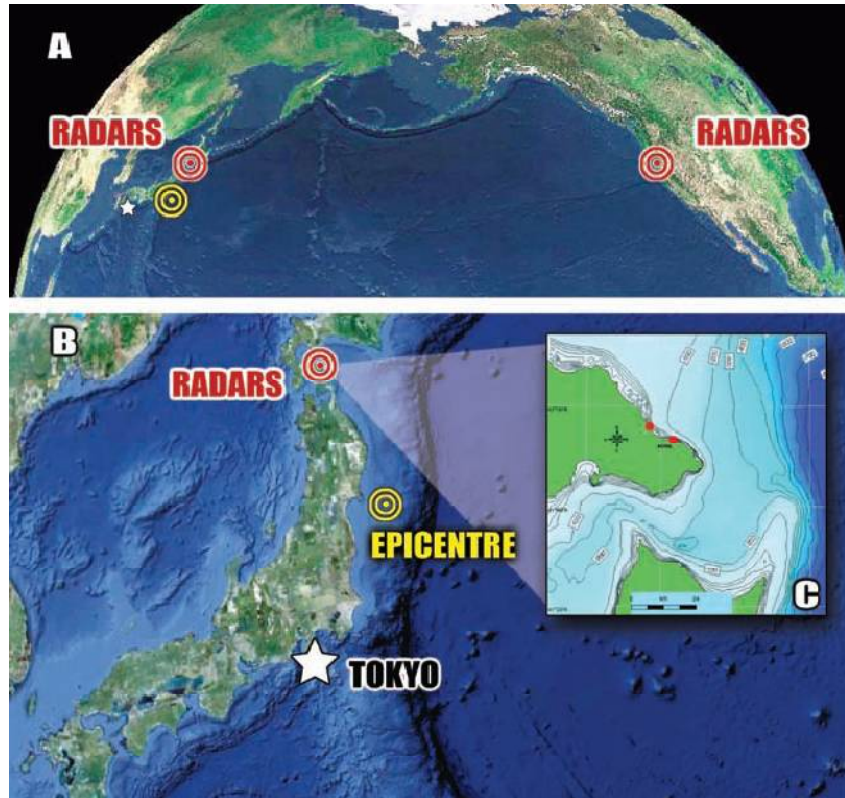


ระบบเรดาร์ความถี่สูงของซีซอนด์สามารถตรวจจับสึนามิจากญี่ปุ่นได้จากสองฝั่งทวีป

ระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูงนวัตกรรมในชื่อซีซอนด์ (Seasonde) ของบริษัทโคดาร์ได้ทำการตรวจวัดข้อมูล กระแสน้ำและความสูงคลื่นตามเวลาจริงให้กับหน่วยงานต่างๆในหลายประเทศของทั้ง 2 ฝั่งมหาสมุทรแปซิฟิกมาเป็นเวลานานทศวรรษ ซึ่งเครือข่ายที่กว้างขวางนี้เองได้ส่งผลต่อการตรวจจับสึนามิในวันที่ 11 มีนาคม 2554 ที่ผ่านมาในพื้นที่ และด้วยรูปแบบการตรวจวัดที่หลากหลาย ในรายงานฉบับย่อๆนี้ได้แสดงให้เห็นถึงกระบวนการวิธีที่ใช้ในการตรวจวัดคลื่นสึนามิโดยช่วงความถี่ของเรดาร์ที่ใช้ และการตรวจวัดด้วยเครื่องวัดกระแสน้ำขึ้นน้ำลง ซึ่งข้อมูลทั้งหมดต่างยืนยันถึงความสามารถในการตรวจจับสึนามิของอุปกรณ์ซีซอนด์ได้เป็นอย่างดี



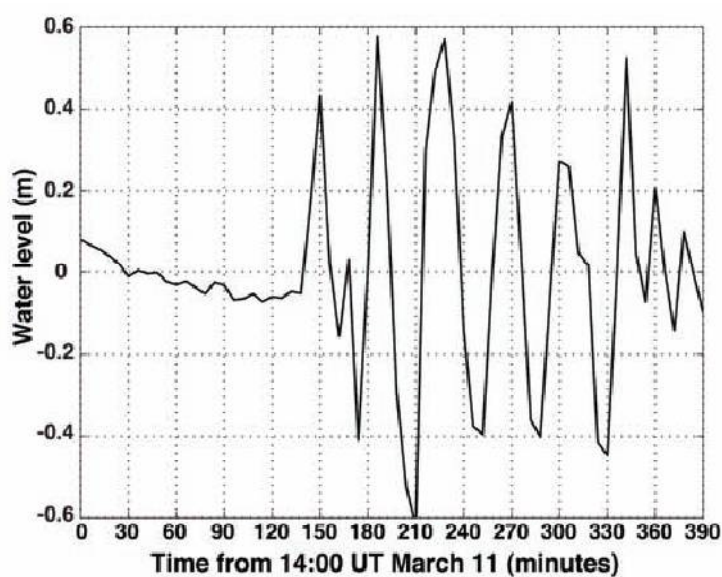
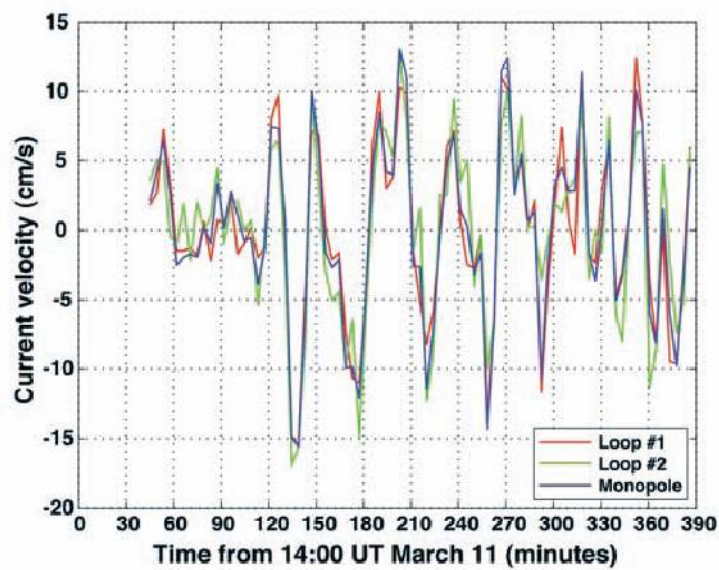
การตรวจวัดสึนามิด้วยสัญญาณความถี่สูงแบบหลายช่องความถี่

อุปกรณ์ตรวจวัดคลื่นวิทยุความถี่สูงของซีซอนด์จำนวน 2 ตัว ซึ่งถูกติดตั้งลงที่ชายฝั่งเมืองฮอกไกโด หนึ่งใน 4 เกาะหลักของประเทศญี่ปุ่นนั้น เป็นอุปกรณ์เรดาร์ตรวจวัดคลื่นและกระแสน้ำโดยใช้ระบบคลื่นวิทยุความถี่สูงที่อยู่ใกล้จุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวมากที่สุด และกลายเป็นอุปกรณ์เรดาร์ตัวแรกที่ได้ตรวจวัดสัญญาณสึนามิ จากการที่มันอยู่ใกล้แหล่งกำเนิดสึนามินี้เอง ทำให้สามารถตรวจพบคาบ 40 นาทีของคลื่นสึนามิได้อย่างชัดเจน ในข้อมูลความเร็วกระแสน้ำบริเวณผิวพื้นที่ตรวจจับได้โดยอุปกรณ์เรดาร์ของซีซอนด์ทั้ง 2 ตัว จากนั้น 9 ชั่วโมงต่อมา ที่ระยะห่างออกไป 8,000 กิโลเมตร ที่ช่วงความยาวคลื่นระดับปานกลาง (13 MHz) และยาว (5 MHz) บริเวณชายฝั่งทางด้านทิศตะวันตกของประเทศสหรัฐอเมริกาสามารถตรวจจับเอกลักษณ์ของสึนามิที่เกิดขึ้นได้ ซึ่งสัญญาณที่ตรวจวัดได้ที่ช่วงคาบ 25-40 นาทีนี้ จะมีความซับซ้อนกว่าที่ตรวจวัดได้ที่เมืองฮอกไกโด เนื่องจากสัญญาณนั้นมาจากหลายเส้นทางและหลายทิศทาง ดังจะเห็นได้จากแผนที่แสดงพลังงานของคลื่นสึนามิในเว็บไซด์ของ NOAA (<http://nctr.pmel.noaa.gov>) ในการตรวจวัดทุกครั้ง คลื่นสึนามิจะถูกตรวจวัดด้วยกระบวนการประมวลผลจากความเร็วของกระแสน้ำใน 3 ขั้นตอน และโดยอุปกรณ์ตรวจวัดคลื่นและกระแสน้ำของซีซอนด์อย่างอิสระ ดังจะบรรยายต่อไปจากนี้

เอกลักษณ์ของสึนามิที่ยืนยันได้ด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำที่ชายฝั่ง

เราจะรู้ได้อย่างไรว่าเรากำลังพบสึนามิ อุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำที่ชายฝั่งจะเป็นตัวบอกระดับน้ำที่ขึ้นลง และข้อมูลระดับน้ำของสหรัฐอเมริกา นั้น สามารถหาได้ที่เว็บไซต์ของโนอา (NOAA) โดยปกติแล้วอุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำนี้จะทำหน้าที่ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆของกระแสน้ำขึ้น และน้ำลงในช่วงคาบครึ่ง และหนึ่งวัน (semi-diurnal and diurnal) แต่อย่างไรก็ตามอุปกรณ์นี้ก็สามารถตรวจจับสัญญาณของสึนามิได้ดีเช่นกัน มีอะไรบ้างที่อุปกรณ์วัดระดับน้ำบอกกับเรา

ตัวตรวจวัดทั้งสองตัวแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆของระดับน้ำจนกระทั่งคลื่นสึนามิมาถึง ตัวตรวจวัดทั้งสองได้แสดงว่าสามารถตรวจจับสัญญาณคลื่นที่มีค่าคาบเวลาเร็วกว่ากระแสน้ำคือประมาณ 25-40 นาทีได้ ดังปรากฏในรูปประกอบ



สัญญาณที่ตรวจวัดได้โดยอุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำที่ชายฝั่งจะมีความล่าช้ากว่าข้อมูลที่ตรวจวัดได้โดยเรดาร์ที่นอกชายฝั่งประมาณ 10-30 นาที เพราะอะไร?

เพราะสัญญาณที่เห็นปรากฏจากเรดาร์นอกชายฝั่งนั้น จะเป็นลักษณะตรวจวัดย้อนไปในทางแหล่งกำเนิดของสึนามิ (upstream) และเมื่อมันเดินทางเข้ามาสู่ชายฝั่งนั้น เขตน้ำที่ตื้นกว่าบริเวณชายฝั่งจะทำให้ความเร็วของคลื่นลดลงตามทฤษฎีของคลื่น เป็นระยะทางประมาณ 25-40 กิโลเมตร

ช่วงที่ความเร็วของคลื่นลดลงซึ่งทำให้เกิดชะลอ (Delay) ไปประมาณหนึ่งในสี่รอบนั้น เกิดขึ้นที่บริเวณใกล้ชายฝั่งโดยเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของความเร็วคลื่น และความสูงของคลื่น โดยที่เมื่อพื้นน้ำอยู่ในระดับความสูงและความเร็วปกติ เริ่มต้นที่จะดันมวลน้ำเข้าสู่ฝั่งมันต้องใช้เวลาในการที่จะค่อยๆเพิ่มความสูงขึ้น โดยคลื่นสึนามิที่เข้าฝั่งนั้น ความสูงของมันจะขึ้นสูงสุดสูงสุดก็เมื่อ ความเร็วของมันเป็นศูนย์ ถ้าไม่เช่นนั้นความสูงของมันก็จะเพิ่มขึ้นไปอย่างต่อเนื่อง ในคลื่นที่มีความประมาณ 40 นาทีการดีเลย์ไปหนึ่งในสี่รอบนั้นจะเป็นเวลาประมาณ 10 นาที

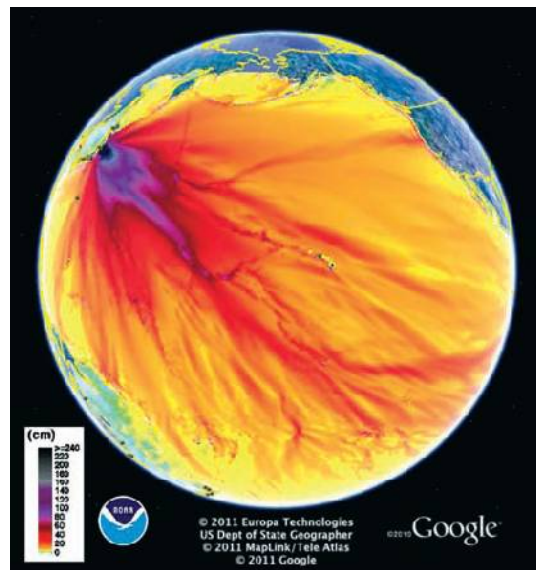
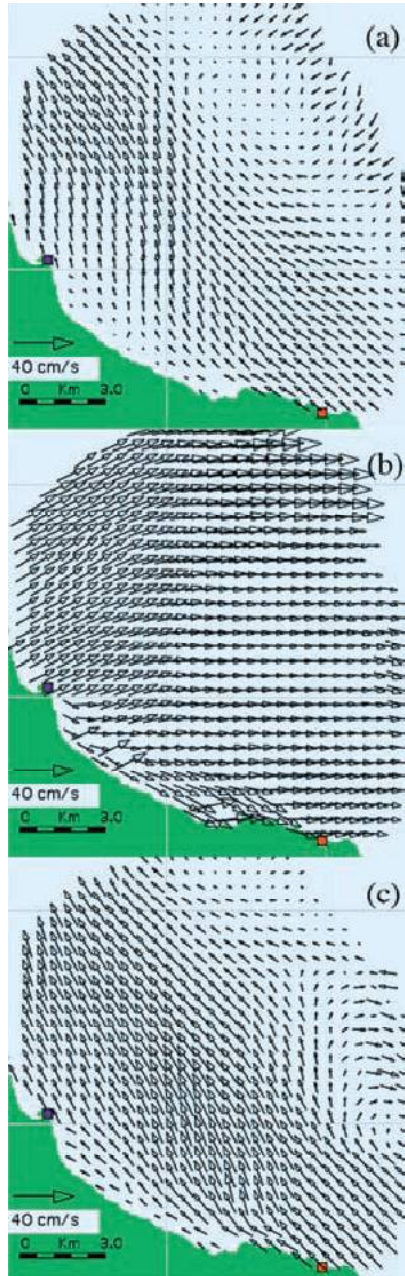
เรดาร์ตรวจวัดคลื่นและกระแสน้ำ และอุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำซึ่งปรากฏที่บริเวณชายฝั่งด้านตะวันตกของประเทศสหรัฐอเมริกา นั้น ตรวจวัดคลื่นสึนามิได้ช้ากว่าที่ญี่ปุ่นเป็นเวลาประมาณ 9 ชั่วโมงครึ่ง ซึ่งเป็นเวลาที่ตรงกันพอดีกับเวลาในการพยากรณ์ว่าคลื่นจะต้องใช้ในการเดินทางข้ามมหาสมุทรแปซิฟิก โดยการพยากรณ์นั้นมีพื้นฐานมาจากทั้งข้อมูลจากการคำนวณและการตรวจวัดหรือสำรวจจริง

การจัดการเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ดีที่สุดและสภาพเงื่อนไขในการตรวจจับสึนามิ

ปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งก็คือ ต้องมีการแลกเปลี่ยนกันระหว่างความถี่ในการให้เรดาร์ส่งข้อมูลการตรวจวัดออกมา กับค่าความละเอียดของข้อมูลความเร็วกระแสน้ำที่ตรวจวัดได้ ซึ่งจากการที่สึนามิเป็นเหตุการณ์ที่อันตรายร้ายแรง ความถี่ของข้อมูลที่มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ จึงเป็นสิ่งจำเป็น จากทฤษฎีและประสบการณ์ได้พิสูจน์แล้วว่าถ้าความเร็วคลื่นที่ตรวจวัดนั้นหยวนเกินไป ข้อมูลนั้นจะแทบนำไปใช้ประโยชน์อะไรไม่ได้เลย สำหรับเรดาร์ที่มีความถี่อยู่ที่ 13 เมกะเฮิร์ต (MHz) นั้น ข้อมูลที่ตรวจวัดออกมาทุกๆ 30 วินาทีจะให้ค่าความละเอียดของความเร็วออกมาดีที่สุดที่ 30 เซนติเมตรต่อวินาที ซึ่งแทบจะไร้ประโยชน์เพราะสึนามินั้นจะสร้างกระแสน้ำที่ตรวจจับได้ด้วยเรดาร์โดยมีค่าความเร็วระหว่างยอดคลื่น/ท้องคลื่น อยู่ที่ 10-20 เซนติเมตรต่อวินาที ถ้าเราปรับมาให้เรดาร์ส่งข้อมูลออกมาทุกๆ 4 นาที ค่าความละเอียดความเร็วจะได้ที่ประมาณ 3.5 เซนติเมตรต่อวินาที ซึ่งเป็นค่าที่ดีมากสำหรับการนำไปใช้ ด้วยอัตราการตรวจวัดนี้ เราจะได้ข้อมูล 10 ชุดสำหรับการเกิดสึนามิหนึ่งครั้ง ซึ่งจัดอยู่ในระดับที่เพียงพอ แต่อุปกรณ์การตรวจวัดคลื่นยักษ์สึนามิของบริษัทโคดาร์นั้น ไม่ได้ถูกบีบให้ต้องตั้งค่าความถี่ในการตรวจวัดให้คงที่ แต่ความถี่ในการตรวจวัดและความละเอียดในการจับความเร็วสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามความเหมาะสม โดยการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ได้ค่าการตรวจวัดที่ดีที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ และไม่ส่งผลกระทบใดๆทั้งสิ้นต่อภารกิจการตรวจวัดกระแสน้ำตามปกติ

ข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับความถี่ในการตรวจวัดคือ เวลาในการตรวจพบสึนามิก่อนที่สึนามิจะเข้ามาปะทะฝั่งนั้นขึ้นอยู่กับความลึกของน้ำตามแนวชายฝั่ง ถ้าชายฝั่งนั้นมีความลึกน้ำน้อยหรือเป็นน้ำตื้น และเป็นแนวยาวลงไปในทะเล คลื่นสึนามิจะใช้เวลาเพิ่มขึ้นในการวิ่งเข้าหาฝั่ง เช่นที่บริเวณมหาสมุทรแอตแลนติกตอนกลางที่แนวอีสเทิร์นซีบอร์ด (Eastern Seaboard) แต่ทั้งประเทศญี่ปุ่น และประเทศสหรัฐอเมริกาทางฝั่งตะวันตกต่างก็มีระยะชายฝั่งที่แคบและมีน้ำที่ตื้น ดังนั้น สึนามิจึงจะถูกพบโดยเรดาร์ที่ระยะห่างจากชายฝั่งเพียง 20 กิโลเมตร และที่ความลึกน้ำที่ 200 เมตร

สัญญาณสึนามิที่ตรวจจับได้ในกระบวนการประมวลผลหลายกระบวนการ



ระบบเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูงนั้น มีการนำข้อมูลไปประมวลผลหลายขั้นตอน สัญญาณของการเกิดสึนามินั้นโดยทั่วไปจะปรากฏให้เห็นในการประมวลผล 3 รูปแบบด้วยกันคือ ค่าสเปกตรัมที่ของปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ที่เกิดจากการสะท้อนกลับในทะเล (Doppler Sea Echo Spectra) ความเร็วในแนวรัศมี (Radial Velocity) และสนามเวกเตอร์ของกระแสน้ำแบบ 2 มิติ (2-D Current Vector Fields) โดยสึนามิที่เกิดขึ้นที่ชายฝั่งประเทศญี่ปุ่นที่ผ่านมาก็ได้ถูกตรวจพบจากทั้งสามรูปแบบ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

แผนที่กระแสน้ำแบบ 2 มิติ: ผลจากการตรวจวัดของเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูงที่ทุกคนคุ้นเคยกันดีก็คือ แผนที่แสดงเวกเตอร์ของกระแสน้ำ ซึ่งต้องการข้อมูลเรดาร์อย่างน้อย 2 ตัว หรือมากกว่ามาซ้อนทับกัน แผนที่กระแสน้ำสามารถแสดงกระแสน้ำที่เป็นผลลัพธ์จากการตรวจจับสัญญาณดังรูปประกอบ ข้อดีของวิธีนี้ก็คือจะได้ภาพของกระแสน้ำที่ดูดีและง่ายต่อการแปลผล แต่ต้องอาศัยคลื่นความถี่ที่สูงจากเรดาร์อย่างน้อย 2 แห่่ง ในการสร้าง และใช้เวลาพอสมควรในการประมวลผลข้อมูล จากการสร้างออกมาเป็นภาพ วิธีนี้เป็นวิธีที่มีประโยชน์มากที่สุดในการที่จะนำข้อมูลไปใช้ต่อ และการนำไปใช้ในเชิงวิเคราะห์ แต่เนื่องจากต้องใช้เวลามากในการประมวลผล ข้อมูลที่ได้จึงไม่ใช่ข้อมูลการตรวจจับคลื่นสัญญาณตามเวลาจริง

แผนที่ความเร็วในแนวรัศมี: ความเร็วของกระแสน้ำในแนวรัศมีสามารถให้ข้อมูลที่ดีมากในการตรวจจับสัญญาณ และข้อมูลชนิดนี้เองที่เป็นพื้นฐานในซอฟต์แวร์ตรวจจับสัญญาณโดยอุปกรณ์ซีซอนด์ของบริษัทโคดาร์ ซึ่งอันที่จริงแล้ว ถ้าฟังการใช้แผนที่กระแสน้ำแบบ 2 มิติก็สามารถนำไปผ่านกระบวนการ และตรวจจับการเปลี่ยนแปลงที่เป็นผลมาจากคลื่นสัญญาณได้ แต่มันจะมีประโยชน์มากขึ้นไปอีก ถ้าเราสามารถตรวจจับการมาถึงของคลื่นสัญญาณได้อย่างรวดเร็วด้วยซอฟต์แวร์ของบริษัทโคดาร์ ซึ่งอาศัยการดูจากค่าความเร็วในแนวรัศมีของคลื่นโดยใช้เรดาร์เพียงตัวเดียว โดยจะตรวจจับไปที่ละแถบเป็นแนวนานกับเส้นขอบระดับความลึกของน้ำ ซึ่งกฎทางฟิสิกส์จะบังคับให้เวกเตอร์ความเร็วของกระแสน้ำเคลื่อนที่ในทิศตั้งฉากกับเส้นขอบระดับความลึกของน้ำโดยไม่ขึ้นกับตำแหน่งศูนย์กลางที่ทำให้กำเนิดคลื่น (epicenter) ด้วยการวิเคราะห์ความเร็วในกระบวนการนี้เองจะทำให้เราสามารถหาค่าคาบของคลื่นสัญญาณ และการเปลี่ยนแปลงของคาบเวลาในระยะห่างจากชายฝั่งตรงจุดที่กำหนด

ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์สะท้อนกลับในทะเล: ย้อนกลับไปในการพัฒนากระบวนการตรวจวัดด้วยเรดาร์ ก่อนที่จะมีการหาทิศทางของกระแสน้ำด้วยเรดาร์ (Direction finding method) หรือแผนที่ความเร็วในแนวรัศมี (Radial velocity) เราจะใช้ลักษณะการเปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลาของความกว้างและศูนย์กลางปรากฏการณ์ดอปเพลอร์จากของคลื่นสะท้อนในทะเลเป็นตัวตรวจวัดโดยตรงในการตรวจจับกระแสน้ำที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของคลื่นสัญญาณ ผลของมันจะถูกแสดงออกมาเป็นกราฟโดยเทียบกับแกนเวลา กระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่สามารถให้ผลลัพธ์ออกมาได้รวดเร็วที่สุด และเป็นเป้าหมายสำคัญในอนาคตที่บริษัทโคดาร์จะใช้ในการพัฒนาซอฟต์แวร์ตรวจจับสัญญาณขั้นต่อไป

การตรวจวัดสัญญาณด้วยเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูงได้ถูกอธิบายไว้แล้วในครั้งแรกโดยบริษัทโคดาร์ (Codar)

เมื่อ 32 ปีที่แล้ว ดร.แบร์ริค (Barrick) ได้อธิบายไว้เป็นครั้งแรกว่าการเคลื่อนที่เข้าหาฝั่งของคลื่นสัญญาณนั้น สามารถตรวจวัดได้ด้วยเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูงในรูปแบบของการวัดกระแสน้ำ ซึ่งไม่ได้รับความสนใจเท่าใดนัก จนกระทั่งเมื่อปี 2004 เกิดโศกนาฏกรรมครั้งใหญ่ขึ้นที่มหาสมุทรอินเดียโดยเฉพาะประเทศอินโดนีเซียทำให้มีคนไทยเสียชีวิตมากกว่า 250,000 คน หลังจากนั้น ดร.ไลปา (Lipa) และ ดร.แบร์ริค (Barrick) ก็ได้ตีพิมพ์เอกสารวิชาการขึ้นใหม่ในปี 2006 โดยมีการพัฒนารูปแบบอัลกอริทึมในการตรวจจับรูปแบบของคลื่นสัญญาณจากการไหลของกระแสน้ำที่เร็วผิดปกติจากการไหลของกระแสน้ำทั่วไป กระบวนการวิธีในเอกสารชิ้นนี้เองที่เป็นพื้นฐานของการประดิษฐ์แพ็คเกจซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ตัวแรกและตัวเดียวในการตรวจจับคลื่นยักษ์สัญญาณที่เข้าร่วมกับเรดาร์คลื่นวิทยุความถี่สูงที่มีอยู่ในท้องตลาดในปัจจุบัน

.....

แหล่งข้อมูลอ้างอิงจาก http://www.codar.com/images/news/Tsunami_Detection/20110531-Tsunami_NewsArticle.pdf

แปลและเรียบเรียง โดย อนุชา ศรีเรืองหล้า นักอุดมศึกษาปฏิบัติการณ์

ตรวจทานและแก้ไข โดย ดร.วัฒนา กันบัว (ผู้อำนวยการศูนย์อุดมศึกษาทะเล)