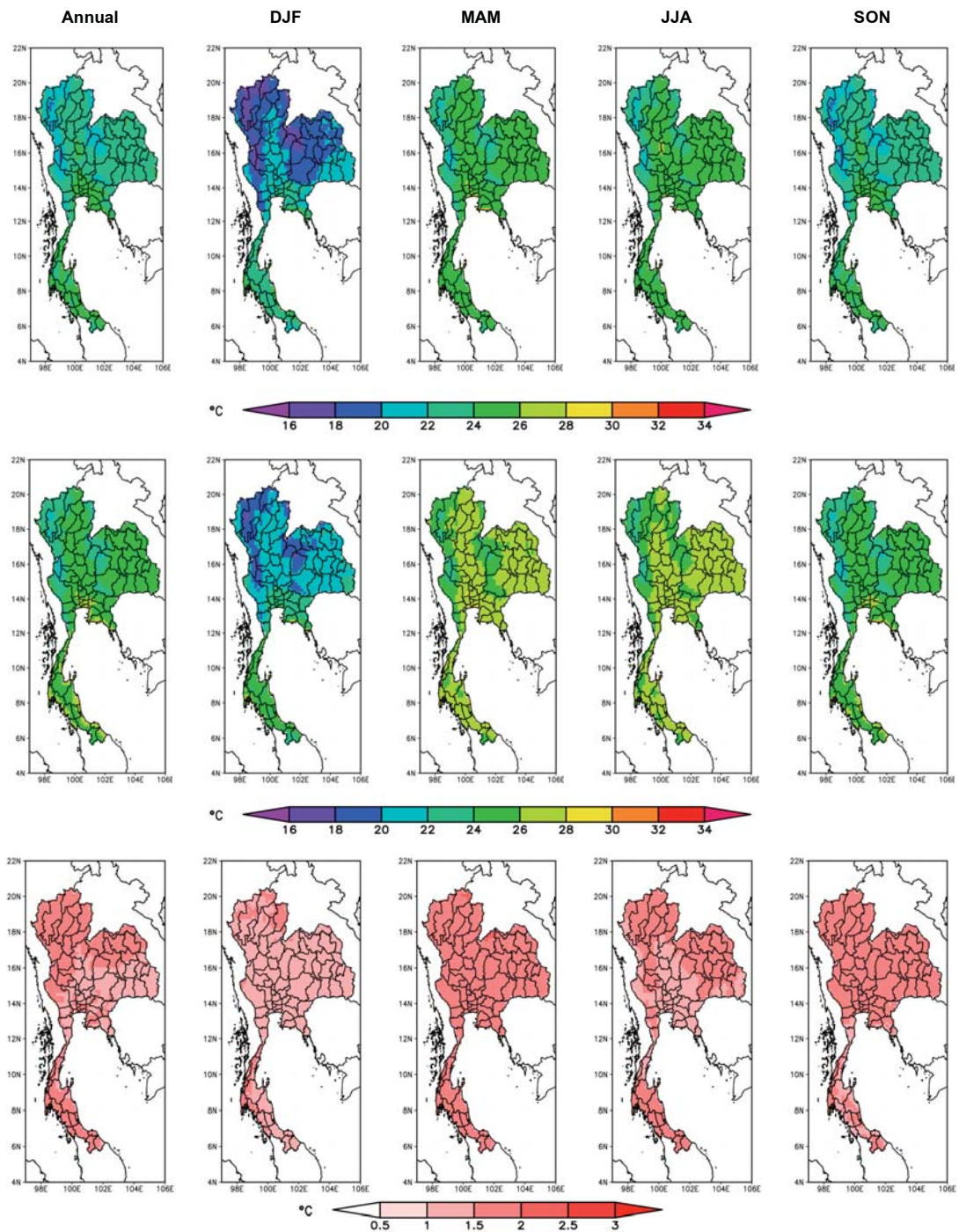
ดัชนี	หน่วย	ที่มา	ภาค			
			กลาง- ตะวันออก	เหนือ	ตะวันออกเฉียง เหนือ	ใต้
อุณหภูมิเฉลี่ย	°C/ปี × 10	ตรวจวัด	0.2 (<0.01)	0.1 (0.03)	0.2 (0.01)	0.2 (<0.01)
		จำลอง	0.0 (0.56)	0.1 (0.27)	0.1 (0.26)	0.1 (0.03)
TX90p	% วัน/ปี × 10	ตรวจวัด	4.9 (<0.01)	3.8 (<0.01)	2.9 (<0.01)	4.6 (<0.01)
		จำลอง	1.1 (0.35)	0.9 (0.40)	1.2 (0.20)	2.2 (0.06)
TX10p	% วัน/ปี × 10	ตรวจวัด	-2.4 (<0.01)	-1.9 (<0.01)	-1.7 (<0.01)	-1.8 (0.04)
		จำลอง	-0.4 (0.58)	-0.4 (0.50)	-0.4 (0.51)	-2.5 (<0.01)
TN90p	% วัน/ปี × 10	ตรวจวัด	4.3 (<0.01)	3.5 (<0.01)	3.5 (<0.01)	4.5 (<0.01)
		จำลอง	1.4 (0.36)	1.9 (0.15)	1.7 (0.22)	2.8 (0.12)
TN10p	% วัน/ปี × 10	ตรวจวัด	-3.5 (<0.01)	-4.0 (<0.01)	-3.5 (<0.01)	-4.7 (<0.01)
		จำลอง	-0.8 (0.52)	-1.6 (0.15)	-1.4 (0.27)	-2.6 (0.07)
ฝนเฉลี่ย	มม./ปี × 10	ตรวจวัด	2.9 (0.93)	-38.8 (0.15)	-3.2 (0.90)	-22.3 (0.66)
		จำลอง	146.0 (0.06)	5.0 (0.83)	13.5 (0.56)	-226.2 (0.05)
R10mm	วัน/ปี × 10	ตรวจวัด	-0.3 (0.71)	-1.1 (0.15)	-0.1 (0.86)	-0.2 (0.84)
		จำลอง	2.8 (0.12)	0.3 (0.67)	0.7 (0.35)	-3.0 (0.11)
CDD	วัน/ปี × 10	ตรวจวัด	2.8 (0.37)	7.0 (0.13)	0.7 (0.87)	-1.2 (0.60)
		จำลอง	3.2 (0.14)	3.9 (0.21)	5.5 (0.03)	1.1 (<0.01)
CWD	วัน/ปี × 10	ตรวจวัด	0.1 (0.65)	-0.4 (0.06)	-0.3 (0.06)	-0.8 (0.03)
		จำลอง	0.9 (0.77)	0.5 (0.82)	1.0 (0.57)	-3.0 (0.38)
R95p	มม./ปี × 10	ตรวจวัด	1.7 (0.92)	-12.4 (0.27)	-3.7 (0.77)	12.2 (0.69)
		จำลอง	122.5 (0.02)	7.3 (0.66)	18.3 (0.28)	-149.8 (0.07)

3.2 อุณหภูมิเฉลี่ยและฝนเฉลี่ยในอนาคต

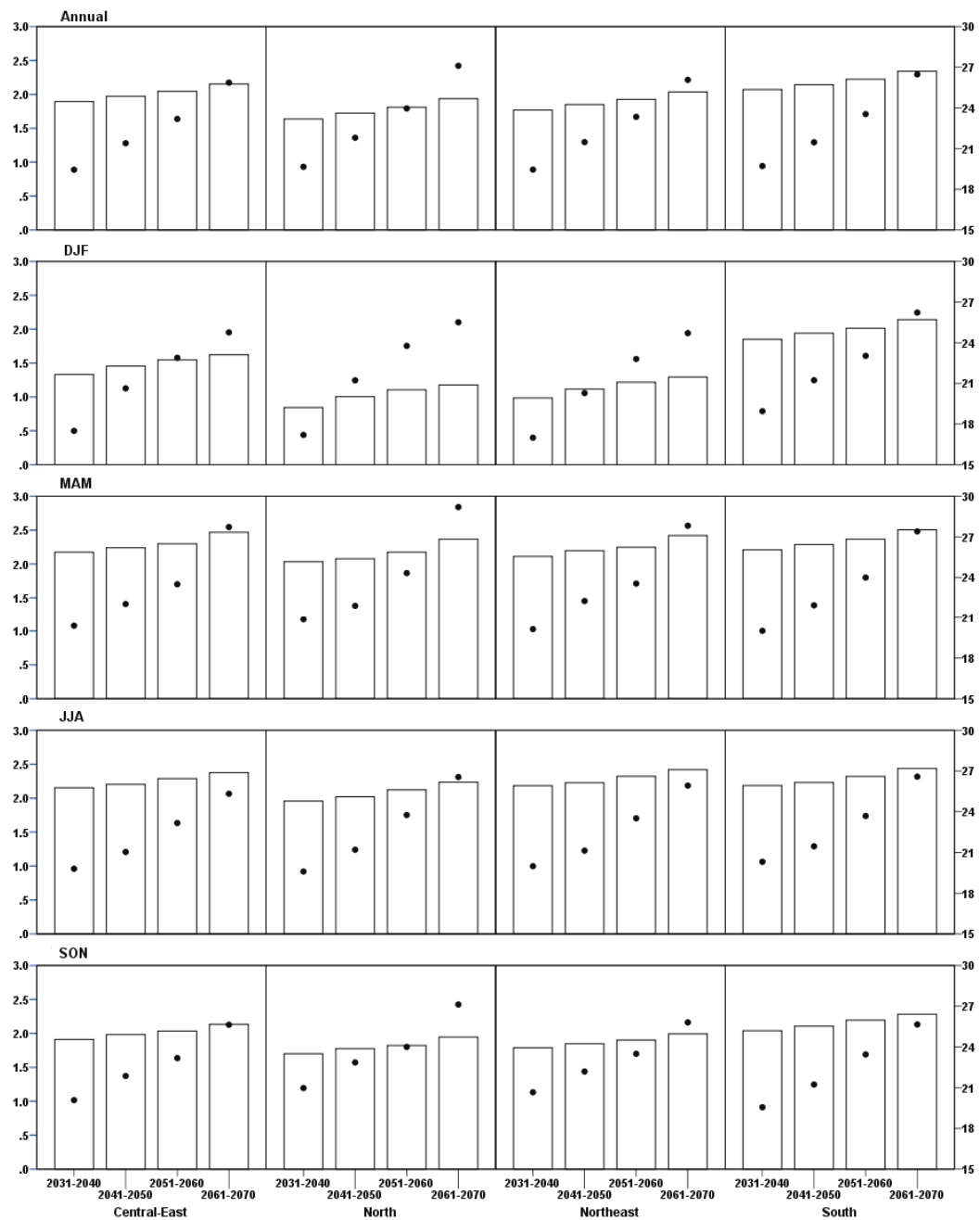
เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ย 40 ปีในช่วงเวลาอดีตและอนาคต พบว่า รูปแบบการกระจายเชิงพื้นที่ของอุณหภูมิในแต่ละภาคและในช่วงเวลาต่างๆ ของปีมีความคล้ายคลึงกันสำหรับสองช่วงเวลาในอดีตและอนาคต (รูปที่ 3.5) โดยช่วง MAM และ JJA อากาศจะอุ่นกว่าช่วงเดือนอื่น ในช่วงเวลาอนาคต ประเทศไทยจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นทั่วประเทศหรือทุกภาคประมาณ $<1-3^{\circ}\text{C}$ และเมื่อพิจารณาเฉลี่ยทั้งปี ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน บางพื้นที่ในภาคกลาง-ตะวันออก และภาคใต้ จะเป็นพื้นที่ที่มีอากาศอุ่นมากกว่าพื้นที่อื่นๆ ของประเทศ ในช่วง MAM และ SON พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศมีขนาดอุณหภูมิสูงขึ้นใกล้เคียงกัน แนวโน้มอุณหภูมิมีทิศทางเพิ่มขึ้นตลอดทุกทศวรรษในอนาคตและพบได้ในทุกภาค (รูปที่ 3.6)

สำหรับฝนเฉลี่ย พบว่า รูปแบบการกระจายเชิงพื้นที่ของฝนในแต่ละภาคและช่วงเวลาต่างๆ ของปีก็มีความคล้ายคลึงกันสำหรับสองช่วงเวลาในอดีตและอนาคต (รูปที่ 3.7) เมื่อเปรียบเทียบอดีตและอนาคต พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไม่ได้รับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนเท่าไร ยกเว้นภาคใต้ ซึ่งจะมีฝนน้อยลงไป 3-5 มม./วัน เมื่อพิจารณาช่วงเวลาทุกสามเดือน พบว่า มีบางพื้นที่ที่ประปรายที่มีฝนเพิ่มขึ้นประมาณ 1-2 มม./วัน เช่น ภาคกลางตอนล่างติดภาคใต้ในช่วง SON สำหรับแนวโน้มฝนตามทศวรรษในอนาคตของภาคต่างๆ จะมีลักษณะคงที่โดยประมาณ (ไม่ได้เพิ่มขึ้นหรือลดลงมากแต่อย่างไร) ยกเว้นภาคใต้ ที่มีทิศทางเพิ่มขึ้นในช่วงทศวรรษแรก (พ.ศ. 2574-2583 หรือ ค.ศ. 2031-2040) แล้วลดลงต่อมา (รูปที่ 3.8) และภาคกลาง-ตะวันออกในช่วง JJA มีทิศทางเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะทศวรรษสุดท้าย

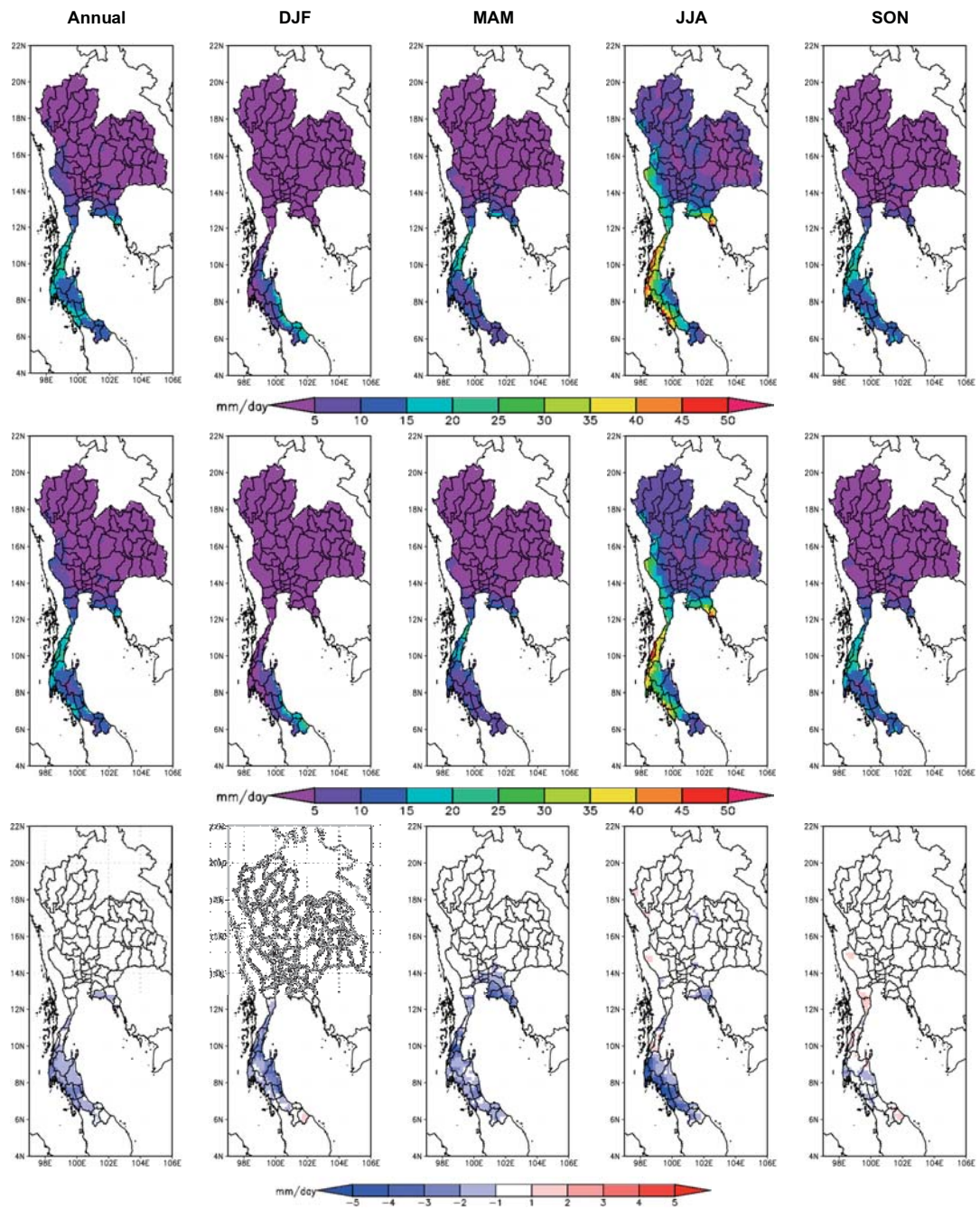
(เว้นว่างโดยเจตนา โปรดดูหน้าต่อไป)



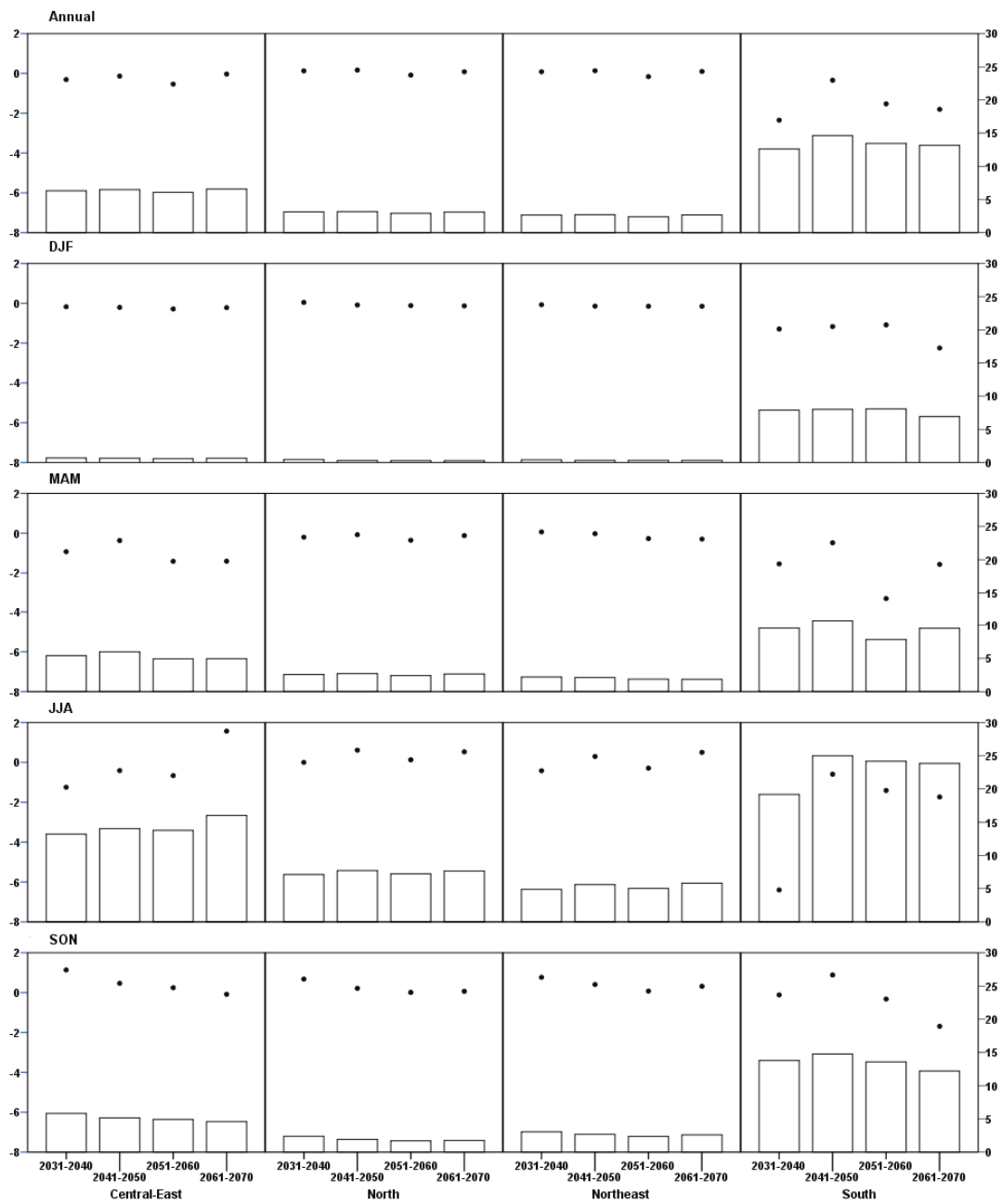
รูปที่ 3.5 แผนที่เฉลี่ย 40 ปีในอดีตของอุณหภูมิ (บน) แผนที่เฉลี่ย 40 ปีในอนาคตของอุณหภูมิ (กลาง), และผลต่างของสองแผนที่ (อนาคต-อดีต) แสดงเฉลี่ยทั้งปีและทุกสามเดือน (ล่าง) แสดงเฉลี่ยทั้งปีและทุกสามเดือน



รูปที่ 3.6 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเฉลี่ยทุกสิบปีในอนาคตเทียบกับค่าเฉลี่ยรวม 40 ปีในอดีต (จุดใช้กับแกน Y ซ้าย) และอุณหภูมิเฉลี่ยทุกสิบปีในอนาคต (บาร์ใช้กับแกน Y ขวา) แสดงเฉลี่ยทั้งปีและทุกสามเดือน (หน่วย °C)



รูปที่ 3.7 แผนที่เฉลี่ย 40 ปีในอดีตของฝน (บน), แผนที่เฉลี่ย 40 ปีในอนาคตของฝนรายวัน (กลาง), และผลต่างของสองแผนที่ (อนาคต-อดีต) (ล่าง) แสดงเฉลี่ยทั้งปีและทุกสามเดือน



รูปที่ 3.8 การเปลี่ยนแปลงของฝนเฉลี่ยทุกสิบปีในอนาคตเทียบกับค่าเฉลี่ย 40 ปีในอดีต (จุดใช้กับแกน Y ซ้าย) และฝนเฉลี่ยทุกสิบปีในอนาคต (บาร์ใช้กับแกน Y ขวา) แสดงเฉลี่ยทั้งปีและทุกสามเดือน (หน่วย มม./วัน)

3.3 ดัชนีสภาวะสุดขีดของอุณหภูมิในอนาคต

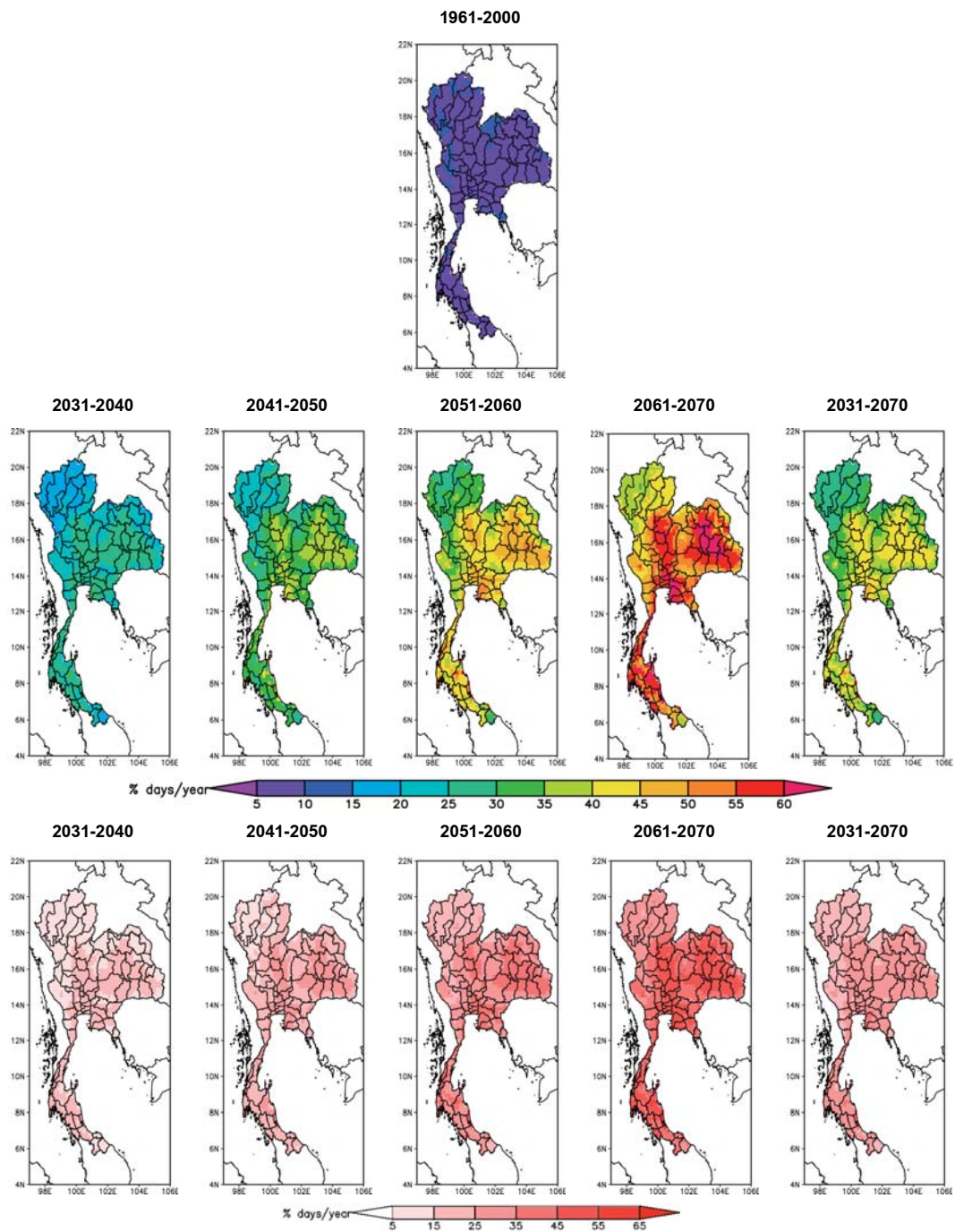
สำหรับวันอากาศร้อน (TX90p) (รูปที่ 3.9) ผลจำลองแสดงการเพิ่มขึ้นของวันดังกล่าวตามทศวรรษในอนาคตในทุกภาค เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ย 40 ปีในอนาคต ภาคเหนือและส่วนตะวันตกของประเทศไทยจะเพิ่มขึ้นน้อยกว่าพื้นที่อื่นของประเทศ และเมื่อพิจารณาเป็นรายทศวรรษ ก็ได้ผลในทำนองเดียวกันที่ว่า ภาคเหนือได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศสำหรับดัชนีนี้้น้อยกว่าภาคอื่นๆ โดยที่ทศวรรษสุดท้าย (พ.ศ. 2604-2613 หรือ ค.ศ. 2061-2070) ประเทศไทยจะมีพื้นที่จำนวนมากที่มีวันอากาศร้อนมากกว่า 50% (ของวันในหนึ่งปี) เมื่อเทียบกับ 40 ปีในอดีตซึ่งมีเพียง 5-15% เท่านั้น

สำหรับวันอากาศเย็น (TX10p) (รูปที่ 3.10) ทิศทางจะเป็นไปตรงข้ามกับวันอากาศร้อน โดยมีจำนวนวันอากาศเย็นลดลงต่อเนื่องตามทศวรรษ เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ย 40 ปีในอนาคต พื้นที่ส่วนใหญ่ไม่รวมภาคเหนือจะมีจำนวนวันอากาศเย็นเหลือเพียงแค่ 2-4 % เมื่อเทียบกับ 40 ปีในอดีตซึ่งมี >10% สำหรับภาคเหนือนั้น การเปลี่ยนแปลงจะน้อยกว่าพื้นที่อื่น ดังนั้น ภาคเหนือได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศสำหรับดัชนีนี้น้อยกว่าภาคอื่นๆ

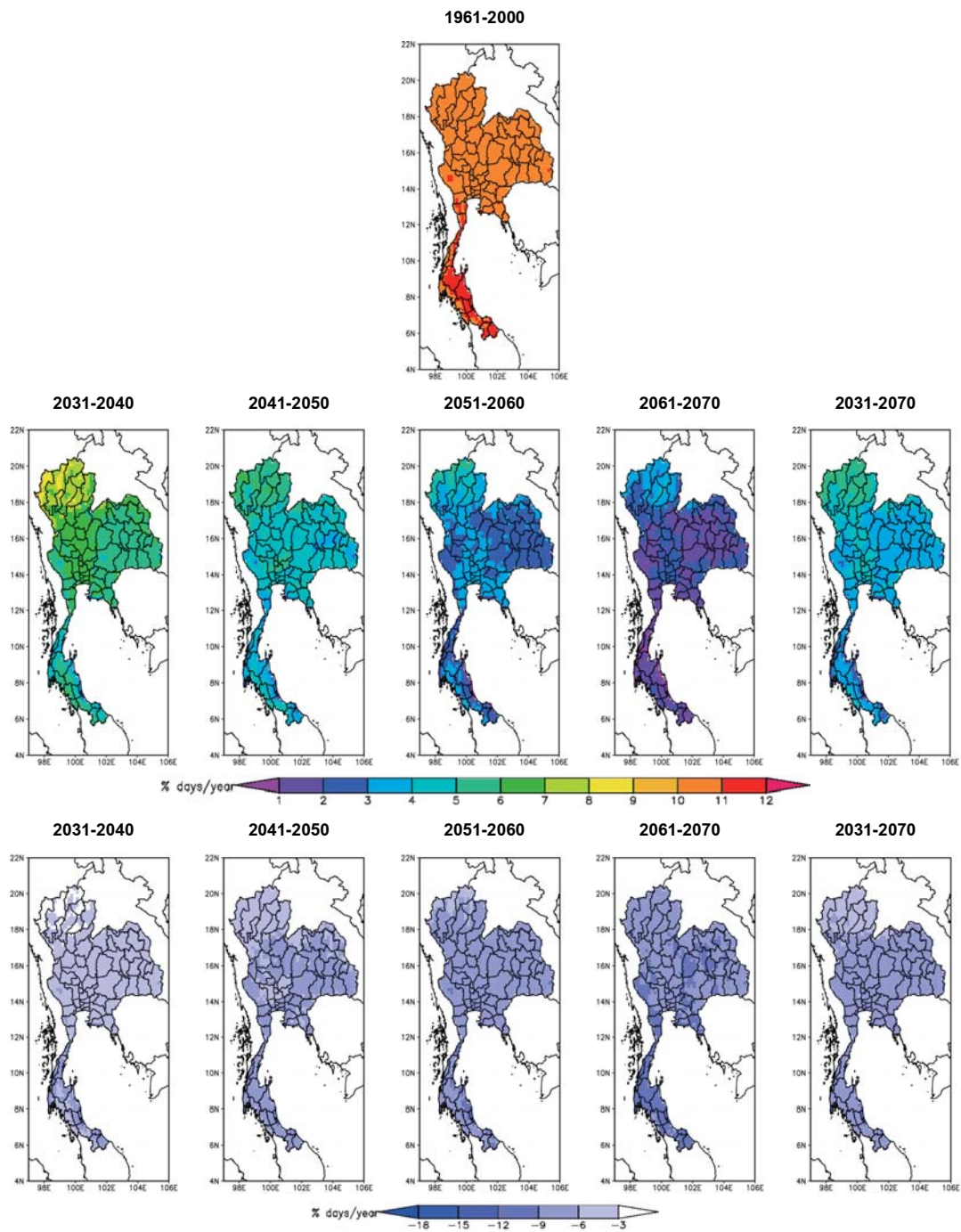
สำหรับคืนอากาศอุ่น (TN90p) (รูปที่ 3.11) ทิศทางจะสอดคล้องโดยตรงกับวันอากาศร้อน ซึ่งคือ มีจำนวนวันดังกล่าวเพิ่มขึ้นตามทศวรรษทั่วประเทศ โดยจะเริ่มชัดเจนจากภาคใต้และภาคตะวันออกเฉียงเหนือในทศวรรษแรกและขยายครอบคลุมทั่วประเทศในทศวรรษสุดท้ายซึ่งมีมากถึง 45-60% ขณะที่ 40 ปีในอดีต ทั่วประเทศไทยมีเพียงแค่ 5-10% เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ย 40 ปีในอนาคต ภาคเหนือ ส่วนตะวันตกของประเทศไทย และภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศสำหรับดัชนีนี้น้อยกว่าภาคอื่นๆ

สำหรับคืนอากาศหนาว (TN10p) (รูปที่ 3.12) ทิศทางมีความใกล้เคียงกับวันอากาศเย็นในแง่ที่ว่าจำนวนวันดังกล่าวมีแนวโน้มลดลงตามทศวรรษในทุกภาค เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ย 40 ปีในอนาคต พื้นที่ในภาคใต้และส่วนตะวันตกของประเทศไทยจะมีจำนวนคืนอากาศหนาวเพียงแค่ 1-2% ขณะที่พื้นที่อื่นมี 2-5% และเมื่อเทียบกับ 40 ปีในอดีตซึ่งมีประมาณ >10% เกือบทั่วประเทศ และเมื่อพิจารณาทศวรรษสุดท้ายในอนาคต พบว่า เกือบทั่วประเทศมีวันดังกล่าวเหลือเพียงแค่ 1-2%

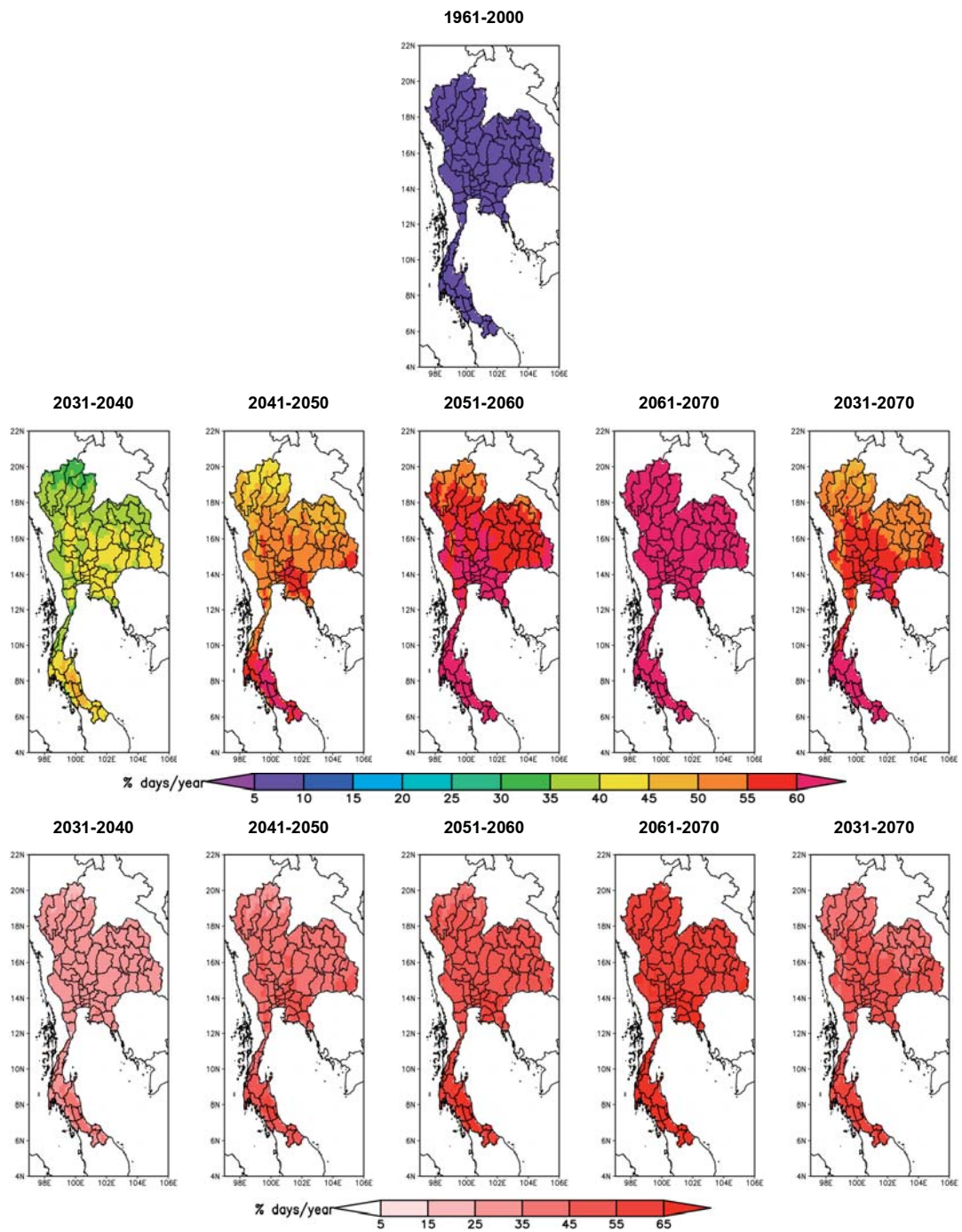
(เว้นว่างโดยเจตนา โปรดดูหน้าต่อไป)



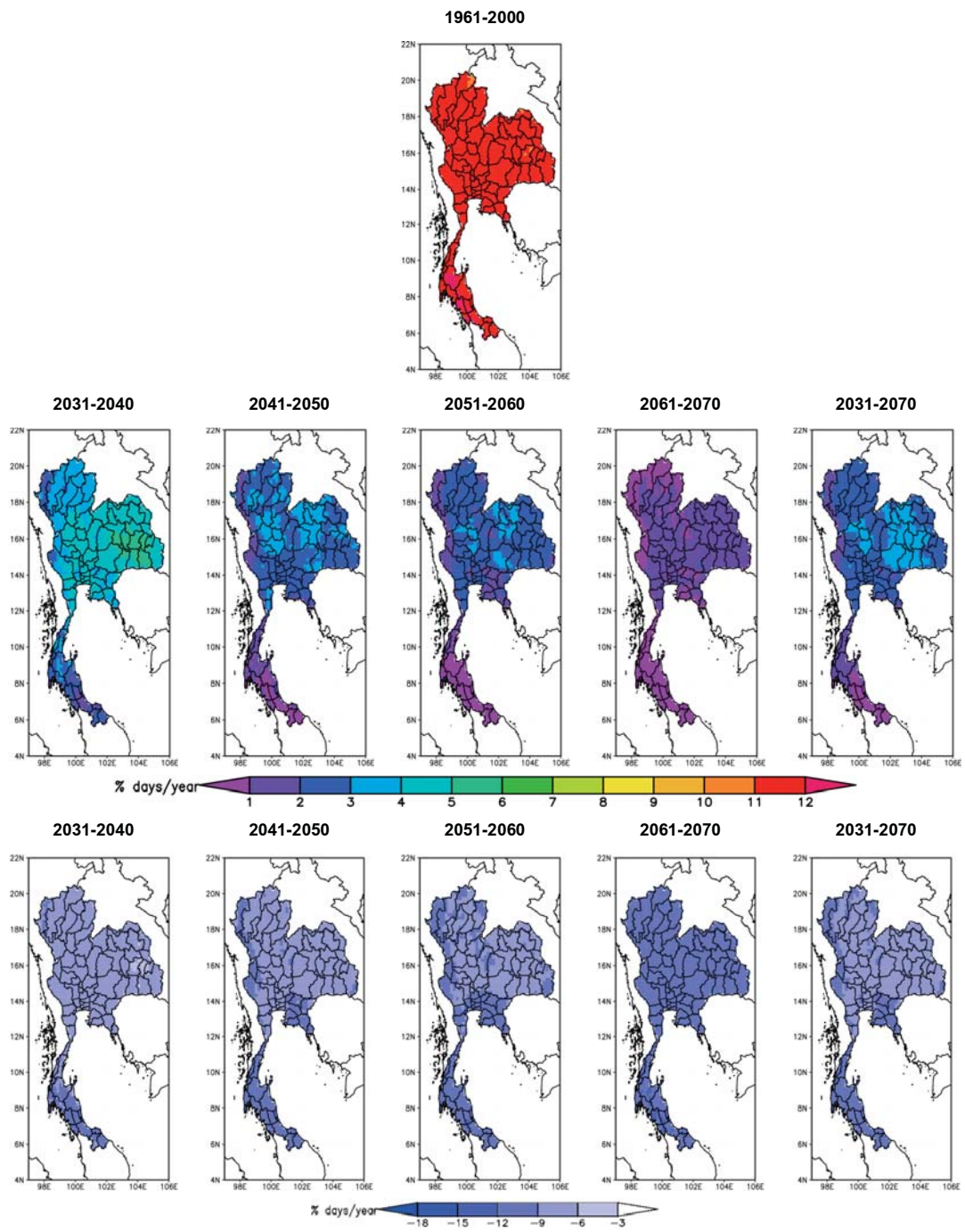
รูปที่ 3.9 TX90p เฉลี่ย 40 ปีในอดีต (บน), เฉลี่ยทุก 10 ปีในอนาคต (กลาง), และผลต่างของแผนที่ทุก 10 ปี
ในอนาคตเทียบกับค่าเฉลี่ย 40 ปีในอดีต (ล่าง)



รูปที่ 3.10 TX10p เฉลี่ย 40 ปีในอดีต (บน), เฉลี่ยทุก 10 ปีในอนาคต (กลาง), และผลต่างของแผนที่ทุก 10 ปี
ในอนาคตเทียบกับค่าเฉลี่ย 40 ปีในอดีต (ล่าง)



รูปที่ 3.11 TN90p เฉลี่ย 40 ปีในอดีต (บน), เฉลี่ยทุก 10 ปีในอนาคต (กลาง), และผลต่างของแผนที่ทุก 10 ปี
ในอนาคตเทียบกับค่าเฉลี่ย 40 ปีในอดีต (ล่าง)



รูปที่ 3.12 TN10p เฉลี่ย 40 ปีในอดีต (บน), เฉลี่ยทุก 10 ปีในอนาคต (กลาง), และผลต่างของแผนที่ทุก 10 ปี
ในอนาคตเทียบกับค่าเฉลี่ย 40 ปีในอดีต (ล่าง)

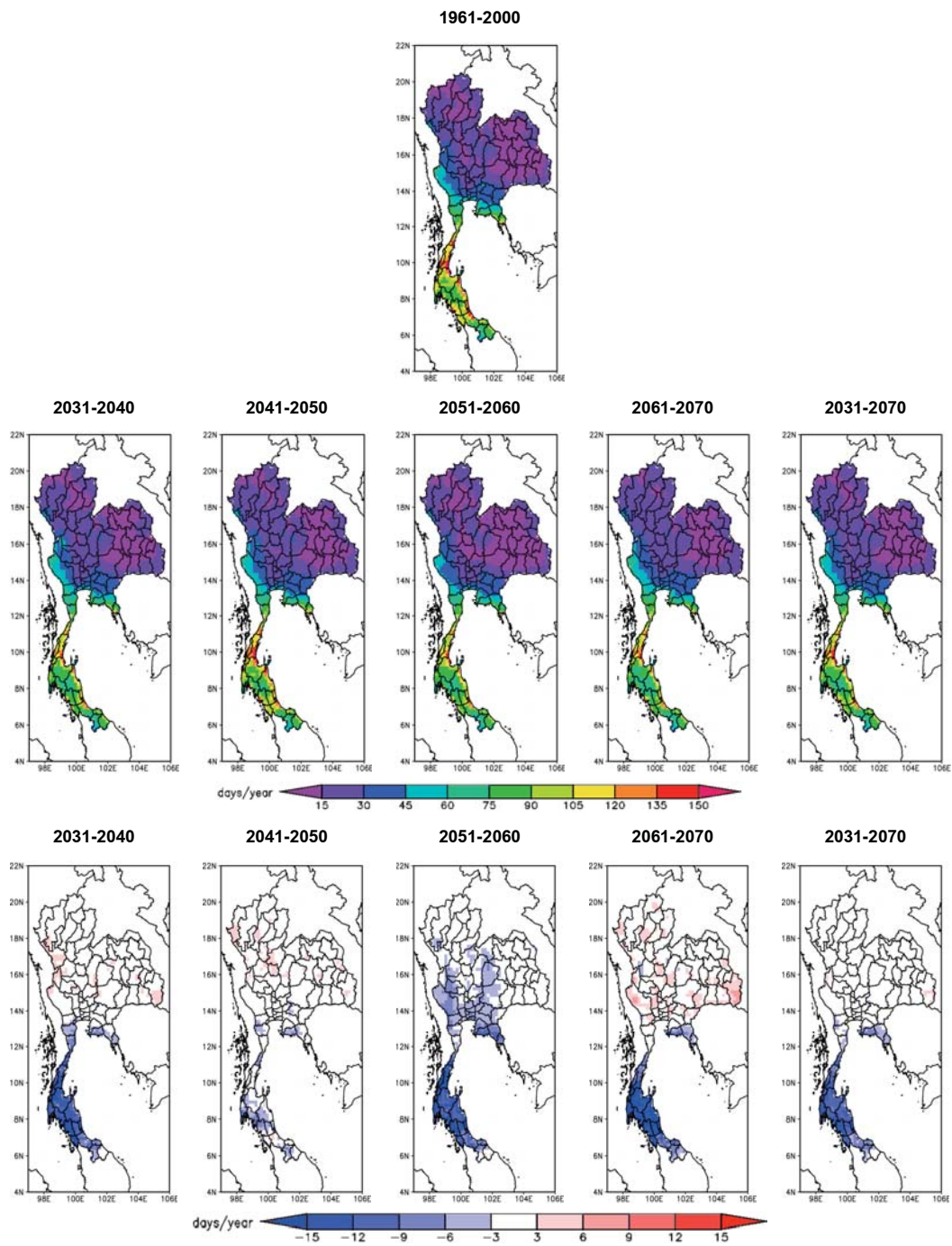
3.4 ดัชนีสภาวะสุดขีดของฝนในอนาคต

สำหรับวันมีฝนมาก (R10mm) (รูปที่ 3.13) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย 40 ปีในอดีตและอนาคต ไม่พบว่าการเปลี่ยนแปลงในภาคต่างๆ ของประเทศ ยกเว้นภาคใต้และภาคตะวันออก ซึ่งมีวันดังกล่าวลดลงไป 3-15 วัน (ในหนึ่งปี) และ 3-9 วัน ตามลำดับ จำนวนวันดังกล่าวมีการผันแปรตามทศวรรษ ทศวรรษที่สองมีขนาดการเปลี่ยนแปลงน้อยเมื่อเทียบกับทศวรรษอื่น ขณะที่ทศวรรษที่สาม วันมีฝนมากได้ลดลงไม่ใช่เฉพาะภาคใต้และขยายขึ้นไปที่ภาคกลาง-ตะวันออกและภาคตะวันออกเฉียงเหนือฝั่งตะวันตก ในทศวรรษสุดท้าย มีพื้นที่ย่อยกระจายหลายแห่งที่มีวันดังกล่าวเพิ่มขึ้น (3-9 วัน)

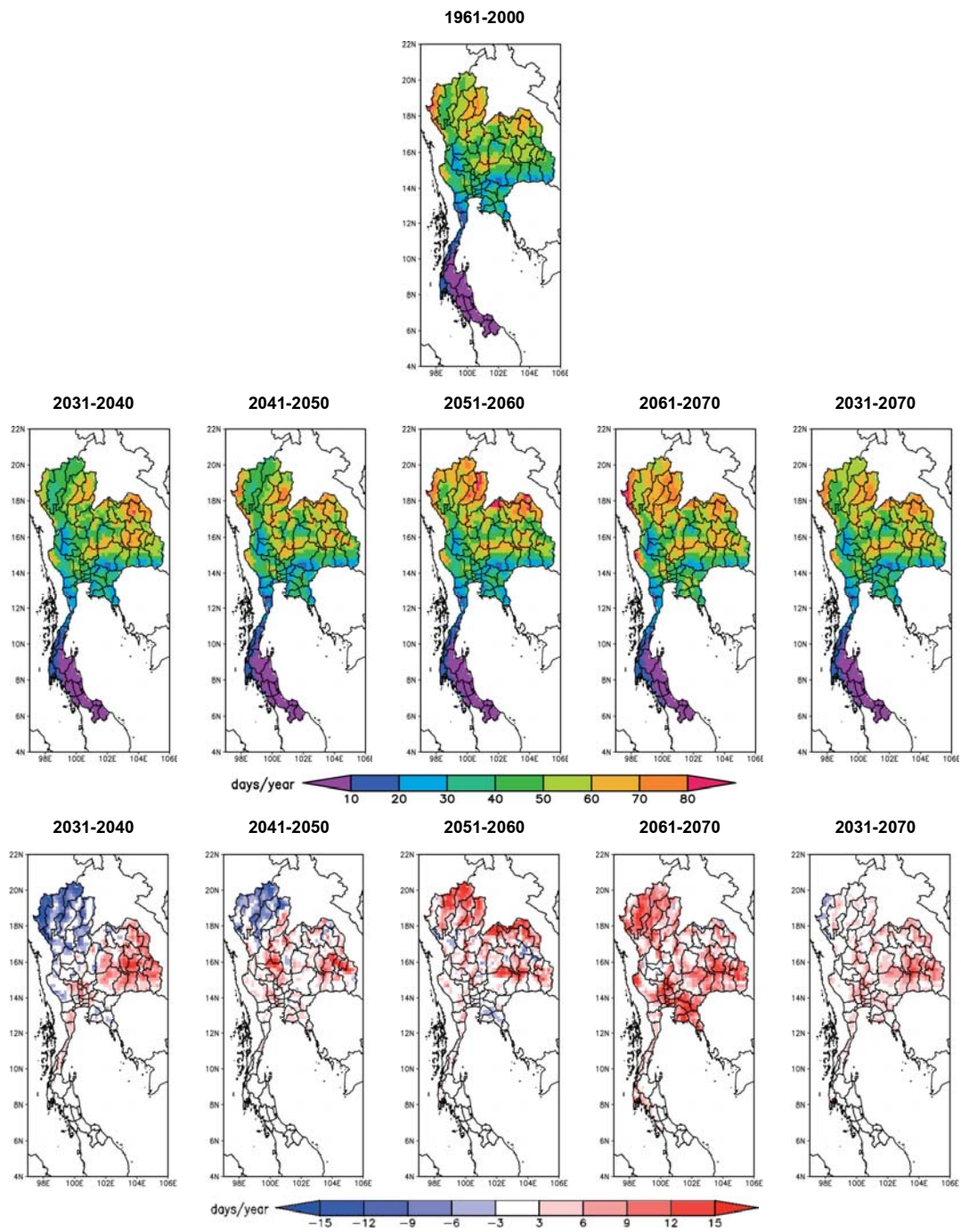
สำหรับวันแห้งต่อเนื่อง (CDD) (รูปที่ 3.14) เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ย 40 ปีในอดีตและอนาคต พบว่า ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีพื้นที่ซึ่งมีวันดังกล่าวเพิ่มขึ้นมาก (9-15 วัน) โดยเฉพาะตอนกลางของภาค ส่วนภาคอื่นก็มีการเพิ่มขึ้นแต่เป็นลักษณะพื้นที่ย่อยกระจุกกระจาย ในภาคใต้ไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงเท่าไร สำหรับภาคเหนือฝั่งตะวันตก วันดังกล่าวได้ลดลงเล็กน้อย (3-6 วัน) เมื่อพิจารณาตามทศวรรษ จะเห็นว่า ในสองทศวรรษแรก พื้นที่ส่วนใหญ่ของภาคเหนือมีวันดังกล่าวลดลง (6-15 วัน) แต่ได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในสองทศวรรษสุดท้าย เช่นเดียวกับภาคกลาง-ตะวันออกและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งได้เพิ่มขึ้นมากในทศวรรษสุดท้าย

สำหรับวันเปียกต่อเนื่อง (CWD) (รูปที่ 3.15) ค่าเฉลี่ย 40 ปีในอดีตและอนาคตไม่ได้แตกต่างกันมากในทุกภาค ยกเว้นภาคใต้ ซึ่งจะลดลง (4-20 วัน) ส่วนพื้นที่อื่น เป็นลักษณะพื้นที่ย่อยกระจุกกระจาย บ้างเพิ่มขึ้นหรือบ้างลดลงแต่ก็ไม่มาก เมื่อพิจารณาตามทศวรรษ ทศวรรษที่สองมีลักษณะแตกต่างจากทศวรรษอื่นในแง่ที่ว่า พื้นที่ประปรายจำนวนมากตั้งแต่ภาคกลางขึ้นไปและภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีวันเปียกต่อเนื่องเพิ่มขึ้น

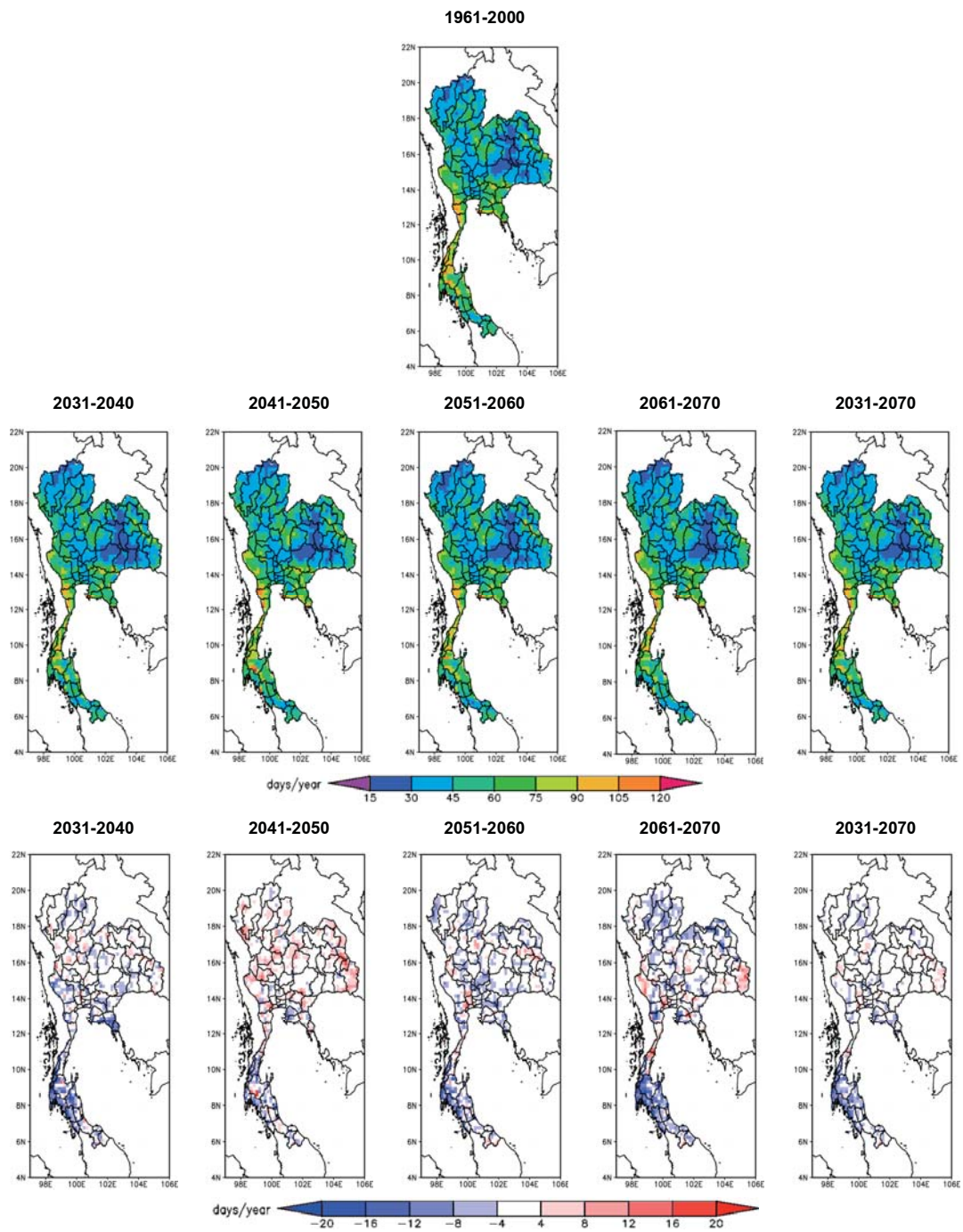
สำหรับฝนรวมของวันเปียกมาก (R95p) (รูปที่ 3.16) ลักษณะการกระจายตัวเชิงพื้นที่มีความใกล้เคียงกับวันมีฝนมาก โดยค่าเฉลี่ย 40 ปีในอดีตและอนาคตไม่ได้แตกต่างกันมากในทุกภาค ยกเว้นภาคใต้และภาคตะวันออก ซึ่งปริมาณฝนดังกล่าวได้ลดลงไป 100-500 มม. ฝนรวมดังกล่าวมีการผันแปรตามทศวรรษ โดยทศวรรษที่สาม ได้ลดลงในภาคใต้ ภาคกลาง-ตะวันออกด้วย และภาคตะวันออกเฉียงเหนือฝั่งตะวันตก สำหรับทศวรรษสุดท้าย มีปริมาณฝนดังกล่าวเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในพื้นที่ฝั่งตะวันตกของประเทศประมาณ 100-500 มม.



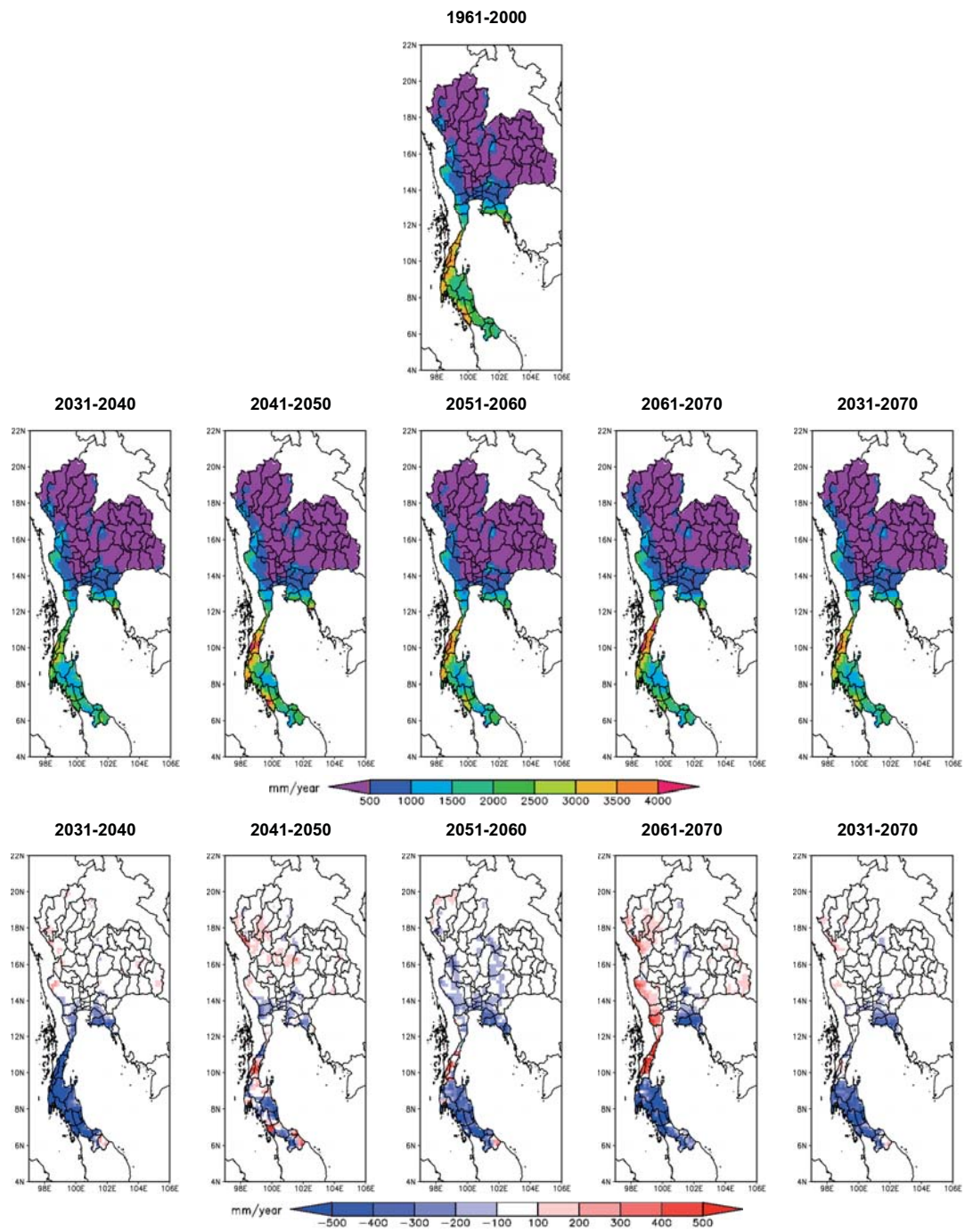
รูปที่ 3.13 R10mm เฉลี่ย 40 ปีในอดีต (บน), เฉลี่ยทุก 10 ปีในอนาคต (กลาง), และผลต่างของแผนที่ทุก 10 ปีในอนาคตเทียบกับค่าเฉลี่ย 40 ปีในอดีต (ล่าง)



รูปที่ 3.14 CDD เฉลี่ย 40 ปีในอดีต (บน), เฉลี่ยทุก 10 ปีในอนาคต (กลาง), และผลต่างของแผนที่ทุก 10 ปี
ในอนาคตเทียบกับค่าเฉลี่ย 40 ปีในอดีต (ล่าง)



รูปที่ 3.15 CWD เฉลี่ย 40 ปีในอดีต (บน), เฉลี่ยทุก 10 ปีในอนาคต (กลาง), และผลต่างของแผนที่ทุก 10 ปี
ในอนาคตเทียบกับค่าเฉลี่ย 40 ปีในอดีต (ล่าง)



รูปที่ 3.16 R95p เฉลี่ย 40 ปีในอดีต (บน), เฉลี่ยทุก 10 ปีในอนาคต (กลาง), และผลต่างของแผนที่ทุก 10 ปี
ในอนาคตเทียบกับค่าเฉลี่ย 40 ปีในอดีต (ล่าง)

บทที่ 4

สรุปและข้อเสนอแนะ

4.1 สรุป

โครงการวิจัยนี้ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของอุณหภูมิและฝน โดยใช้แบบจำลอง RegCM3 ซึ่งเป็นแบบจำลองสภาพภูมิอากาศในระดับภูมิภาค การจำลองได้ครอบคลุมทั่วประเทศไทยโดยให้ความละเอียดกริดเซลล์ 20 กม. และพิจารณาสภาพภูมิอากาศในอดีต 40 ปี (พ.ศ. 2504-2543 หรือ ค.ศ. 1961-2000) และอนาคต 40 ปี (พ.ศ. 2574-2613 หรือ ค.ศ. 2031-2070) ภายใต้ภาพฉาย A1B ของ IPCC ผลที่สำคัญที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้สามารถสรุปได้ดังนี้

1. แบบจำลองประสบปัญหาในการทำนายอุณหภูมิเฉลี่ยทุกภาคของประเทศ ซึ่งต่ำกว่าความเป็นจริงค่อนข้างมาก (Systematic Underestimation) ในทุกภาค ยกเว้นภาคใต้ ในหลายพื้นที่ ต่ำกว่าที่เป็นจริงถึง 4°C อย่างไรก็ตาม แบบจำลองสามารถแสดงความผันแปรเชิงฤดูและการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของอุณหภูมิและฝนได้อย่างสอดคล้องและยอมรับได้เมื่อเทียบกับสภาพจริงในทุกภาค สำหรับฝนเฉลี่ย ได้ทำนายเกินจริงในภาคใต้และภาคกลาง-ตะวันออก และต่ำกว่าจริงในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
2. ในช่วงเวลาอดีต แนวโน้มของอุณหภูมิเฉลี่ยและดัชนีสภาวะสุดขีดของอุณหภูมิที่ได้จากการจำลองมีความสอดคล้องกับค่าตรวจวัด แต่ขนาดมีความแตกต่างกันไปตามแต่ละตัวแปร ในกรณีของวันอากาศร้อนได้เพิ่มขึ้นทุกภาค วันอากาศเย็นได้ลดลงทุกภาค คีนาอากาศอุ่นเพิ่มขึ้นทุกภาค และคีนอากาศหนาวลดลงทุกภาค
3. ในช่วงเวลาอดีต แนวโน้มของฝนเฉลี่ยจากค่าตรวจวัด มีแนวโน้มลดลงทุกภาค ยกเว้นภาคกลาง-ตะวันออก โดยที่ผลจำลองมีทิศทางสอดคล้องในภาคกลาง-ตะวันออกและภาคใต้ แต่ขนาดการเปลี่ยนแปลงมีความแตกต่างชัดเจน สำหรับดัชนีสภาวะสุดขีดของฝน วันมีฝนมากมีแนวโน้มลดลงในทุกภาค ขณะที่ผลจำลองแสดงแนวโน้มเพิ่มขึ้น ยกเว้นภาคใต้ที่ลดลง วันแห้งต่อเนื่องมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกภาค ยกเว้นภาคใต้ที่ลดลง โดยผลจำลองมีทิศทางสอดคล้องในระดับหนึ่ง สำหรับวันเปียกต่อเนื่อง มีแนวโน้มทิศทางคลาดกันไปในแต่ละภาค โดยผลจำลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกภาค ยกเว้นภาคใต้ที่ลดลง สำหรับฝนรวมของวันเปียกมาก แนวโน้มมีทิศทางเหมือนกับฝนเฉลี่ย
4. สำหรับอุณหภูมิเฉลี่ยในอนาคต เมื่อเปรียบเทียบกับช่วงเวลาในอดีต พบว่า รูปแบบการกระจายเชิงพื้นที่ของอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละภาคและในช่วงเวลาต่างๆ ของปีมีความคล้ายคลึงกันสำหรับสองช่วงเวลาในอดีตและอนาคต ในช่วงเวลาอนาคต ประเทศไทยจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นทั่วประเทศหรือทุกภาคประมาณ $<1-3^{\circ}\text{C}$ แนวโน้มอุณหภูมิมีทิศทางเพิ่มขึ้นตลอดทุกทศวรรษในอนาคตและพบได้ในทุกภาค
5. สำหรับฝนเฉลี่ยในอนาคต เมื่อเปรียบเทียบกับช่วงเวลาในอดีต พบว่า รูปแบบการกระจายเชิงพื้นที่ของฝนในแต่ละภาคและช่วงเวลาต่างๆ ของปีก็มีความคล้ายคลึงกันสำหรับสองช่วงเวลาในอดีตและอนาคต ในช่วงเวลาอนาคต พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไม่ได้การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนเท่าไร ยกเว้นภาคใต้ ซึ่งจะมีฝนน้อยลงไป 3-5 มม./วัน

6. สำหรับดัชนีสภาวะสุดขีดของอุณหภูมิในอนาคต วันอากาศร้อน (TX90p) จะเพิ่มขึ้นตามทศวรรษทั่วประเทศในทุกภาค สำหรับวันอากาศเย็น (TX10p) ทิศทางจะเป็นไปตรงข้ามกับวันอากาศร้อน สำหรับคืนอากาศอุ่น (TN90p) ทิศทางจะสอดคล้องโดยตรงกับวันอากาศร้อน สำหรับคืนอากาศหนาว (TN10p) ทิศทางมีความใกล้เคียงกับวันอากาศเย็นในแง่ที่ว่าจำนวนวันดังกล่าวมีแนวโน้มลดลงตามทศวรรษในทุกภาค โดยภาพรวมแล้ว ภาคเหนือจะได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศน้อยกว่าพื้นที่อื่นของประเทศสำหรับสามดัชนีแรก และ
7. สำหรับดัชนีสภาวะสุดขีดของฝนในอนาคต เมื่อพิจารณาภาพเฉลี่ย 40 ปีในอดีตและอนาคต วันมีฝนมาก (R10mm) ไม่พบว่ามีเปลี่ยนแปลงในภาคต่างๆ ของประเทศ ยกเว้นภาคใต้และภาคตะวันออก สำหรับวันแห้งต่อเนื่อง (CDD) ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีพื้นที่ซึ่งมีวันดังกล่าวเพิ่มขึ้นหลายพื้นที่ โดยเฉพาะตอนกลางของภาค ขณะที่ภาคเหนือฝั่งตะวันตก วันดังกล่าวได้ลดลงเล็กน้อย สำหรับวันเปียกต่อเนื่อง (CWD) ไม่ได้แตกต่างกันมากในทุกภาค ยกเว้นภาคใต้ ซึ่งวันดังกล่าวจะลดลง สำหรับฝนรวมของวันเปียกมาก (R95p) ไม่พบความแตกต่างกันมากในทุกภาค ยกเว้นภาคใต้และภาคตะวันออก ซึ่งปริมาณฝนดังกล่าวได้ลดลง

ข้อมูลดิจิทัลขนาดใหญ่ (ประมาณ 50 กิกะไบต์ หรือ GB) ที่ถูกประมวลจากการจำลองสภาพภูมิอากาศในโครงการวิจัยนี้ โดย แบบจำลอง RegCM3 ทั้งช่วงเวลาอดีตและอนาคต ซึ่งมีความละเอียดกริดเซลล์ที่ 20 กม. ได้ถูกเผยแพร่ต่อสาธารณะที่เว็บไซต์ของบัณฑิตวิทยาลัยร่วมฯ (http://complabkt.igsee.kmutt.ac.th/rcm_proj) (รูปที่ 4.1) และเว็บไซต์ฐานข้อมูลที่ศูนย์เครือข่ายงานวิเคราะห์วิจัยและฝึกอบรมการเปลี่ยนแปลงของโลก (<http://cc.start.or.th>) (รูปที่ 4.2) และในอนาคต อาจจะมีการเผยแพร่ที่เว็บไซต์ของศูนย์ประสานงานและพัฒนางานวิจัยด้านโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (<http://climatechange.igsee.org>) โดยประกอบด้วย 9 ตัวแปรดังนี้: อุณหภูมิสูงสุดรายวัน อุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน อุณหภูมิต่ำสุดรายวัน ฝนรายวัน การคายระเหยรายวัน รังสีรวมเฉลี่ยรายวัน ความชื้นสัมพัทธ์ (ที่ 2 ม.เหนือพื้นผิว) เฉลี่ยรายวัน ความเร็วลม (ที่ 10 ม.เหนือพื้นผิว) เฉลี่ยรายวันในแนวตะวันออก-ตะวันตก และความเร็วลม (ที่ 10 ม.เหนือพื้นผิว) เฉลี่ยรายวันในแนวเหนือ-ใต้ ณ ปัจจุบัน เว็บไซต์ของบัณฑิตวิทยาลัยร่วมฯ ได้บรรจุเพียงบางส่วนของชุดตัวแปรข้างบนนี้และมีแผนที่จะบรรจุเพิ่มเติมในอนาคต ขณะที่เว็บไซต์ฐานข้อมูลที่ศูนย์เครือข่ายฯ ได้บรรจุข้อมูลไว้ครบชุด

4.2 ข้อเสนอแนะ

จากประสบการณ์ที่ได้จากการศึกษารั้วนี้ คณะผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. ปัญหาทำนายอุณหภูมิที่ต่ำกว่าจริงค่อนข้างมาก สำหรับการศึกษาในอนาคต ควรพิจารณาการปรับแก้ข้อมูลลักษณะสิ่งปกคลุม(Land Cover) บางส่วนก่อนที่จะนำเข้าแบบจำลอง ตามเทคนิคที่เสนอไว้โดย Octaviani and Manomaiphiboon (2011)
2. ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาตรวจวัดที่ใช้ในการศึกษา ยังมีไม่มากหรือไม่ครอบคลุมพื้นที่ของประเทศไทยได้อย่างหนาแน่น ควรพิจารณาติดต่อหน่วยงานอื่นเพิ่มเติมที่มีการตรวจวัดบันทึกสภาพอุตุนิยมวิทยาระยะยาวย้อนหลัง เพื่อเพิ่มจำนวนสถานีให้มากขึ้น

3. ข้อมูลที่ได้เผยแพร่ต่อสาธารณะ เป็นผลที่ได้จากการจำลองโดยตรงมิได้ปรับแก้แต่อย่างใด ดังนั้น ผู้ใช้ควรใช้ข้อมูลด้วยความรอบคอบระมัดระวังและควรพิจารณาว่ามีความจำเป็นที่จะต้องปรับข้อมูลเพื่อการประยุกต์ใช้ให้ตรงกับงานอย่างเหมาะสมหรือไม่ ตัวอย่างเช่น การปรับแก้ความคลาดเคลื่อน (Bias Adjustment) เป็นต้น และ
4. การจำลองทางคณิตศาสตร์ด้านบรรยากาศมีความซับซ้อนและรายละเอียดมาก โดยเฉพาะการนำมาใช้ในเรื่อง การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เพราะเป็นการจำลองระยะยาว การจำลองดังกล่าวต้องอาศัยบุคลากรที่มีความรู้ด้านบรรยากาศและความสามารถทักษะทางคอมพิวเตอร์ไปพร้อมกัน รวมทั้งอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่ต้องมีขีดความสามารถในการคำนวณที่สูง ดังนั้น การสร้างกำลังคนในด้านสาขาวิชานี้และการส่งเสริมการประยุกต์ใช้อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่ราคาไม่แพงจึงมีความสำคัญ อุปกรณ์คอมพิวเตอร์มีการพัฒนาก้าวหน้าอยู่ต่อเนื่องและราคาไม่สูงเหมือนในอดีต ดังนั้นการนำอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่ราคาไม่แพงมาประยุกต์ใช้เพื่อรองรับกับการคำนวณขั้นสูงจะช่วยเพิ่มขีดระดับการพึ่งพาตัวเองในการทำวิจัยให้มากขึ้นและเป็นการประหยัดงบประมาณในการวิจัยอีกด้วย

Regional Climate Modeling Project

โครงการวิจัย เรื่อง
“การศึกษาและพัฒนาแบบจำลองสภาพภูมิอากาศระดับภูมิภาค RegCM3 สำหรับประเทศไทย”
(Study of Potential Regional Climate Change for Thailand Using RegCM3 Model)

หลักการและเหตุผล

ปัจจุบัน ปัญหาการเปลี่ยนแปลงทางด้านสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) ได้กลายมาเป็นปัญหาระดับโลกที่ทุกหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งประชาคมโลกต้องตระหนักถึงผลกระทบอันเนื่องมาจากปัญหาดังกล่าว อาจก่อให้เกิดความเสียหายทั้งชีวิต ทรัพย์สิน และสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ดังนี้ การวางแผนและกำหนดนโยบายต่างๆ เพื่อรับมือกับ ปัญหาผลกระทบต่างๆ อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศในอนาคต จึงถือว่าเป็นเรื่องที่มีความ จำเป็นและสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เพราะฉะนั้น การพัฒนาแบบจำลองสภาพภูมิอากาศ (Climate Model) จึงได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อนำมาใช้สำหรับเป็นเครื่องมือในการนำมาคำนวณค่าข้อมูลต่างๆ ทางด้านอุตุนิยม บวกด้วยบาง เช่น ข้อมูลอุณหภูมิ (Near surface air temperature), ข้อมูลปริมาณน้ำฝน (Precipitation) และอื่นๆ ซึ่งถือว่าเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการนำมาวิเคราะห์และประเมินผลรวม ทั้งการคาดการณ์เหตุการณ์ต่างๆ ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อประยุกต์ใช้และศึกษาความเหมาะสมของแบบจำลองสภาพภูมิอากาศระดับภูมิภาค RegCM3 สำหรับประเทศไทย
2. เพื่อสร้างทักษะและความชำนาญขั้นสูงในการทำแบบจำลองประเทศนี้ให้กับประเทศไทยรวมถึงการนำ ข้อมูลที่ได้มาใช้งานต่อไปในอนาคต ซึ่งในเบื้องต้นนี้ จะมีการพัฒนาการเชื่อมโยงกับ (Interfaced) ข้อมูลที่ได้จาก General Circulation Model (GCM) มาเข้าใช้กับ RegCM3 และ
3. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางด้านสภาพภูมิอากาศภายใต้สถานการณ์จำลองในอนาคตของ IPCC โดยเน้นที่การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝนเป็นหลัก เพราะว่าเป็นตัวแปรหลักในการศึกษาสภาพภูมิอากาศ นอกจากนั้น ตัวแปรสำคัญอื่นที่เกี่ยวข้องกับสภาพภูมิอากาศก็จะถูกคัดเลือกและเผยแพร่เพื่อสามารถนำข้อมูลเหล่านั้นมา ใช้ในการตอบข้อคำถามด้านสิ่งแวดล้อมได้โดยเฉพาะการศึกษาผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ

รูปที่ 4.1 เว็บไซต์ของฐานข้อมูลที่มีนักนิเวศวิทยาร่วมฯ
(http://complabbkt.jgsee.kmutt.ac.th/rcm_proj/)



**Southeast Asia
START
Regional Center**

Data Distribution System View Regional Climate Change Tools



Climate Data Distribution System

Welcome to climate change data distribution system. This website is collaboration between Southeast Asia START Regional Center and ESRI (Thailand), Co., Ltd., under support from S&T Postgraduate Education and Research Development Office (PERDO) and Asia-Pacific Network for Global Change Research (APN). The future climate projection data is result of capacity building program supported by Asia-Pacific Network for Global Change Research (APN) under CAPABLE project "Climate Change in Southeast Asia and Assessment on Impact, Vulnerability and Adaptation on Rice Production and Water Resource" and research project "Simulation of Future Climate Scenario for Thailand and Surrounding Countries", which was supported by Thailand Research Fund (TRF), The Met Office Hadley Centre for Climate Prediction and Research of United Kingdom provides technical support on know-how transfer, including training and providing of regional climate model software, PRECIS, as well as GCM dataset for regional downscaling operation.

ยินดีต้อนรับสู่ระบบบริการข้อมูลการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศอนาคตสำหรับพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ระบบนี้เป็นความร่วมมือจากทั้งการระหว่างศูนย์และหน่วยงานพันธมิตรวิจัย และมีการสนับสนุนการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมจากเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และบริษัทอีสอาร์ไอ (ประเทศไทย) จำกัด โดยการพัฒนาสนับสนุนของสำนักงานเพื่อการศึกษาและวิจัย ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สว.) และ Asia-Pacific Network for Global Change Research (APN) ข้อมูลการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศอนาคตที่เผยแพร่นี้เป็นผลจากโครงการพัฒนาขีดความสามารถในการวิจัยและการสนับสนุนของ Asia-Pacific Network for Global Change Research (APN) ภายใต้โครงการ CAPABLE Project "Climate Change in Southeast Asia and Assessment on Impact, Vulnerability and Adaptation on Rice Production and Water Resource" และโครงการวิจัย "การจำลองสภาพภูมิอากาศอนาคตสำหรับประเทศไทยและพื้นที่ข้างเคียง" ภายใต้การสนับสนุนของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และได้รับการสนับสนุนด้านเทคนิคจาก The Met Office Hadley Centre for Climate Prediction and Research แห่งประเทศอังกฤษ โดยการฝึกอบรม การจัดหา Software PRECIS regional climate model และข้อมูลที่จะใช้ในการดำเนินการ

รูปที่ 4.2 เว็บไซต์ของฐานข้อมูลที่มีศูนย์เครือข่ายงานวิเคราะห์วิจัยและฝึกอบรมการเปลี่ยนแปลงของโลก (<http://cc.start.or.th>)

เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

ศุภกร ชินวรโรจน์ และคณะ (2552) รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ของโครงการวิจัยเรื่องการจำลองสภาพภูมิอากาศอนาคตสำหรับประเทศไทยและพื้นที่ข้างเคียง สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย.

ภาษาอังกฤษ

- Alexandersson, H. (1986). A homogeneity test applied to precipitation data. *Journal of Climatology*, 6, 661–675.
- Anthes, R.A. (1977). A cumulus parameterization scheme utilizing a one-dimensional cloud model. *Monthly Weather Review*, 105, 270-286.
- Arakawa, A., Schubert, W.H. (1974). Interaction of a cumulus cloud ensemble with the large-scale environment, Part 1. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 31, 674-701.
- Dickinson, R.E., Henderson-Sellers, A., Kennedy, P.J. (1993). Biosphere Atmosphere Transfer Scheme (BATS) version 1e as coupled to the NCAR Community Climate Model. NCAR Technical Note NCAR/TN-387+STR, 72.
- Emanuel, K.A. (1991). A scheme for representing cumulus convection in large-scale models. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 48, 2313-2335.
- Emanuel, K.A., Zivkovic-Rothman, M. (1999). Development and evaluation of a convection scheme for use in climate models. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 56, 1766-1782.
- Fritsch, J.M., Chappell, C.F. (1980). Numerical prediction of convectively driven mesoscale pressure systems. Part I: Convective parameterization. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 37, 1722-1733.
- Giorgi, F., Marinucci, M.R., Bates, G.T. (1993). Development of a second-generation Regional Climate Model (RegCM2). Part I: Boundary-layer and radiative transfer processes. *Monthly Weather Review*, 121, 2794–2813.
- Grell, G.A., Dudhia, J., Stauffer, D.R. (1994). A description of the fifth-generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5). NCAR Technical Note NCAR/TN-398+IA, 121.
- Holtzlag, A.A.M., de-Bruijn, E.I.R., Pan, H.L. (1990). A high resolution air mass transformation model for short-range weather forecasting. *Monthly Weather Review*, 118, 1561-1575.
- Kiehl, J.T., Hack, J.J., Bonan, G.B., Boville, B.A., Breigleb, B.P., Williamson, D.L., Rasch, P.J. (1996). Description of the NCAR Community Climate Model (CCM3). NCAR Technical Note NCAR/TN-420+STR, 152.
- Klein Tank, A.M.G., Zwiers, F.W. and Zhang, X. (2009). Guidelines on analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation. *Climate Data and Monitoring WCDMP-No.72*, WMO-TD No.1500.
- Marsland, S.J., Haak, H., Jungclaus, J.H., Latif, M., Roske, F. (2003). The Max-Planck Institute Global Ocean/Sea Ice Model with orthogonal curvilinear coordinates. *Ocean Model*, 5, 91-127.
- Nakicenovic, N., Alcamo, J., Davis, G., de-Vries, B., Fenhann, J., Gaffin, S., Gregory, K., Grübler, A., Jung, T-Y., Kram, T., La-Rovere, E.L., Michaelis, L., Mori, S., Morita, T., Pepper, W., Pitcher, H.,

- Price, L., Riahi, K., Roehrl, A., Rogner, H-H., Sankovski, A., Schlesinger, M., Shukla, P., Smith, S., Swart, R., van-Rooijen, S., Victor, N., Dadi, Z. (2000). Special report on emissions scenarios. A special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Working Group III. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Octaviani, M. (2008). Application of Regional Climate Model RegCM3 to Thailand and performance evaluation. Master Thesis. Joint Graduate School of Energy and Environment, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand.
- Octaviani, M., Manomaiphiboon, K. (2011). Performance of regional climate model RegCM3 over Thailand. *Climate Research*, 47, 171-186.
- Pal, J.S., Small, E.E., Eltahir, E.A.B. (2000). Simulation of regional-scale water and energy budgets: Representation of subgrid cloud and precipitation processes within RegCM. *Journal of Geophysical Research*, 105, 29576-29594.
- Pal, J.S., Giorgi, F., Bi, X., Elguindi, N., Solomon, F., Gao, X., Rauscher, S.A., Francisco, R., Zaakey, A., Winter, J., Ashfaq, M., Syed, F.S., Bell, J.L., Diffenbaugh, N.S., Karmacharya, J., Konare, A., Martinez-Castro, D., da-Rocha, R.P., Sloan, L.C., Steiner, A.L. (2007). Regional climate modeling for the developing world: The ICTP RegCM3 and RegCM3. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 88, 1395-1409.
- Roeckner, E., Bäuml, G., Bonaventura, L., Brokopf, R., Esch, M., Giorgetta, M., Hagemann, S., Kirchner, I., Kornbleuh, L., Manzini, E., Rhodin, A., Schlese, U., Schulzweida, U., Tomkins, A. (2003). The atmospheric general circulation model ECHAM5, Part I: Model description. Max-Planck Institute for Meteorology Report No.349.
- USGS. (2008a). Global 30-arc-second Elevation Data (GTOPO30). Accessed Oct 2008. http://eros.usgs.gov/#/Find_Data/Products_and_Data_Available/gtopo30_info.
- USGS. (2008b). Global Land Cover Characterization (GLCC). Accessed October 2008 <http://edc2.usgs.gov/glcc/glcc.php>.
- Zeng, X., Zhao, M., Dickinson, R.E. (1998). Intercomparison of bulk aerodynamic algorithms for the computation of sea surface fluxes using TOGA-COARE and TAO data. *Journal of Climate*, 11, 2628-2644.