



**Ničivé zemětřesení
11. 3. 2011 v Japonsku;
příčiny a souvislosti.**

F. Gallovič, C. Matyska, J. Zahradník
moderátor: O. Čadek

katedra geofyziky MFF UK

Velká zemětřesení

Velká zemětřesení jsou stálou přírodní hrozbou některých zemí.

O míře následků spolurozhoduje člověk (odolné stavby, rychlé varování).

http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/world/10_largest_world.php

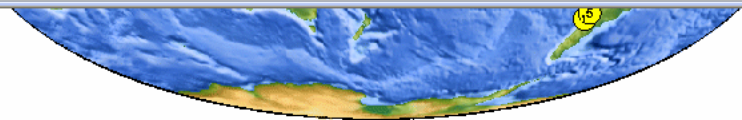
Largest Earthquakes in the World Since 1900 - Windows Internet Explorer

http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/world/10_largest_world.php


File Edit View Favorites Tools Help

Forward Largest Earthquakes in the World Since 1900

- Earthquake Notifications
- Seismogram Displays
- Earthquake Animations
- Did You Feel It?
- ShakeMaps
- PAGER
- EQ Summary Posters
- Future
- Earthquake Scenarios
- Prediction
- Probabilities
- Location
- Info by State
- Info by Country/Region



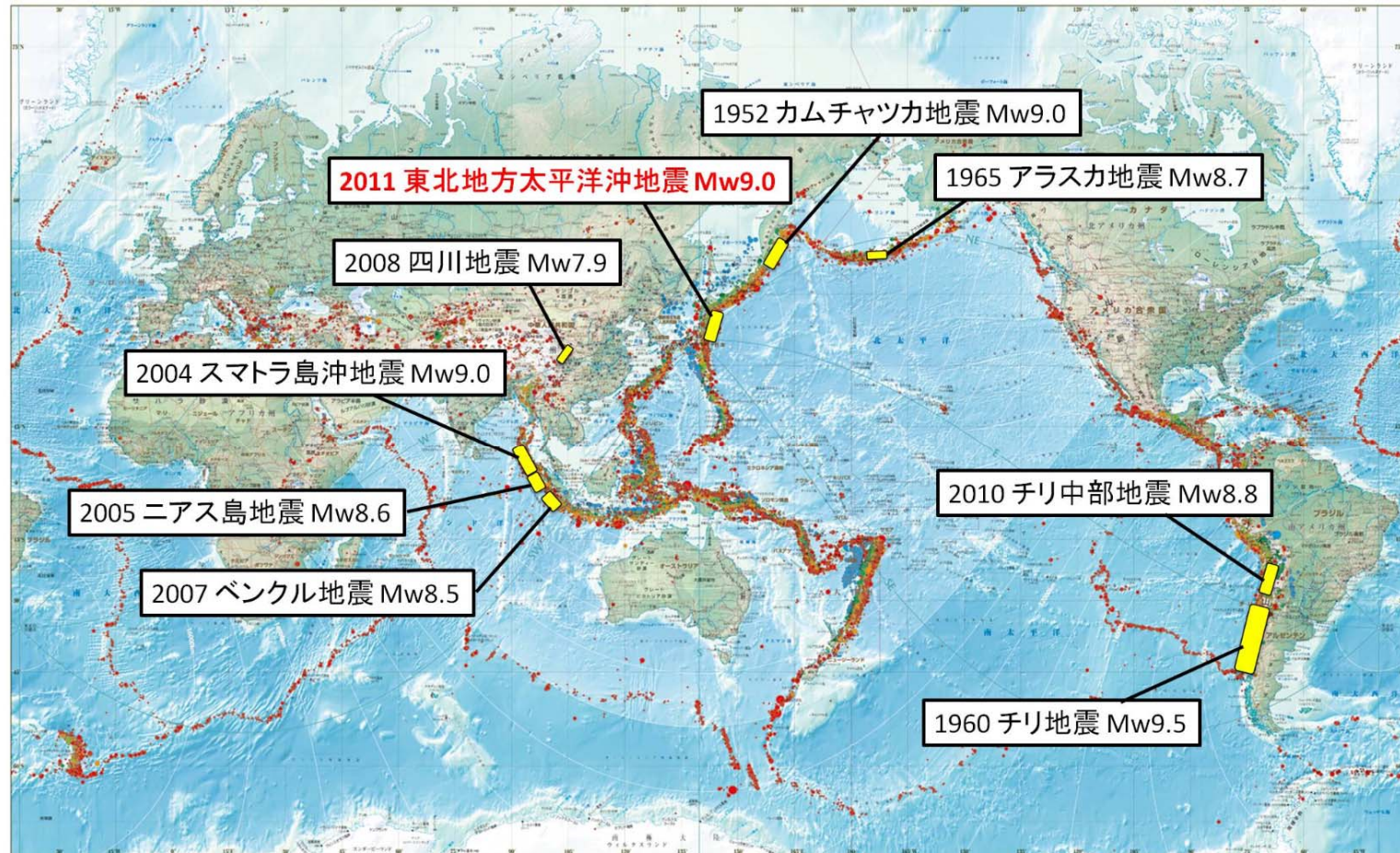
USGS National Earthquake Information Center

 [Google Earth KML](#)
(requires Google Earth)

	Location	Date UTC	Magnitude	Lat.	Long.	Reference
1.	Chile	1960 05 22	9.5	-38.29	-73.05	Kanamori, 1977
2.	Prince William Sound, Alaska	1964 03 28	9.2	61.02	-147.65	Kanamori, 1977
3.	Off the West Coast of Northern Sumatra	2004 12 26	9.1	3.30	95.78	Park et al., 2005
4.	Near the East Coast of Honshu, Japan	2011 03 11	9.0	38.322	142.369	PDE
5.	Kamchatka	1952 11 04	9.0	52.76	160.06	Kanamori, 1977
6.	Offshore Maule, Chile	2010 02 27	8.8	-35.846	-72.719	PDE
7.	Off the Coast of Ecuador	1906 01 31	8.8	1.0	-81.5	Kanamori, 1977
8.	Rat Islands, Alaska	1965 02 04	8.7	51.21	178.50	Kanamori, 1977
9.	Northern Sumatra, Indonesia	2005 03 28	8.6	2.08	97.01	PDE
10.	Assam - Tibet	1950 08 15	8.6	28.5	96.5	Kanamori, 1977
11.	Andreanof Islands, Alaska	1957 03 09	8.6	51.56	-175.39	Johnson et al., 1994
12.	Southern Sumatra, Indonesia	2007 09 12	8.5	-4.438	101.367	PDE
13.	Banda Sea, Indonesia	1938 02 01	8.5	-5.05	131.62	Okal and Raymond, 2003
14.	Kamchatka	1923 02 03	8.5	54.0	161.0	Kanamori, 1988
15.	Chile-Argentina Border	1922 11 11	8.5	-28.55	-70.50	Kanamori, 1977
16.	Kuril Islands	1963 10 13	8.5	44.9	149.6	Kanamori, 1977

世界の震源分布 (2010年版)

東京大学 地震研究所

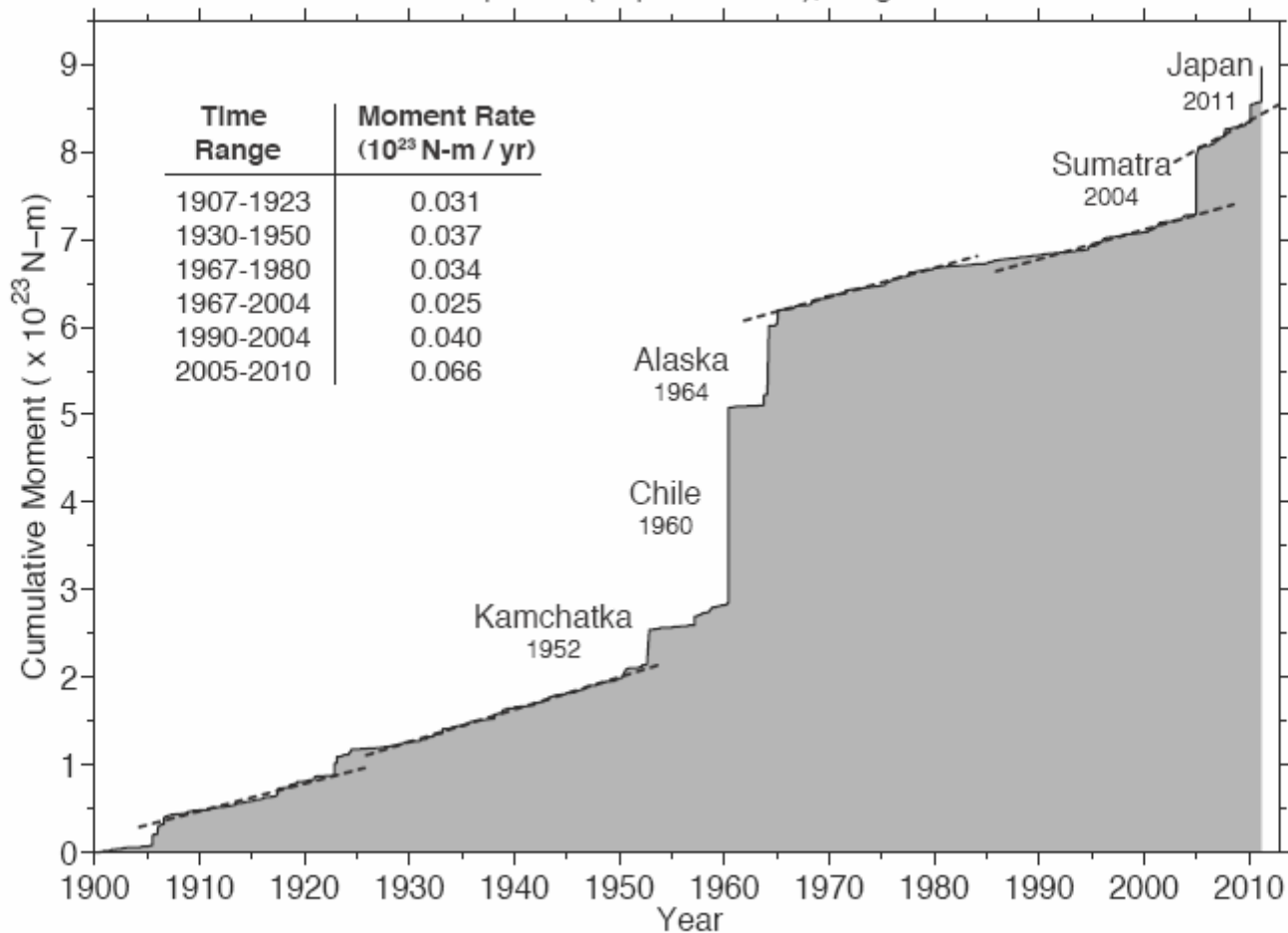


地震学研究所 地震学研究室
http://www.ees.u-tokyo.ac.jp/~earthquake/earthquake.html
地震学研究所 地震学研究室
地震学研究所 地震学研究室
地震学研究所 地震学研究室



マグニチュードは理科年表による

Shallow Earthquakes (Depth ≤ 70 km), Magnitude ≥ 7.0



Data Sources: USGS PAGERCAT and GCMT Catalog

Japan

- 1891 10 27 - Mino-Owari, Japan - M 8.0 Fatalities 7,273
- [1896 06 15 - Sanriku, Japan - M 8.5 Fatalities 27,000](#)
- [1923 09 01 - Kanto \(Kwanto\), Japan - M 7.9 Fatalities 143,000](#)
- [1927 03 07 - Tango, Japan - M 7.6 Fatalities 3,020](#)
- [1933 03 02 - Sanriku, Japan - M 8.4 Fatalities 2,990](#)
- 1943 09 10 - Tottori, Japan - M 7.4 Fatalities 1,190
- [1944 12 07 - Tonankai, Japan - M 8.1 Fatalities 1,223](#)
- 1945 01 12 - Mikawa, Japan - M 7.1 Fatalities 1,961
- [1946 12 20 - Nankaido, Japan - M 8.1 Fatalities 1,330](#)
- 1948 06 28 - Fukui, Japan - M 7.3 Fatalities 3,769
- [1964 06 16 - Niigata, Japan - M 7.5 Fatalities 26](#)
- [1995 01 16 - Kobe, Japan - M 6.9 Fatalities 5,502](#)
- [2000 10 06 - Western Honshu, Japan - M 6.7](#)
- [2003 05 26 - Near the East Coast of Honshu, Japan - M 7.0](#)
- [2003 09 25 - Hokkaido, Japan Region - M 8.3](#)
- [2003 10 08 - Hokkaido, Japan Region - M 6.7](#)
- 2003 10 31 - Off the East Coast of Honshu, Japan - M 7.0
- [2004 05 29 - Off the East Coast of Honshu, Japan - M 6.5](#)
- [2004 09 05 - Near the South Coast of Western Honshu, Japan - M 7.2](#)
- [2004 09 05 - Near the South Coast of Honshu, Japan - M 7.4](#)
- [2004 09 06 - Near the South Coast of Honshu, Japan - M 6.6](#)

$$\begin{aligned} \text{"magnitudo"} &\approx \log E_s \approx \\ &\approx \text{const.} + \log \Delta\sigma + \log M_0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_0 &\approx [u]\Sigma \\ [u] &\approx \Delta\sigma L \\ M_0 &\approx L^3 \Delta\sigma \end{aligned}$$

Mocninné zákony

- $N \sim R^{-D}$
- $\log N \sim -D \log R \sim -D/3 \log M_0 \sim -D/2 M$
- $M_0 \sim R^3$ (neboť $M_0 \sim [u]\Sigma \sim [u]R^2$ a $[u] \sim R$)
- $M \sim 2/3 \log M_0$

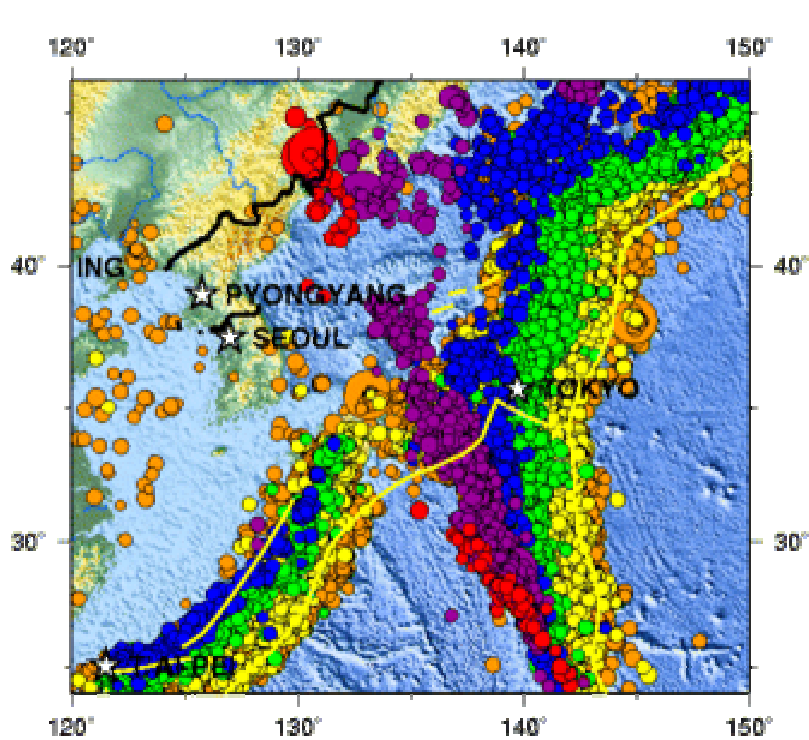
- $\log N = a - b M$

(1 rok, svět, $a=8$, $b=1$, $D=2$)

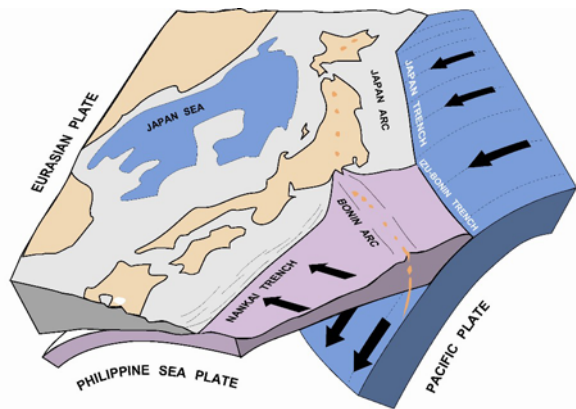
Litosférické desky

Příčinou zemětřesné činnosti je interakce desek na jejich styku.

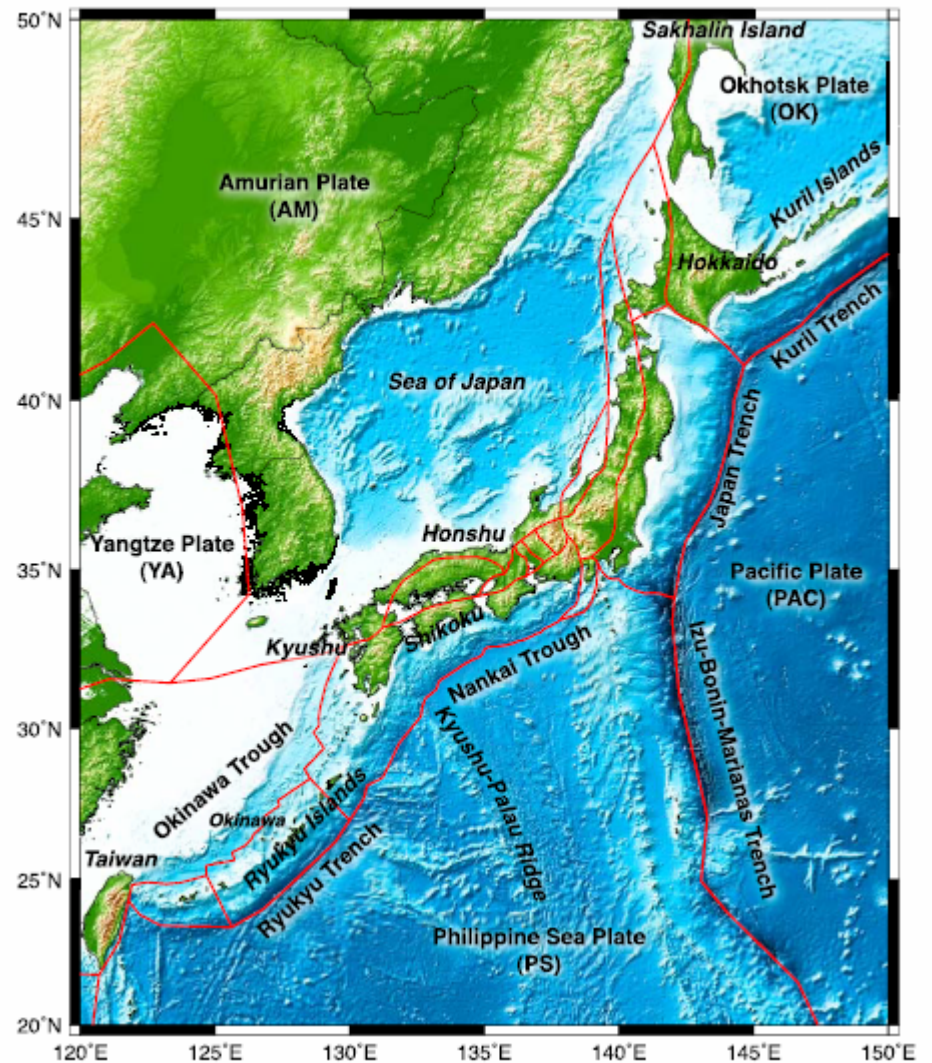
Různé reologické vlastnosti v různém časovém měřítku (milióny let – sekundy).



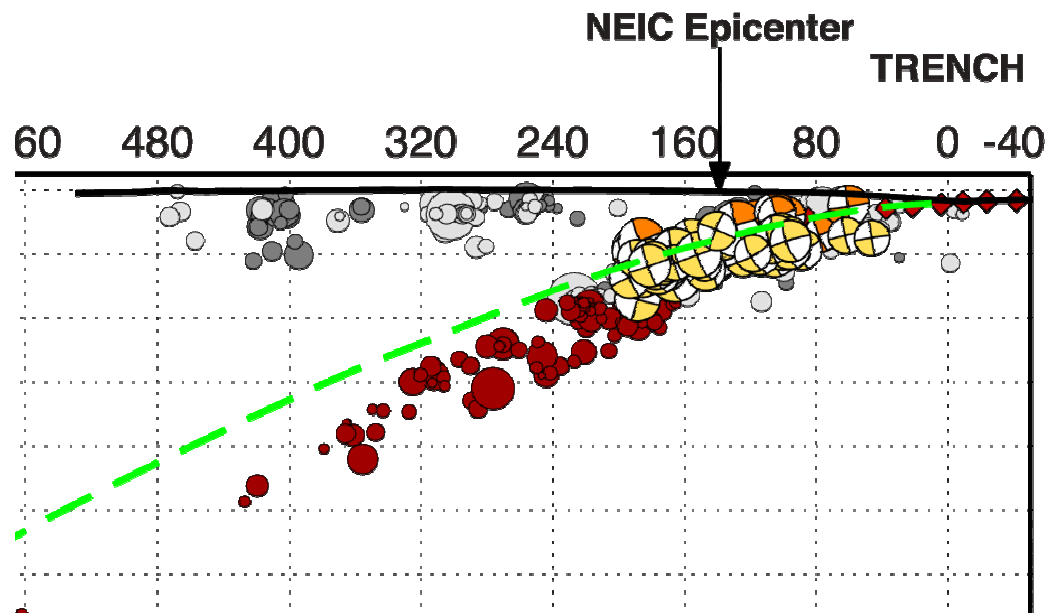
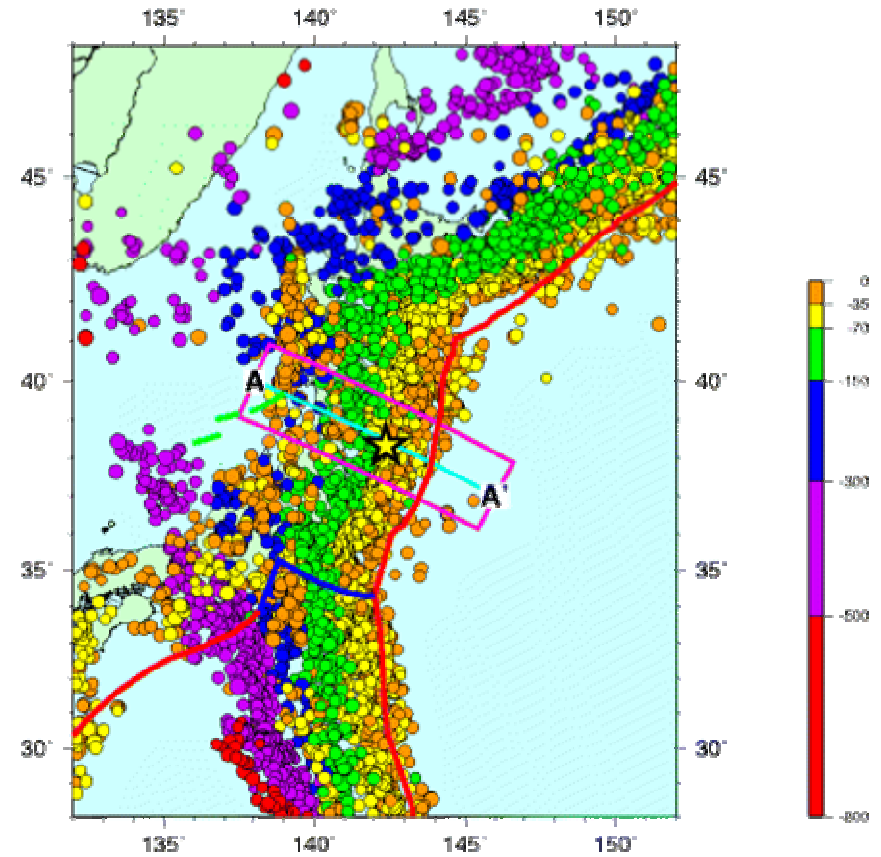
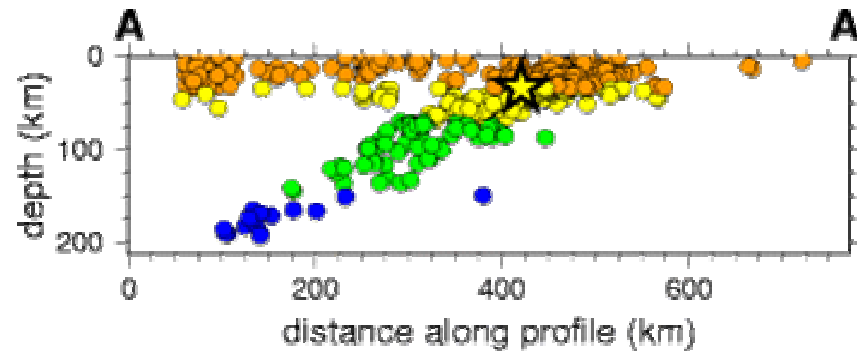
Seismicity of Japan, 1990 - 2006



LOVELESS AND MEADE: JAPAN BLOCK MODELING



Subdukce



**Zemětřesení „mapují“ deskové rozhraní
(okrajová podmínka dalších modelů).**

**Subdukce probíhá jako skluz s
lokálním a dočasným zaklesnutím.**

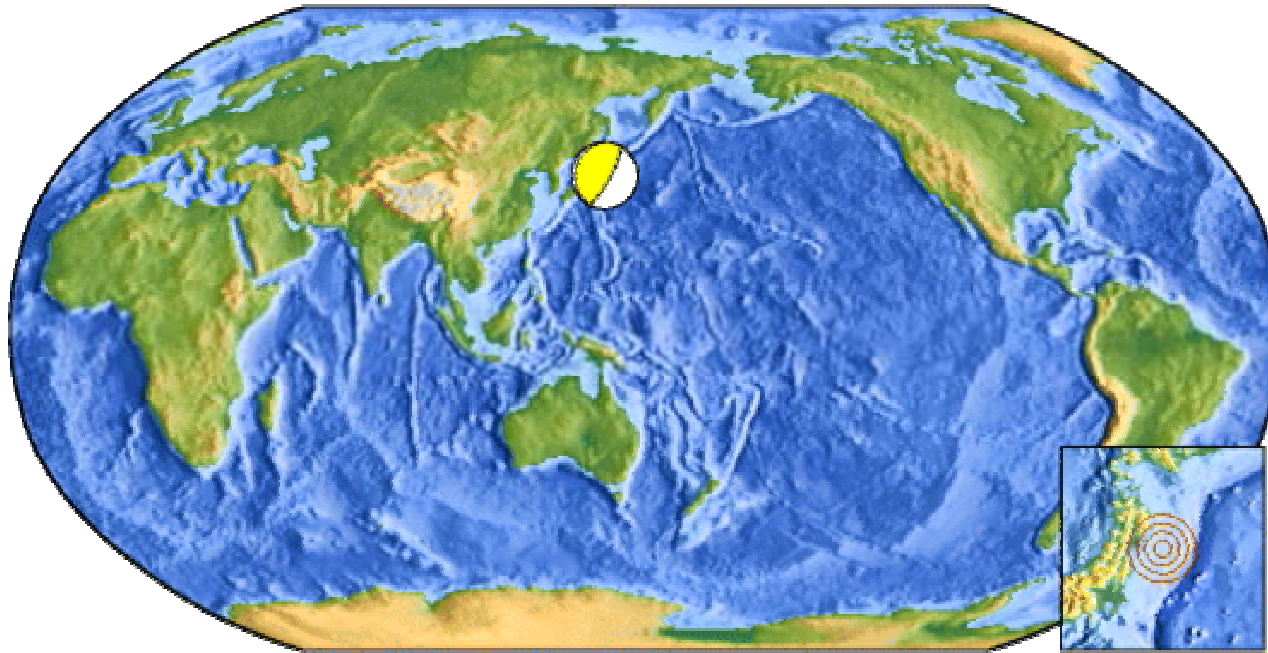
**Modelování subdukce jako tečení:
viz např. doc. H. Čížková.**

Hlavní otřes.

Určení polohy, velikosti a mechanismu jevu je rutinní záležitost automatických seismických sítí.

Problematika přesnosti a rychlosti odhadu je základní výzkum.

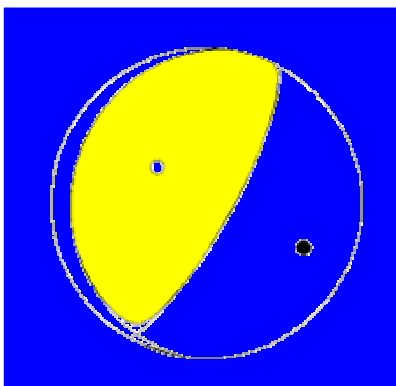
Mw 9.0
USGS Centroid Moment Tensor Solution



Date: 11 MAR 2011
Time: 05:46:23.82
Epicenter: 38.308 142.383
Depth: 10 km

První odhady velkých zemětřesení
jsou výrazně podceněny !
Např. M 7 místo M 9,
čili energie 1000x menší.

Nejistota v poloze závisí na použité síti stanic.
První odhady ze vzdálených stanic mají
neurčitost řádu 10 km,
v hloubce i více než 10 km.



Mechanismus ohniska
(stereografická projekce
zlomové plochy).

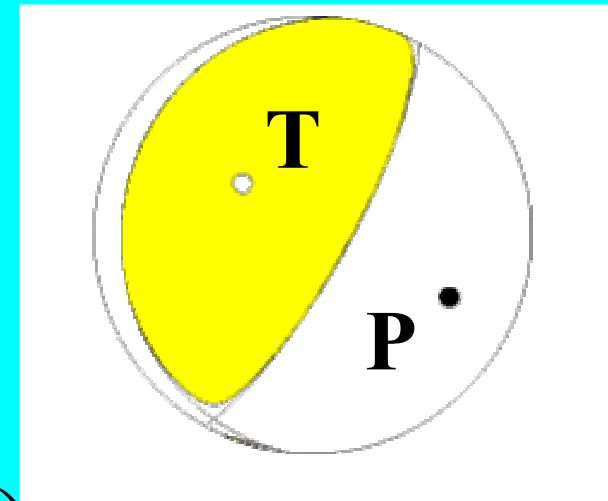
momentový Greenův
tenzor tenzor
vlnové pole

$$u_i = M_{pq} * G_{ip,q}$$

Spec. : $u \perp v$

$$M_{pq} = \begin{pmatrix} \mu[u] & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\mu[u] \end{pmatrix}$$

P, T, B ... vlastní vektory M_{pq}



Globální seismická síť.

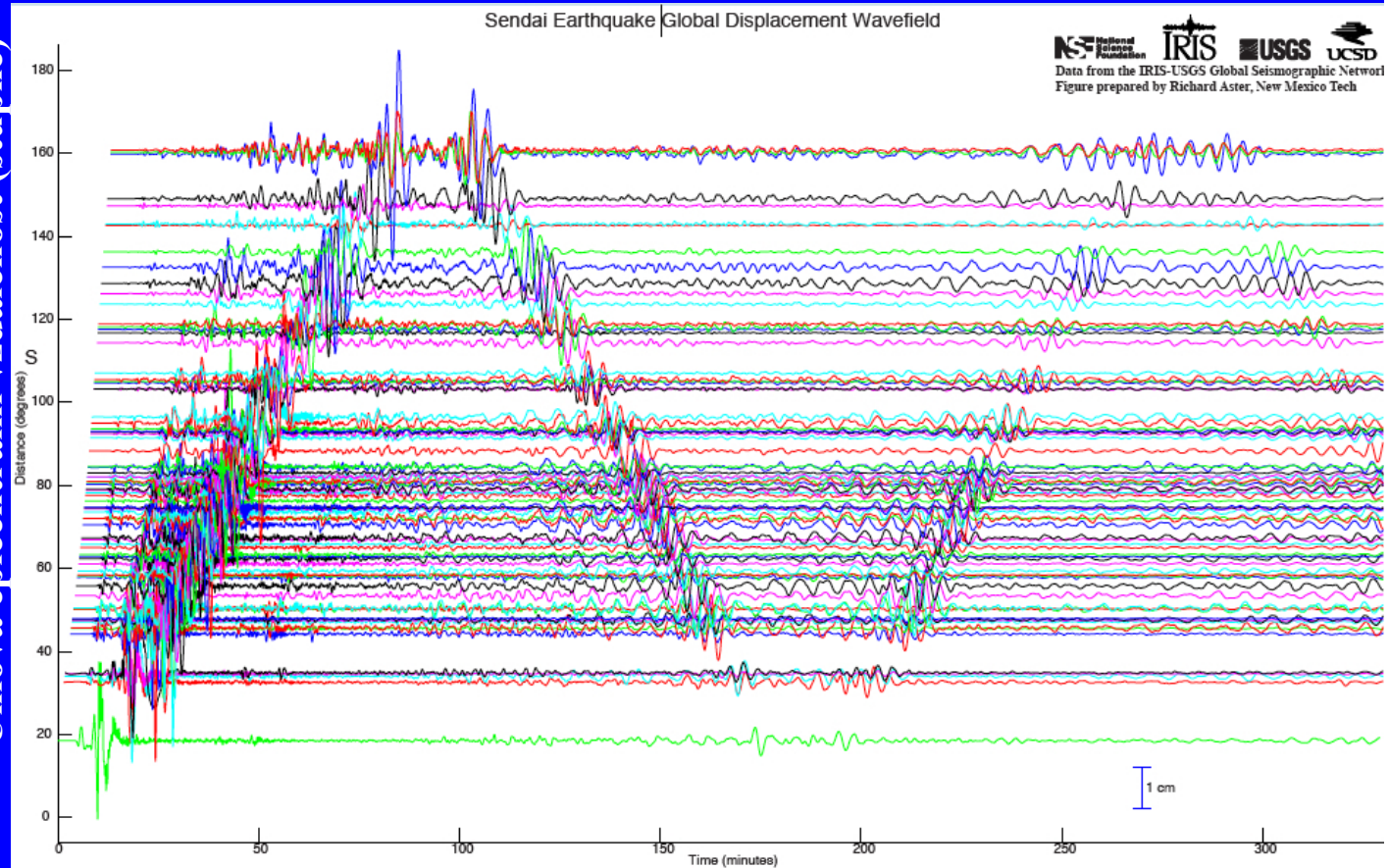
Lokace během minut.

Rychlost vln $\sim 10^4$ km/hod.

Dlouhé vlny (informace o trvání zlomového procesu)
jsou relativně pomalé, možné podcenění velikosti.



Úhlová epicentrální vzdálenost (stupně)



Čas (minuty)

300 min

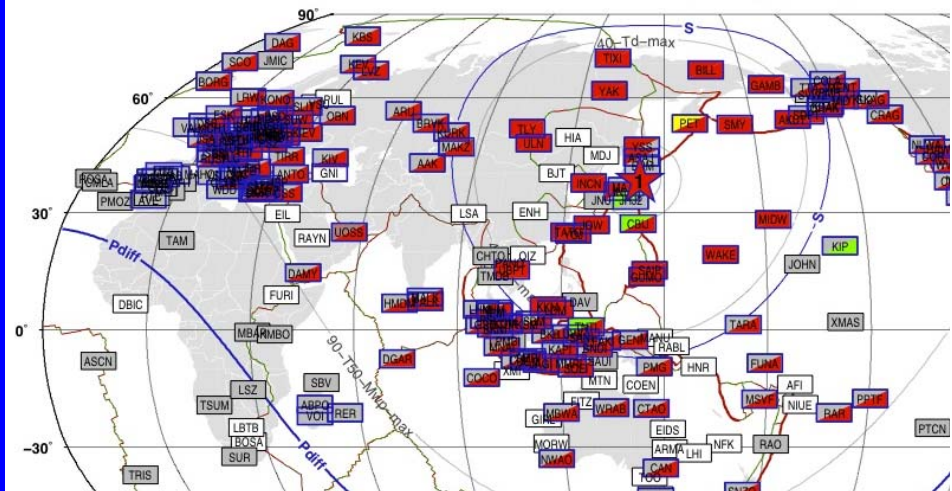
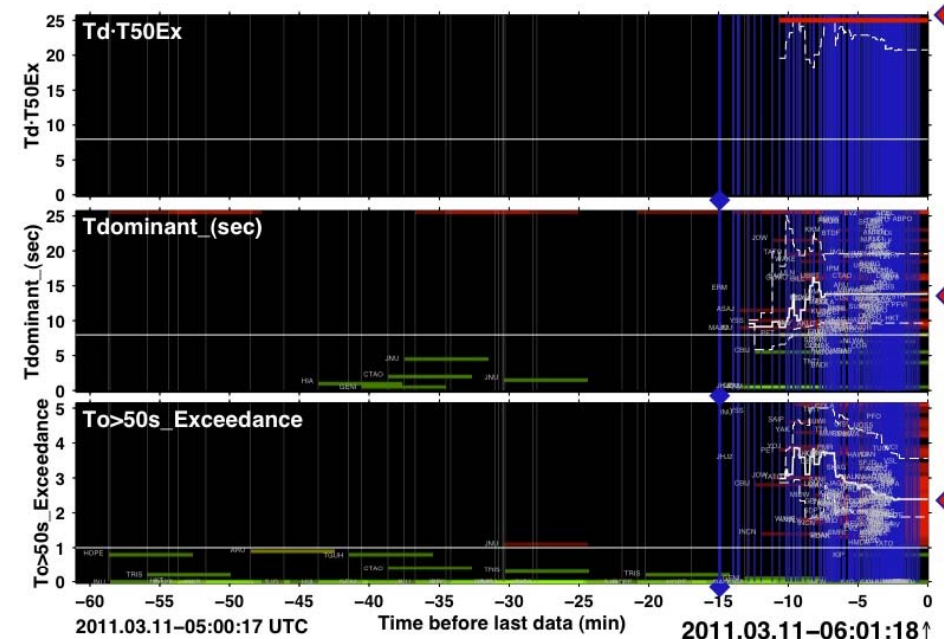
Tsunami early warning using earthquake rupture duration and *P*-wave dominant-period: the importance of length and depth of faulting

Anthony Lomax¹ and Alberto Michelini²

The „earthquake monitor“ (INGV, Rome) located the mainshock at origin time (OT) +3min,

and indicated:

- $M_{wp}=8.2-8.5$ at OT+4min
- A very high tsunami warning level at OT+8min,



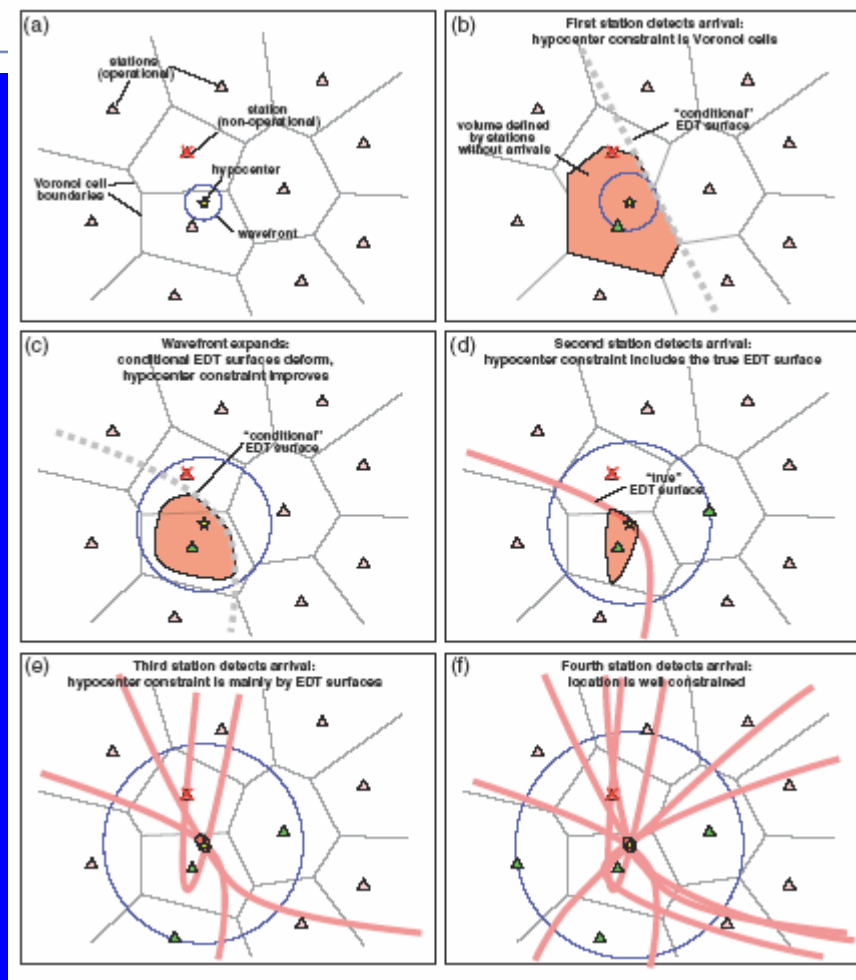
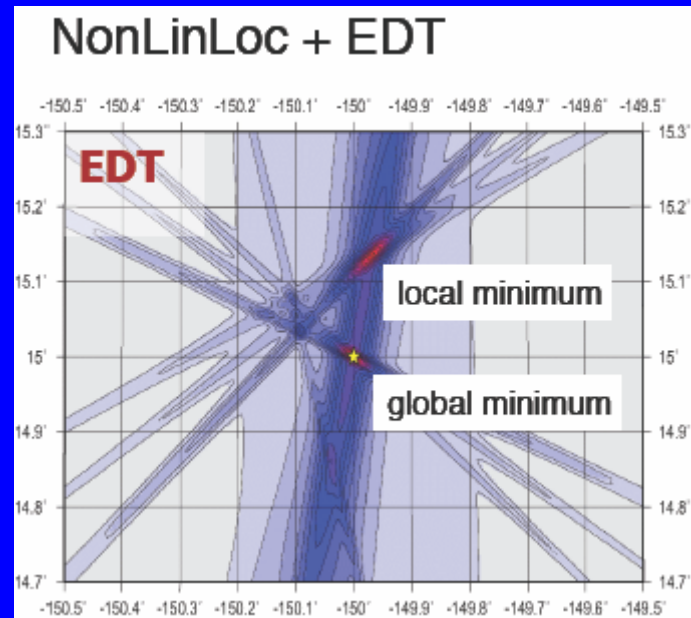
Systemy rychlého varování z blízkých stanic

Příklad z Itálie, na němž se podílel
F. Gallovič. Jeho syntetické seismogramy
sloužily pro testování systému.

Real-Time Evolutionary Earthquake Location for Seismic Early Warning

by Claudio Satriano, Anthony Lomax, and Aldo Zollo

$$pdf(\mathbf{x}) \propto \sum_{obs_a, obs_b} e^{-\frac{[Tobs_a(\mathbf{x}) - Tobs_b(\mathbf{x})] - [Tcalc_a(\mathbf{x}) - Tcalc_b(\mathbf{x})]}{\sigma^2}}^N$$



Performance Test of Earthquake Early Warning System in Southern Italy

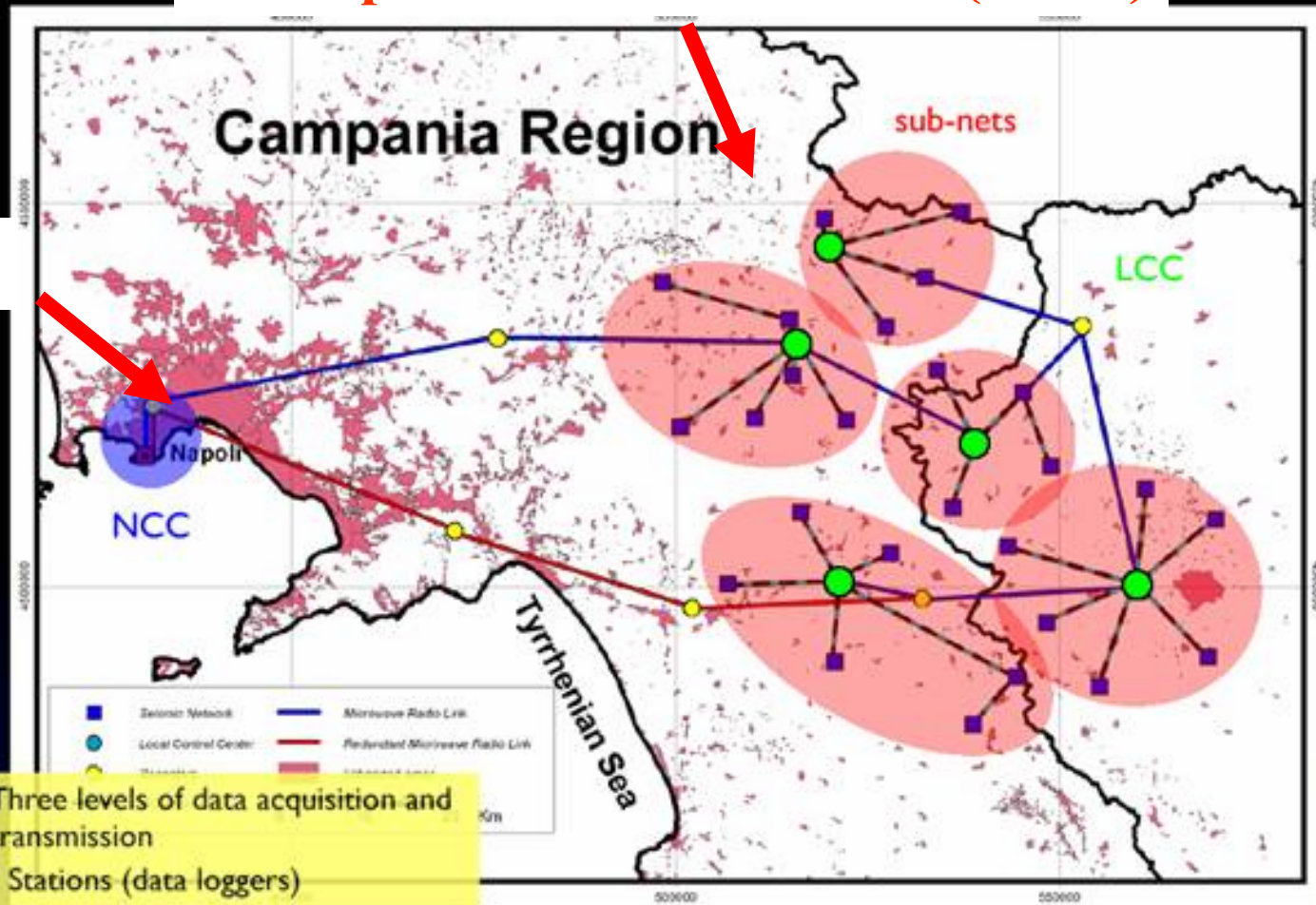
Zollo A (1), Iannaccone G (2), Cantore L (1), Convertito V (2), Emolo A (1), Festa G (1), Gallovic F (3), Lancieri M (2), Martino C (4), Satriano C (4), Vassallo M (4)

(1) Università di Napoli Federico II, Naples, (2) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Naples, (3) Dept. of Geophysics, Charles University in Prague, Czech Republic, (4) AMRA S.C.A.R.L, Naples

The Irpinia Seismic Network (ISNet) future Earthquake Early Warning System

The Irpinia Seismic Network (ISNet)

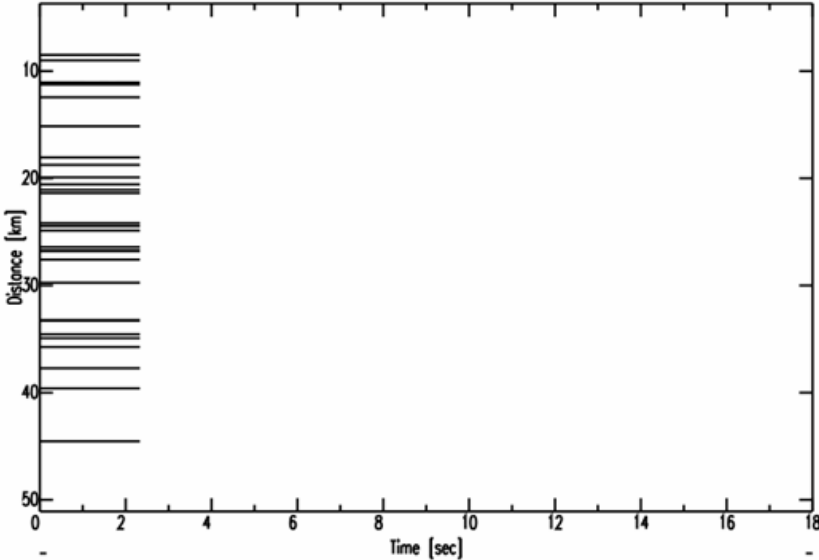
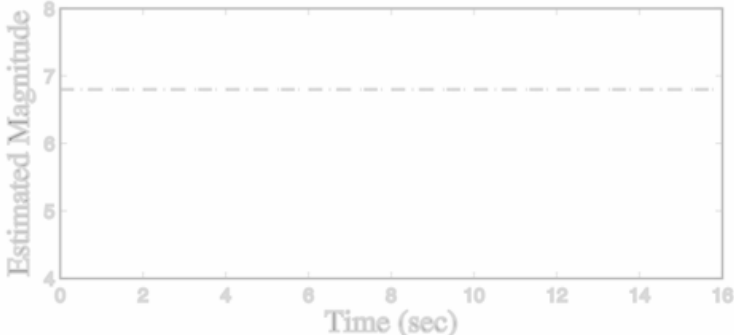
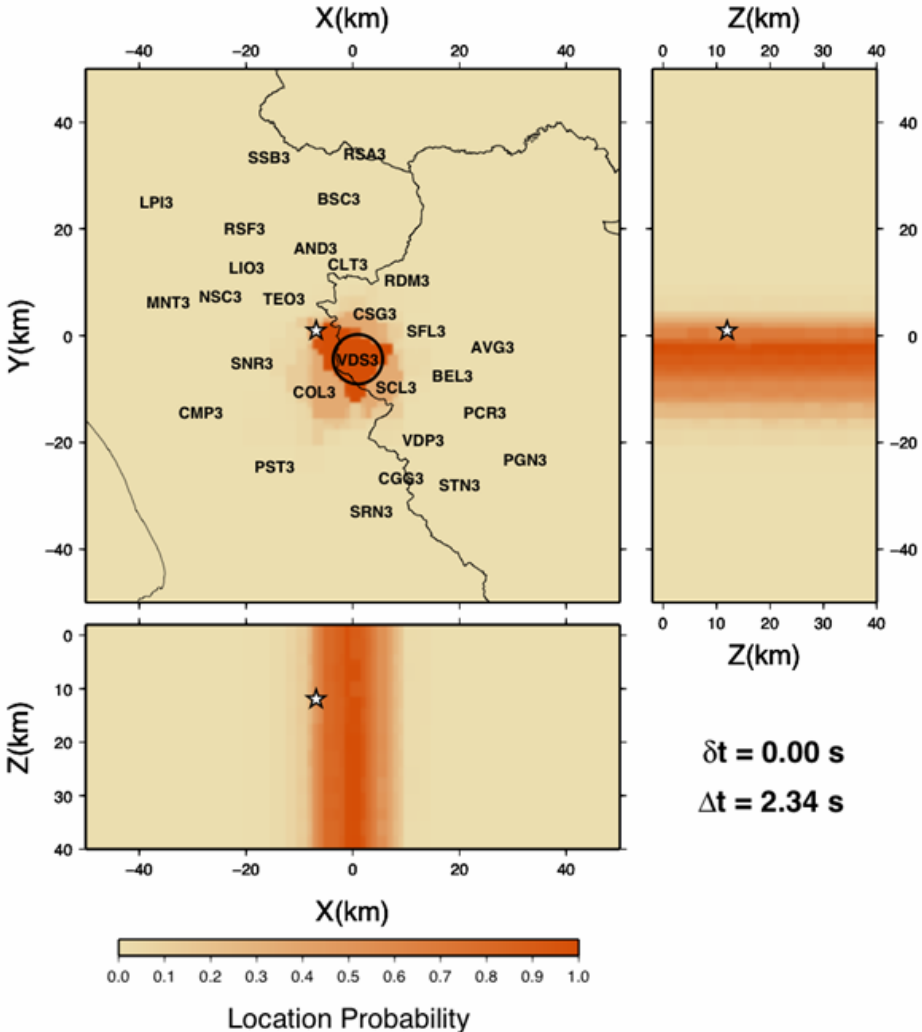
NAPLES



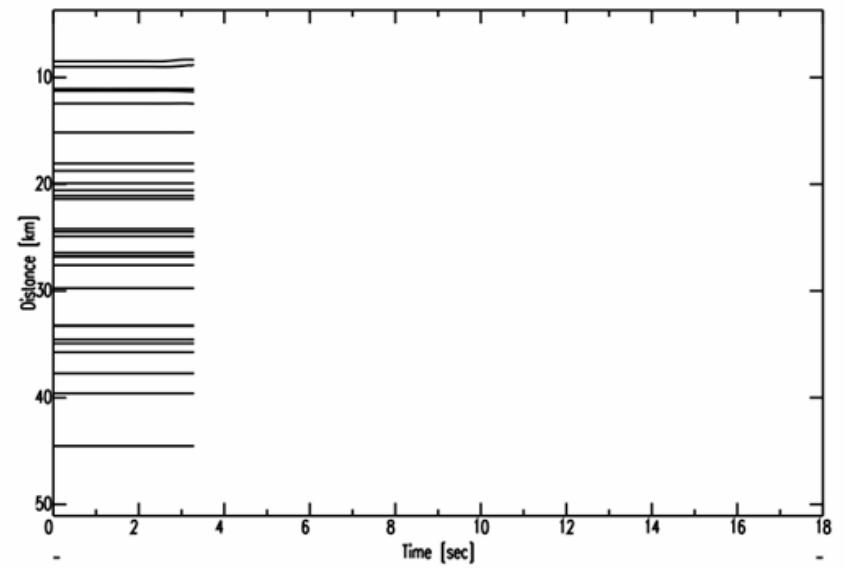
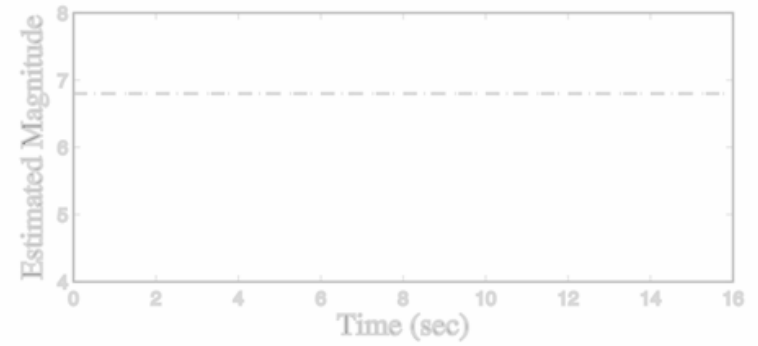
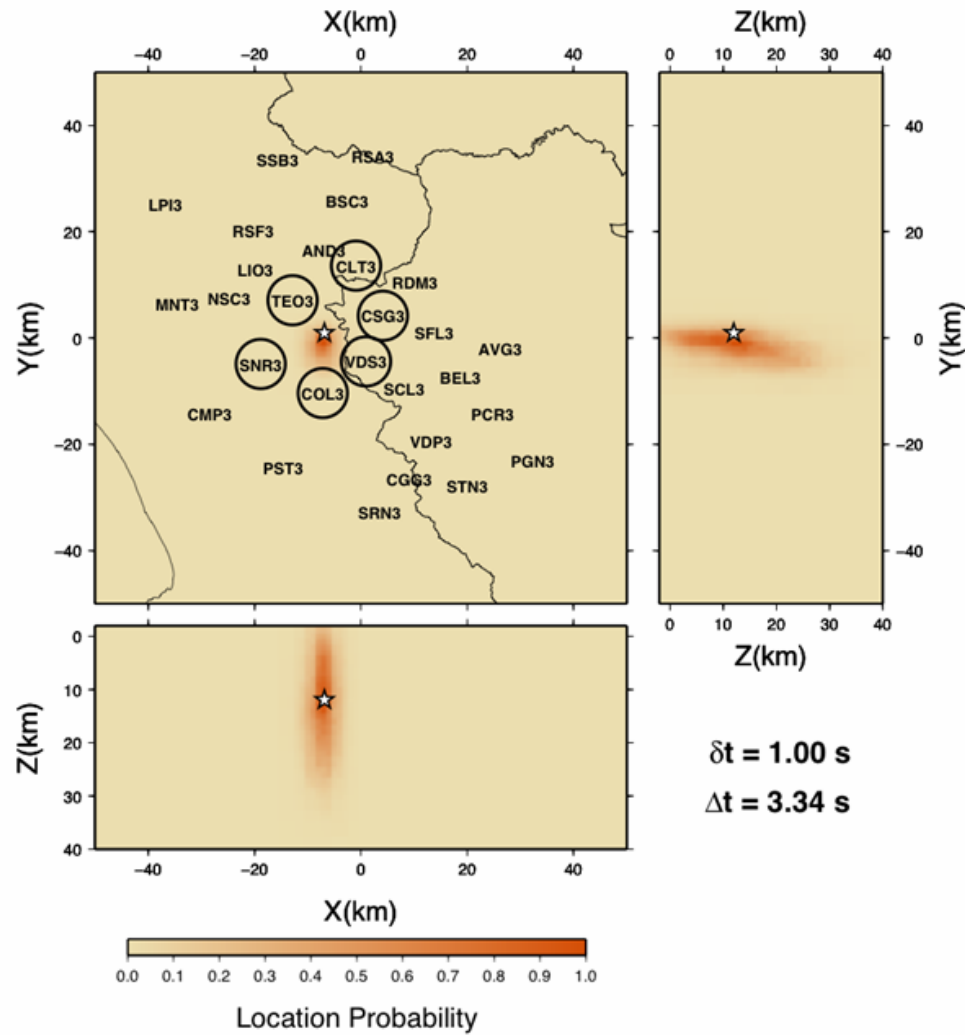
Three levels of data acquisition and transmission

- Stations (data loggers)
- Local Control Centers (sub-nets)
- Network Control Center (Naples)

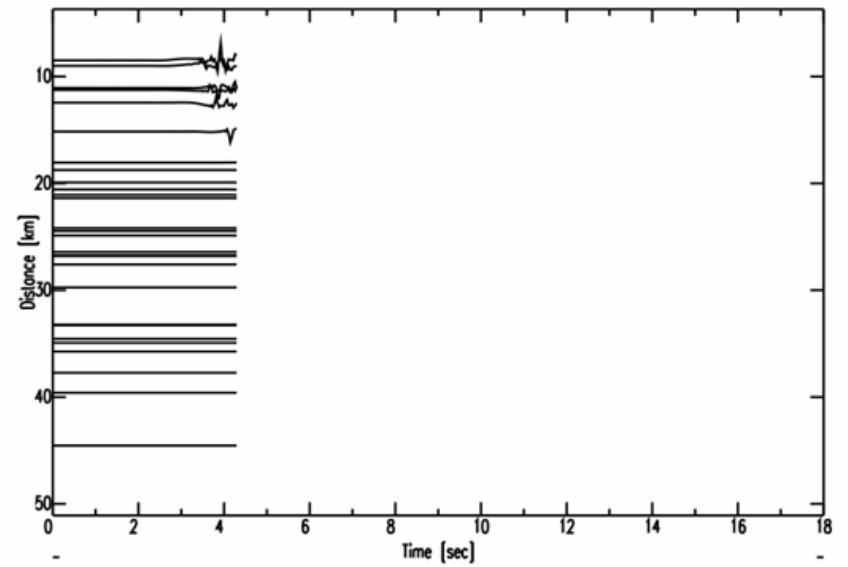
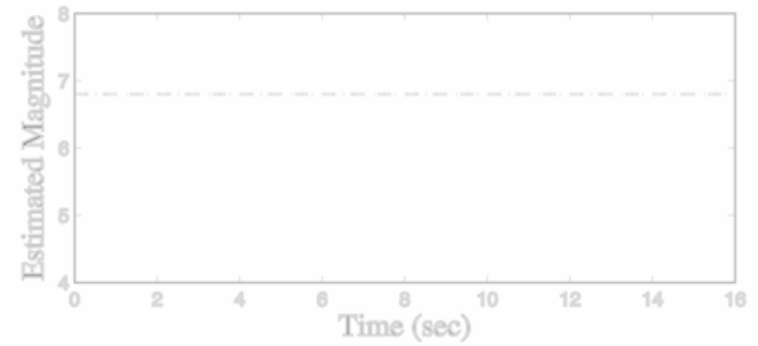
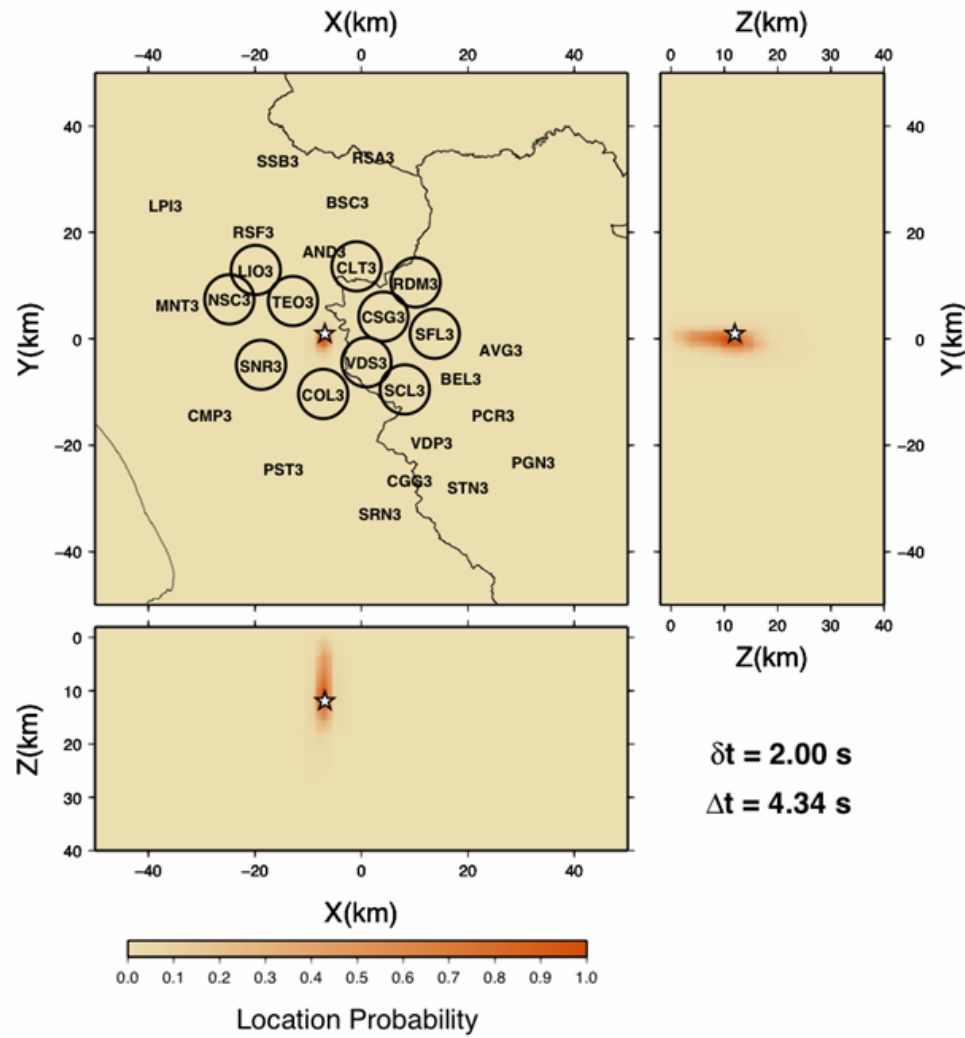
Tempo 0 s (Primo trigger)



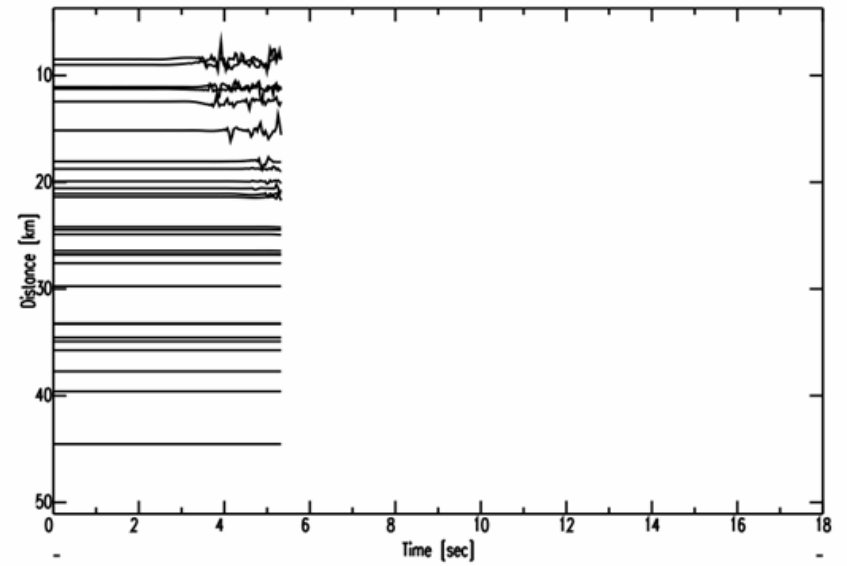
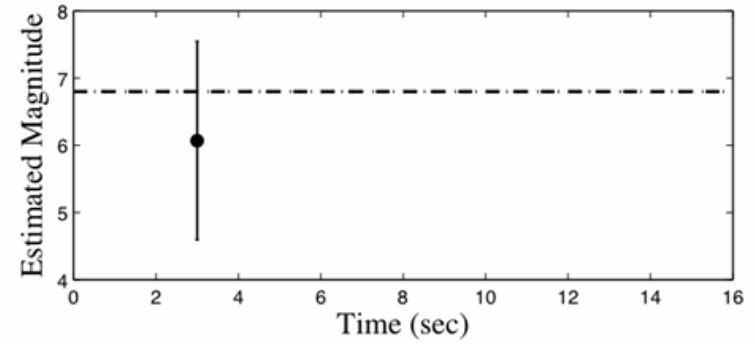
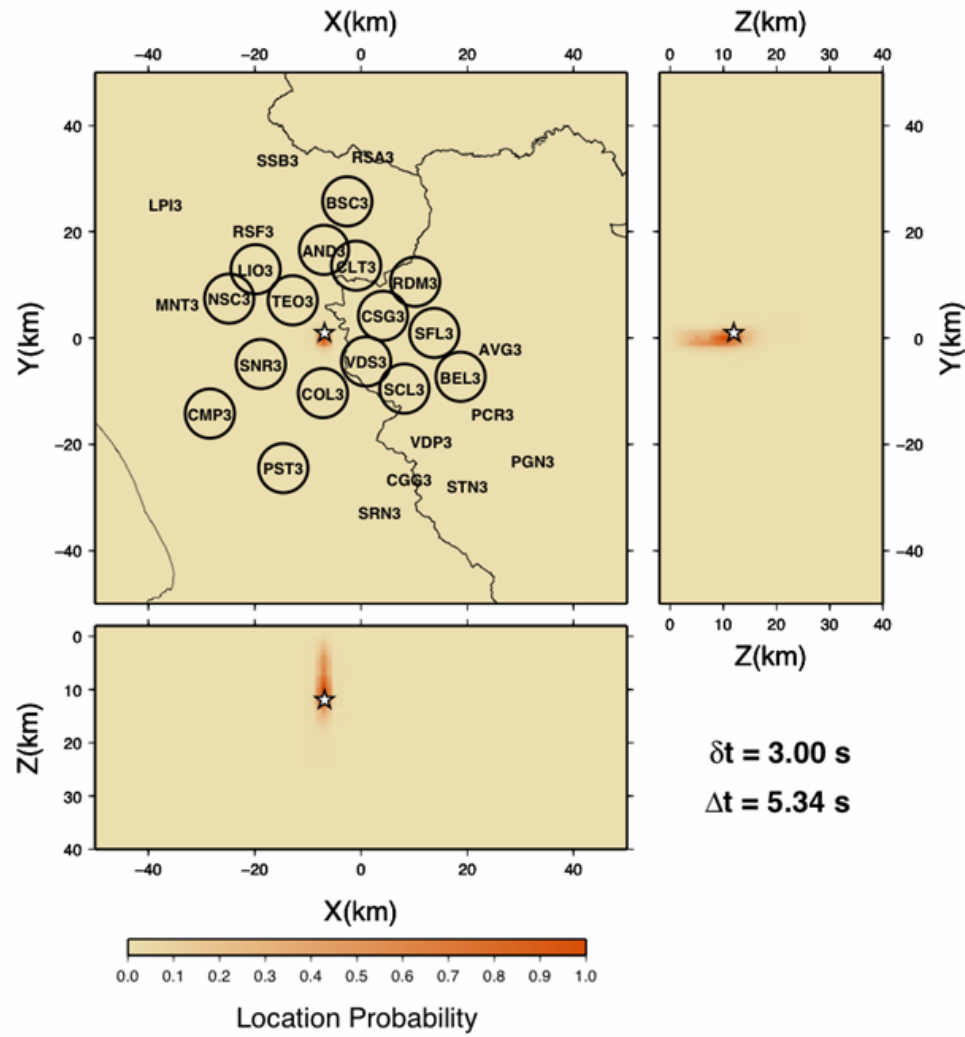
Tempo 1 s



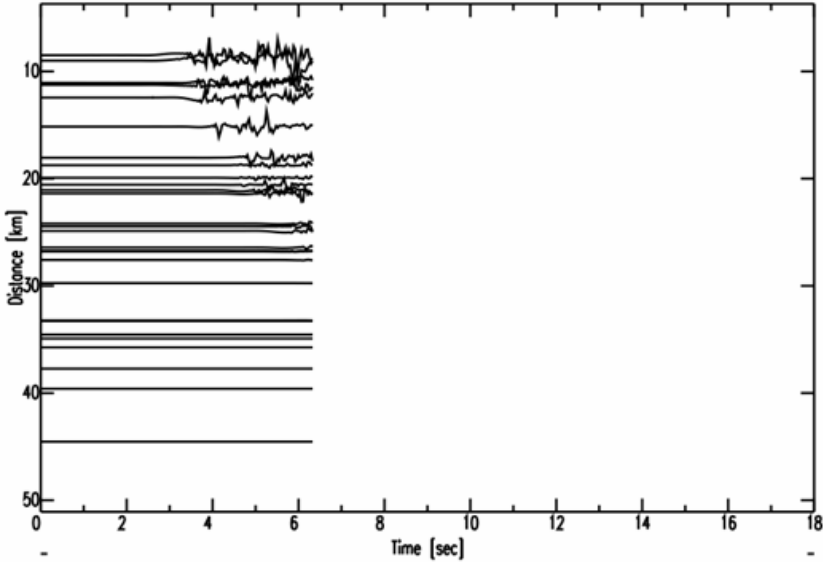
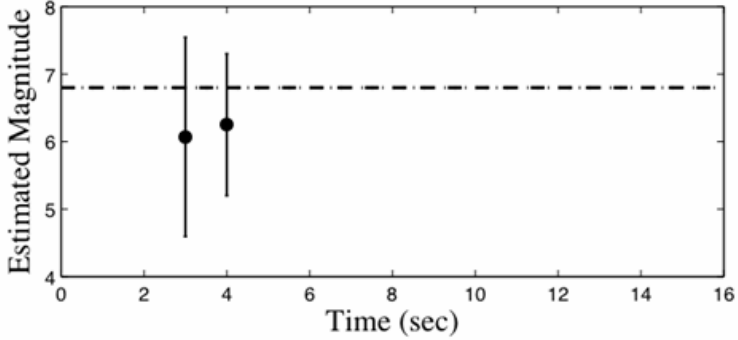
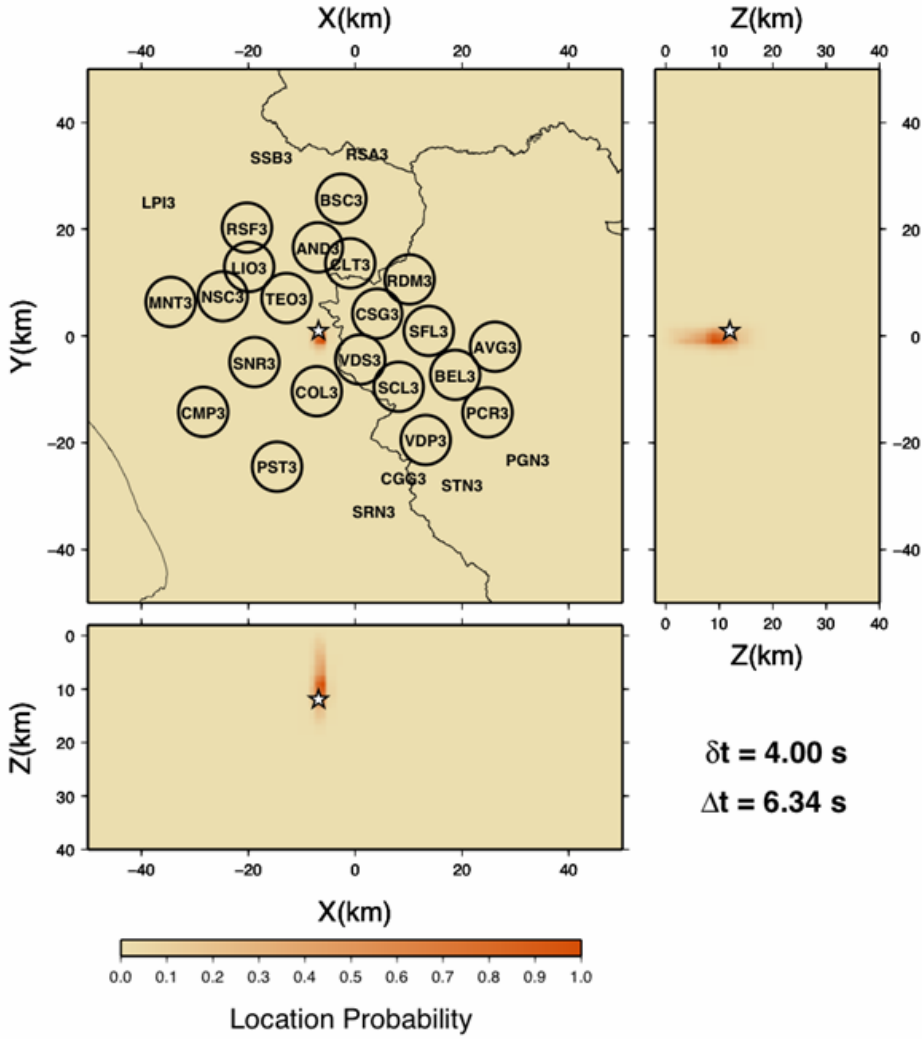
Tempo 2 s



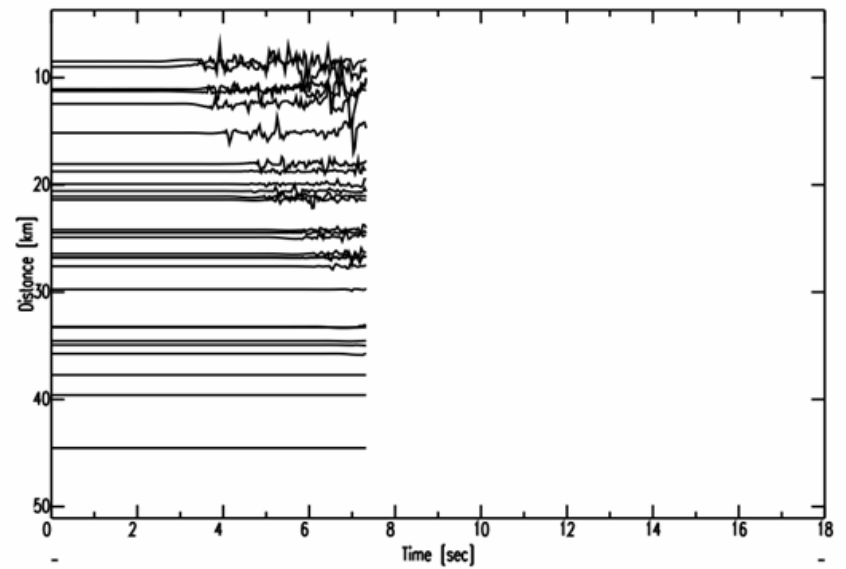
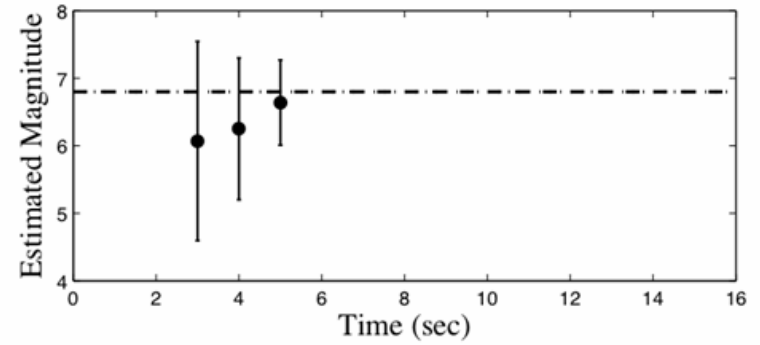
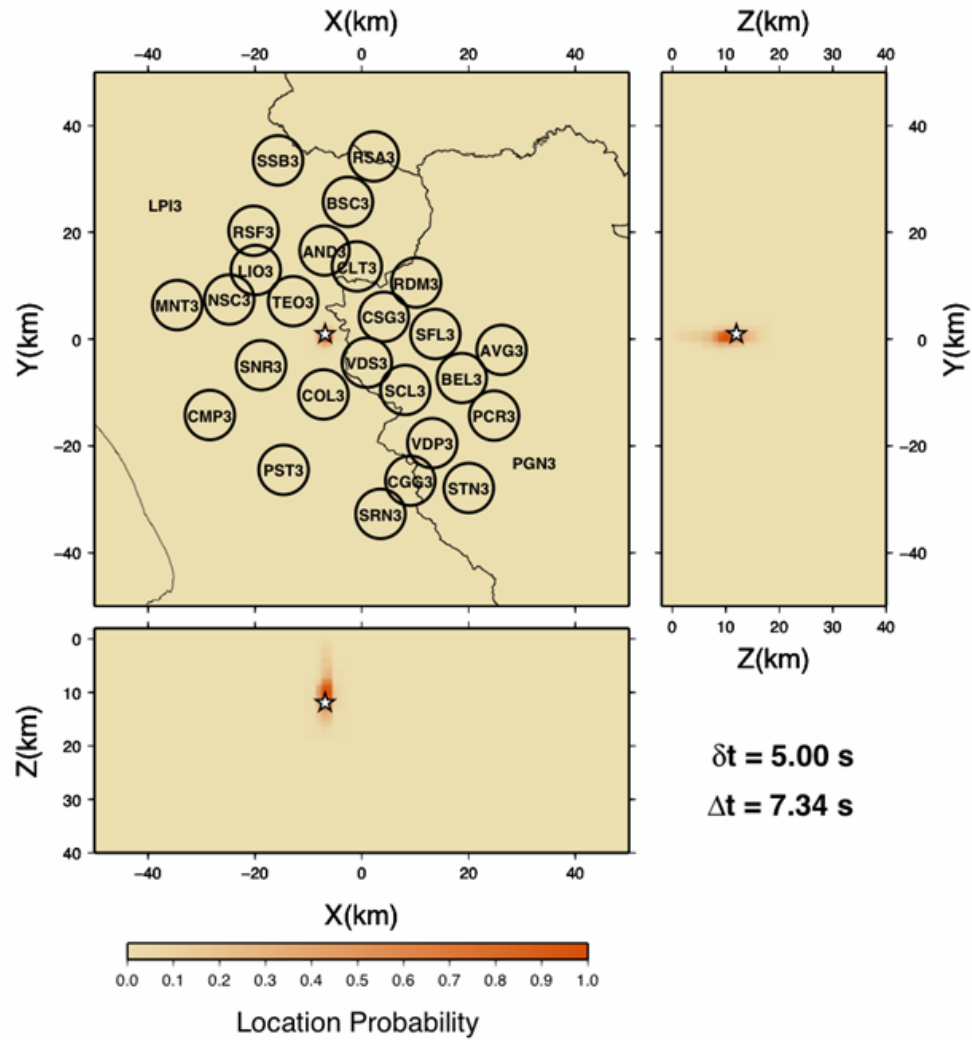
Tempo 3 s



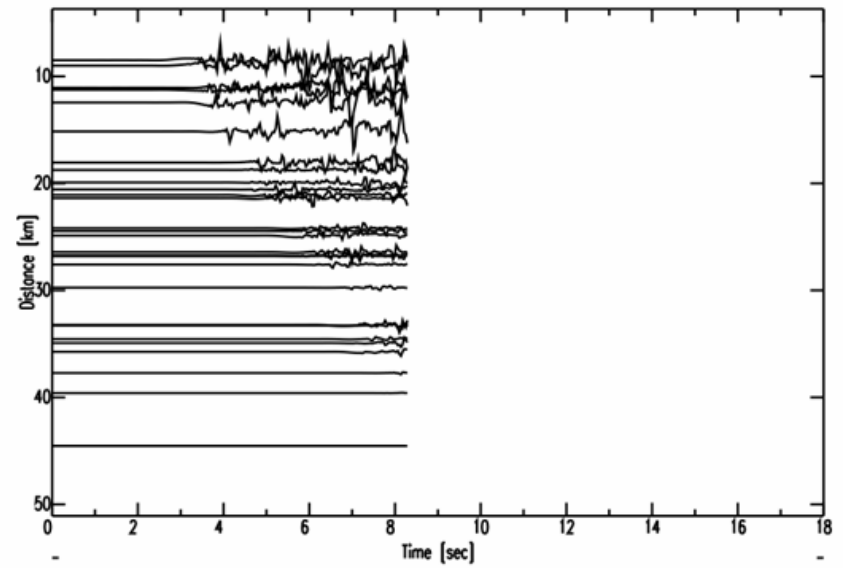
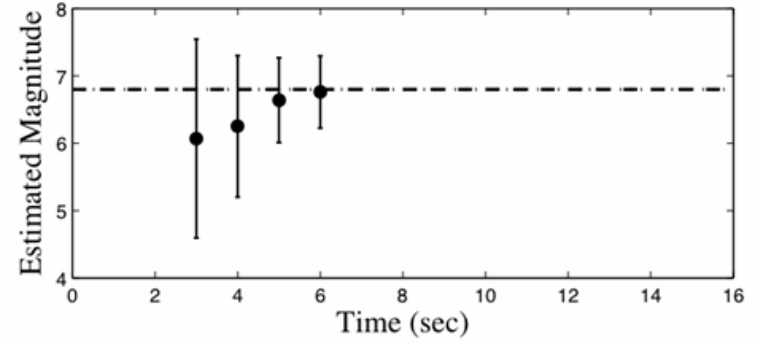
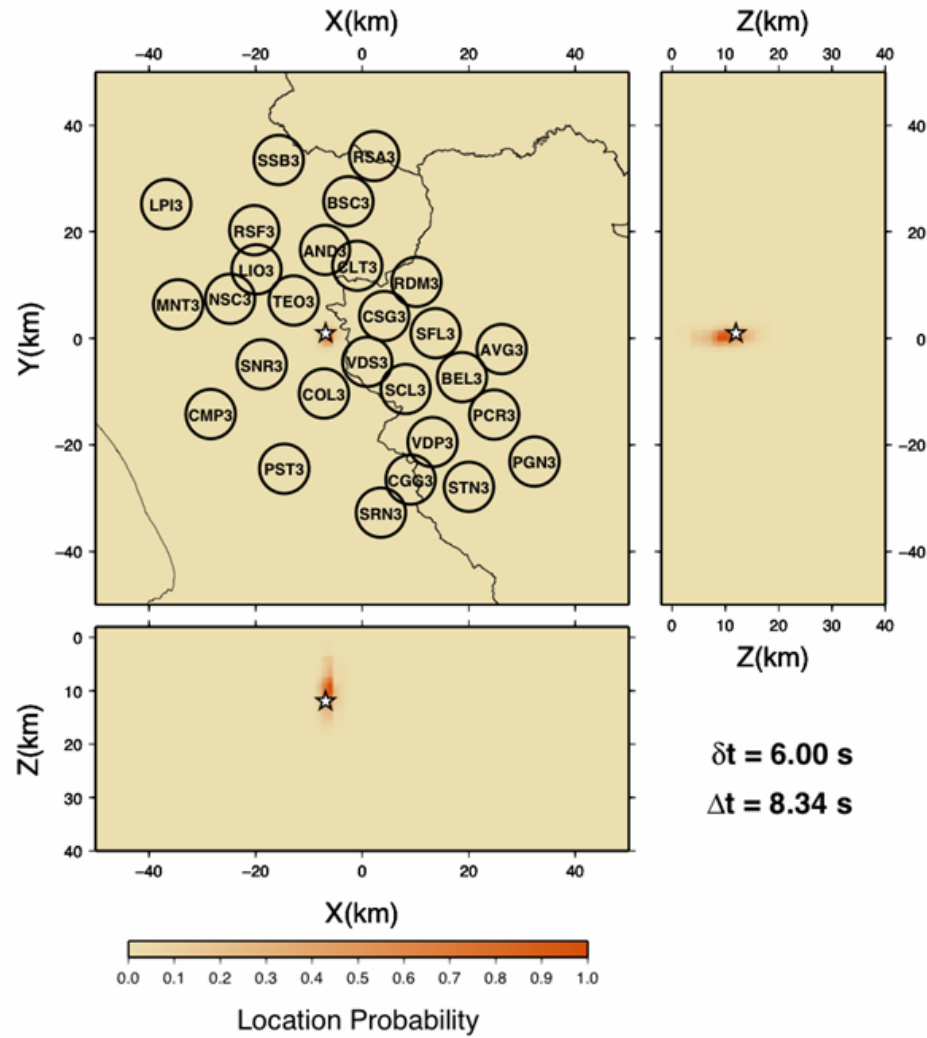
Tempo 4 s



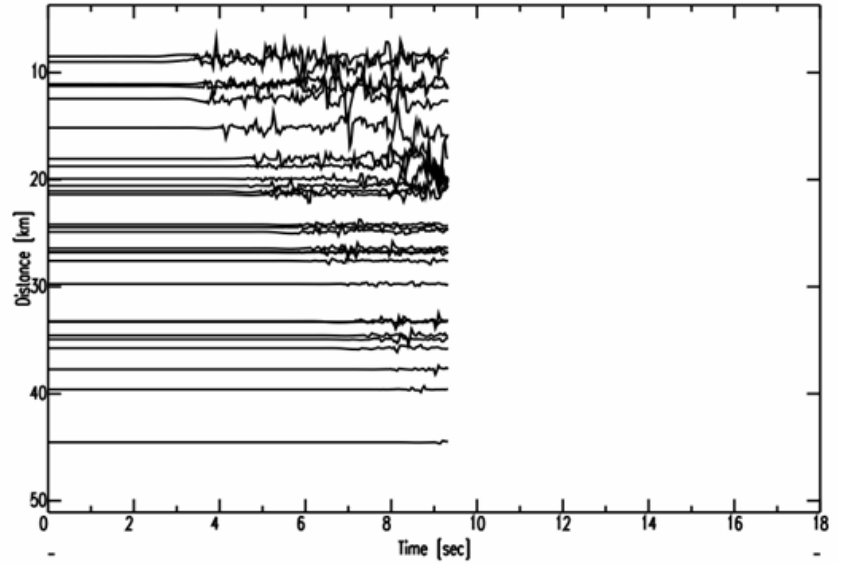
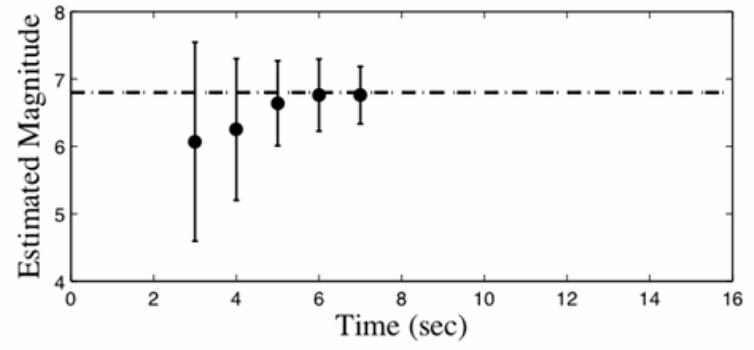
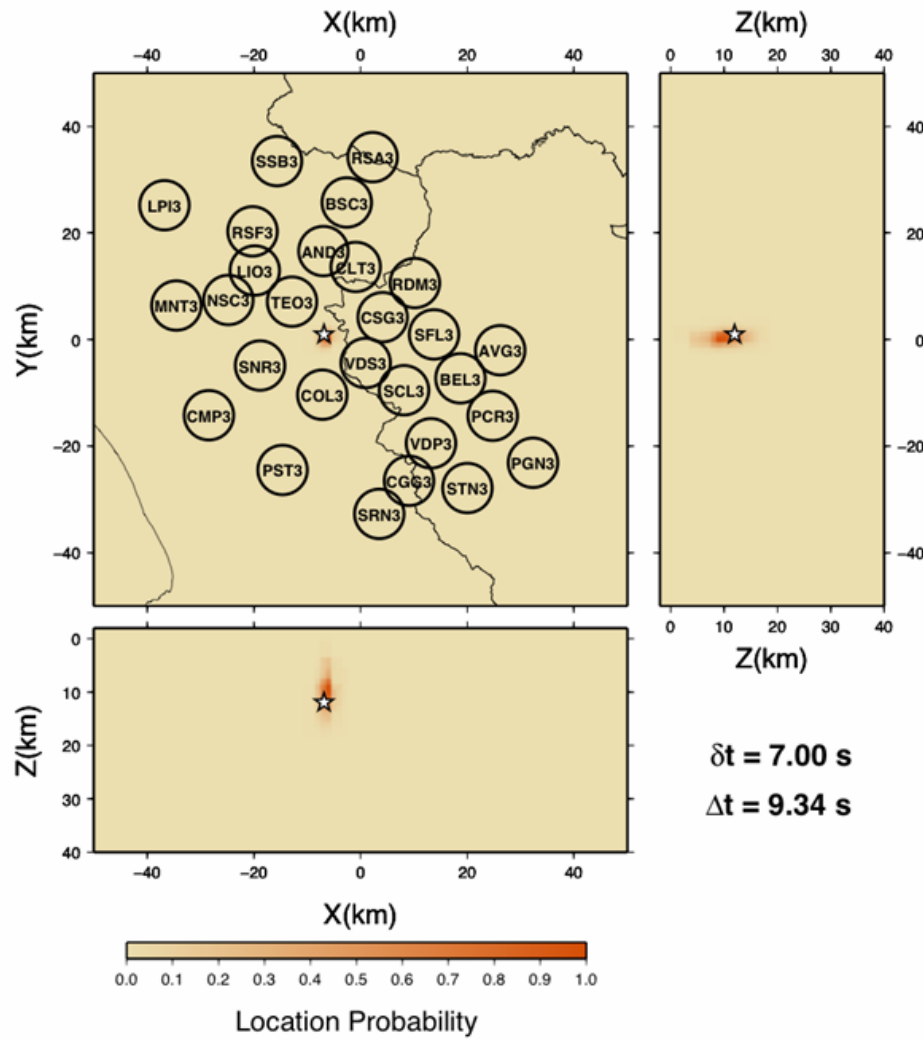
Tempo 5 s



Tempo 6 s

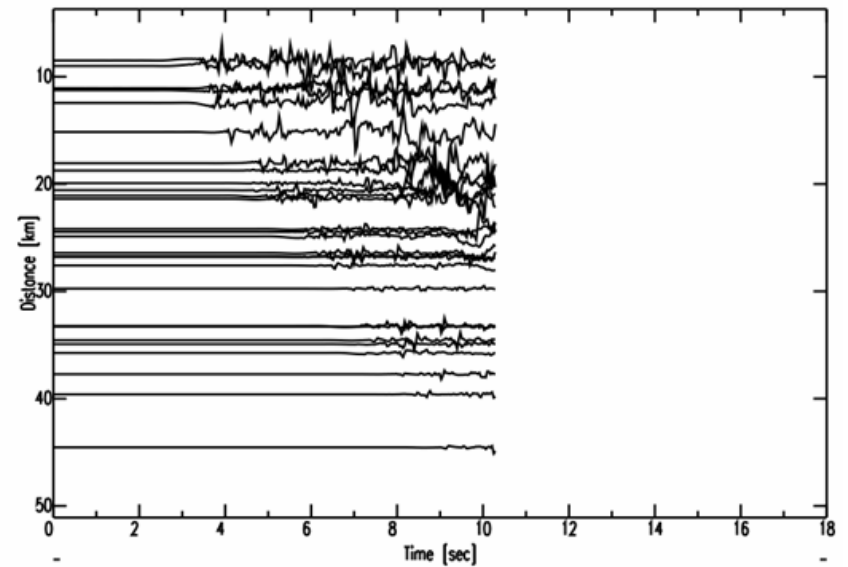
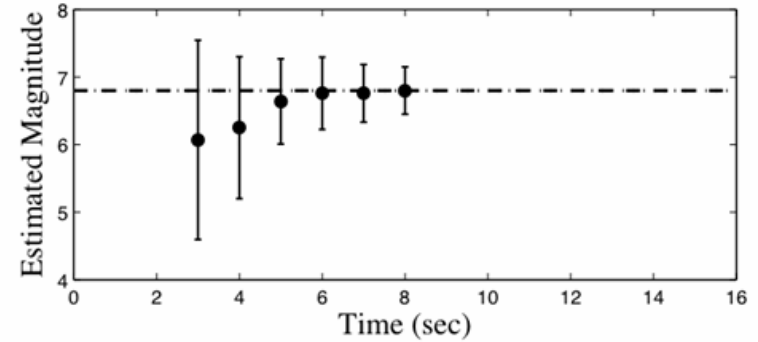
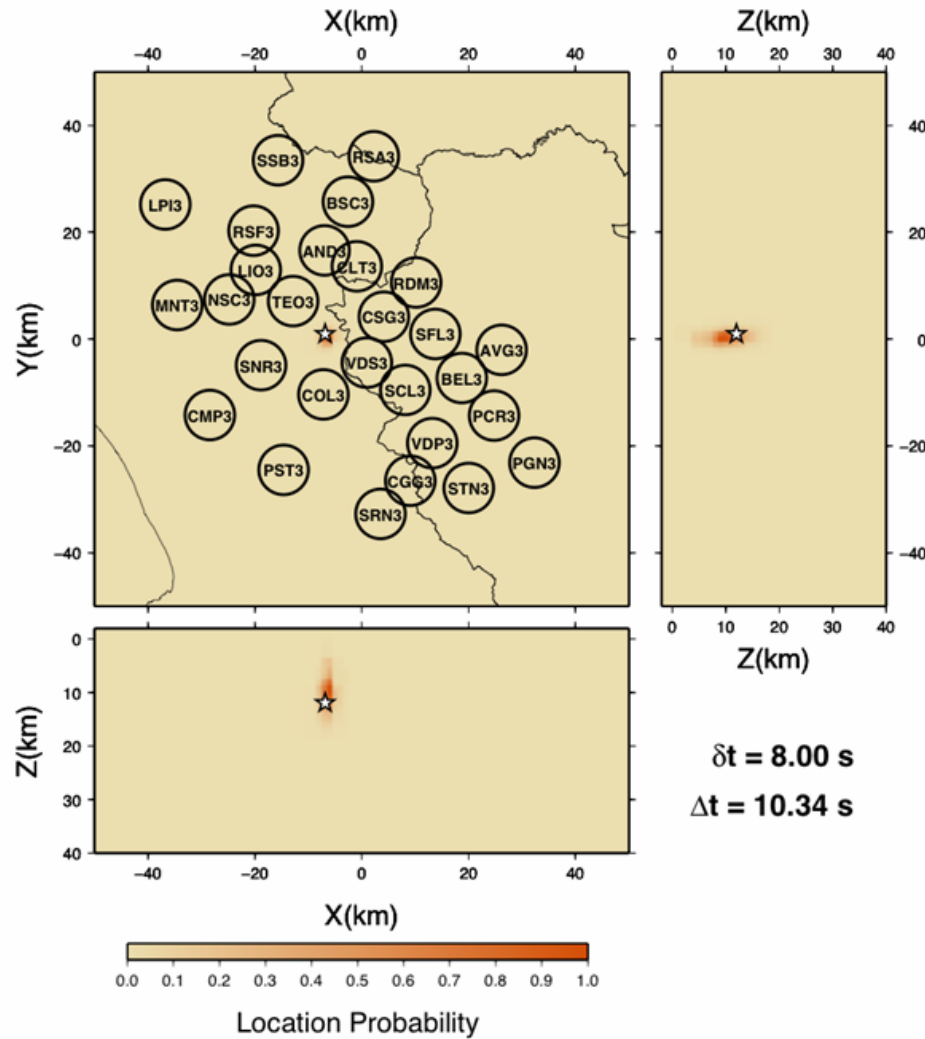


Tempo 7 s

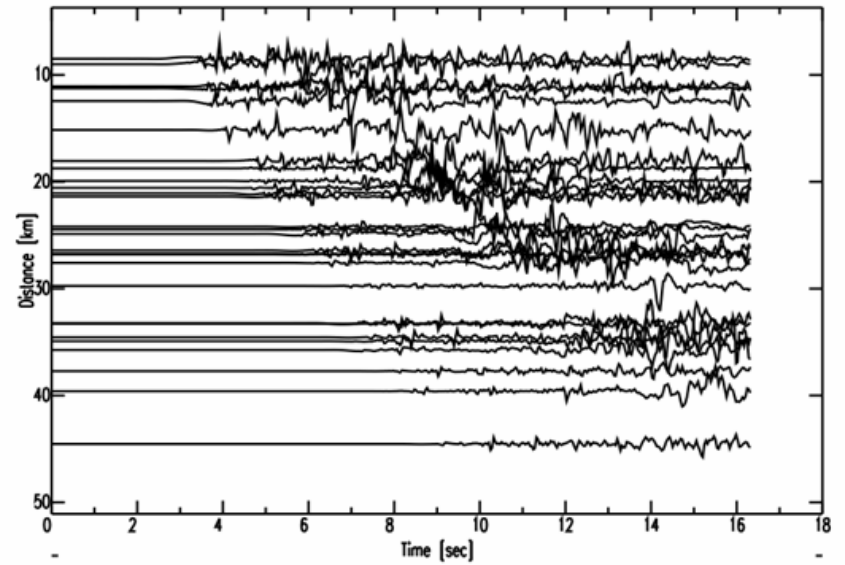
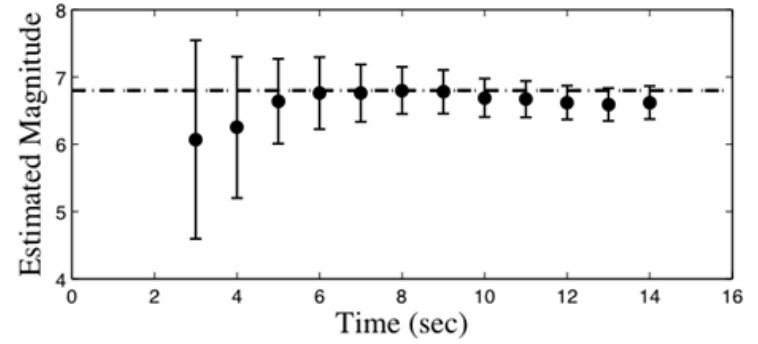
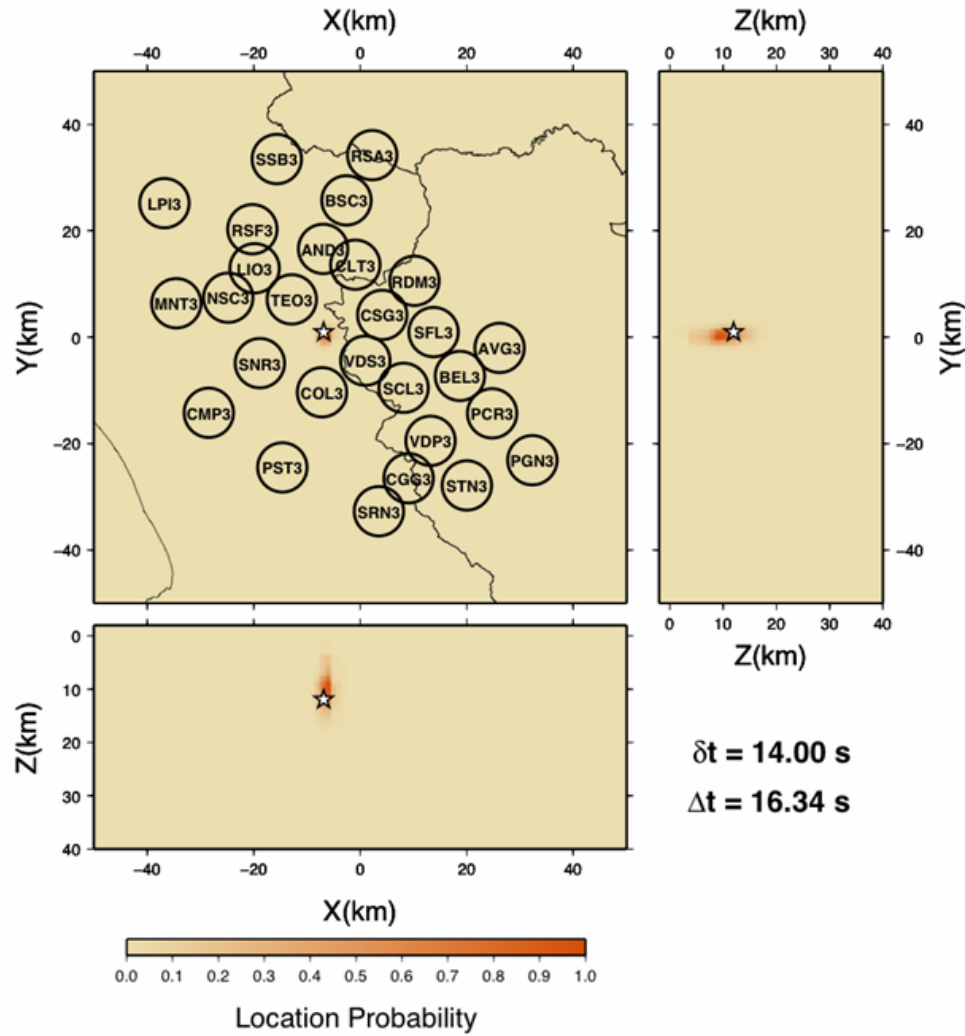


Tempo 8 s

Výstraha do Neapole (za 20-25 sekund přijde zemětřesení)...

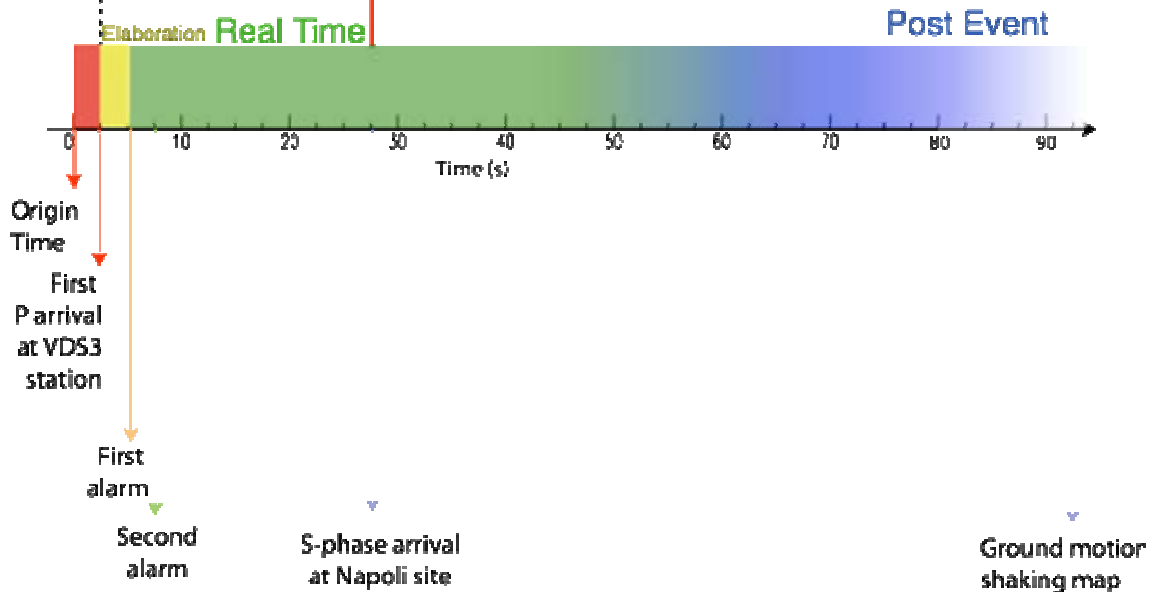
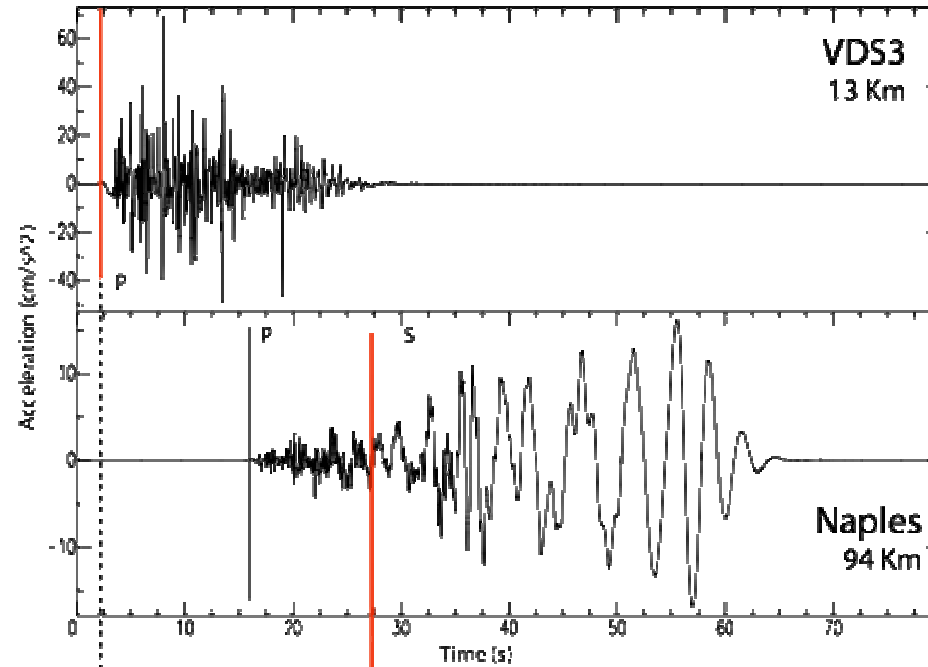


Tempo 14 s



Simulated ground-motion at the first triggering station

Simulated ground-motion at Naples

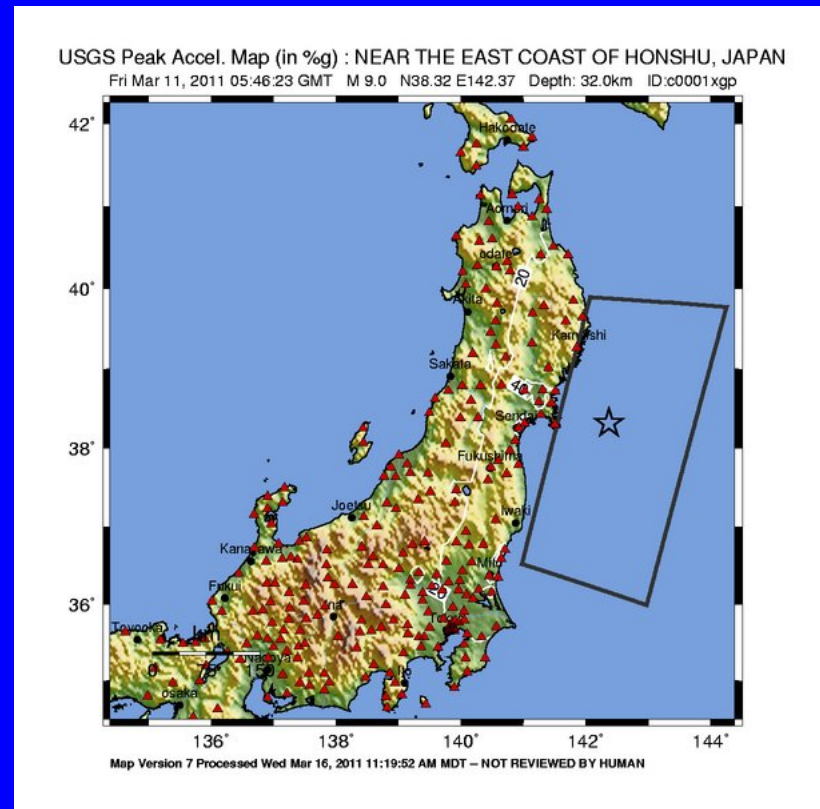
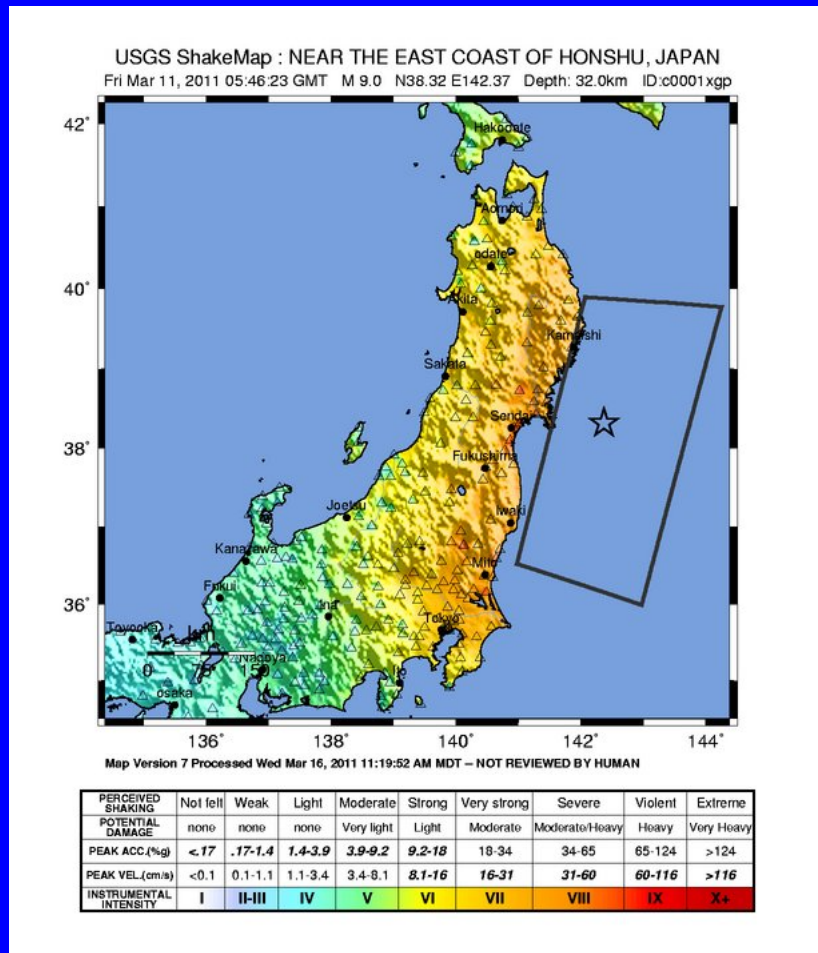


Informace o možných účincích v reálném čase pro zemětřesení kdekoli na světě.

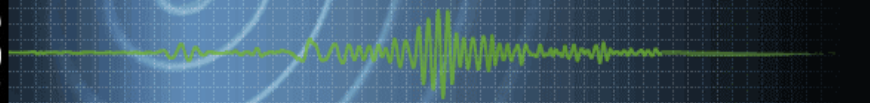
ShakeMap a PAGER (USGS).

Trik jak spojit automatické datové sítě a relativně jednoduché fyzikální modely zemětřesení do účinného „průmyslového“ produktu s obrovským praktickým významem.

ShakeMap is a product of the U.S. Geological Survey Earthquake Hazards Program in conjunction with regional seismic network operators. ShakeMap sites provide near-real-time maps of ground motion and shaking intensity following significant earthquakes.



Pozor ! Nezahrnuje tsunami (zatím...).



USGS Home
Contact USGS
Search USGS

Earthquake Hazards Program

Home About Us Contact Us

EARTHQUAKES

HAZARDS

LEARN

PREPARE

MONITORING

RESEARCH

PAGER

Home

Archives

Background

onePAGER Information

Team Members

Data, Products, and References

FAQ

Disclaimer

Contact Us

PAGER - M 9.0 - NEAR THE EAST COAST OF HONSHU, JAPAN

Alert level does not include impacts from earthquake-related hazards such as tsunamis, landslides, fires or liquefaction.

Earthquake Shaking Alert Level: **RED** [Download Alert PDF](#) [What's this?](#)

Friday, March 11th, 2011 at 05:46:23 UTC (14:46:23 local)

Location: 38.3° N, 142.4° E Depth: 32km

Event Id: USC0001XGP

Alert Version: 9

Created: 1 week, 1 day after earthquake.

FOR TSUNAMI INFORMATION, SEE: tsunami.noaa.gov.

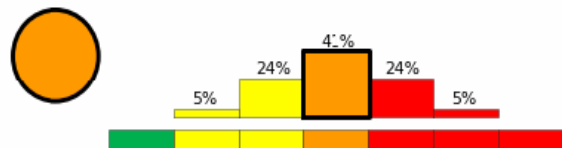


Alert Information

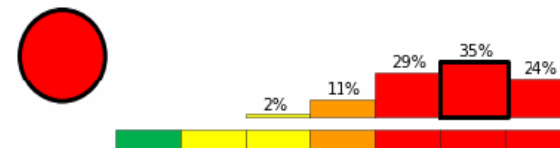
Red alert level for economic losses. Extensive damage is probable and the disaster is likely widespread. Estimated economic losses are less than 1% of GDP of Japan. Past events with this alert level have required a national or international level response. Orange alert level for shaking-related fatalities. Significant casualties are likely.

[Show graphs as tables](#)

Estimated Fatalities



Estimated Economic Losses

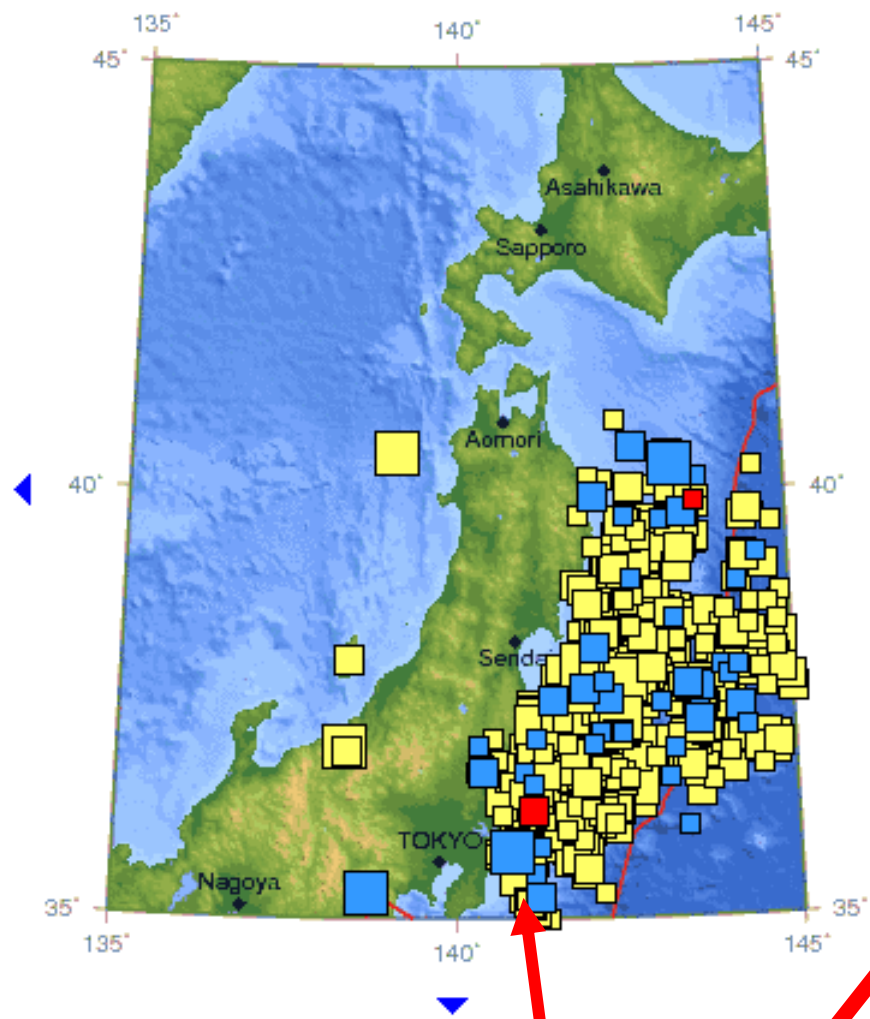


Po velkém zemětřesení následují
dotřesy.

Mohou být dokonce ničivější
než hlavní otřes.

Pokrok v předpovědi pravděpodobných
míst dotřesů probereme později.

Wed Mar 16 11:45:26 UTC 2011
504 earthquakes on this map

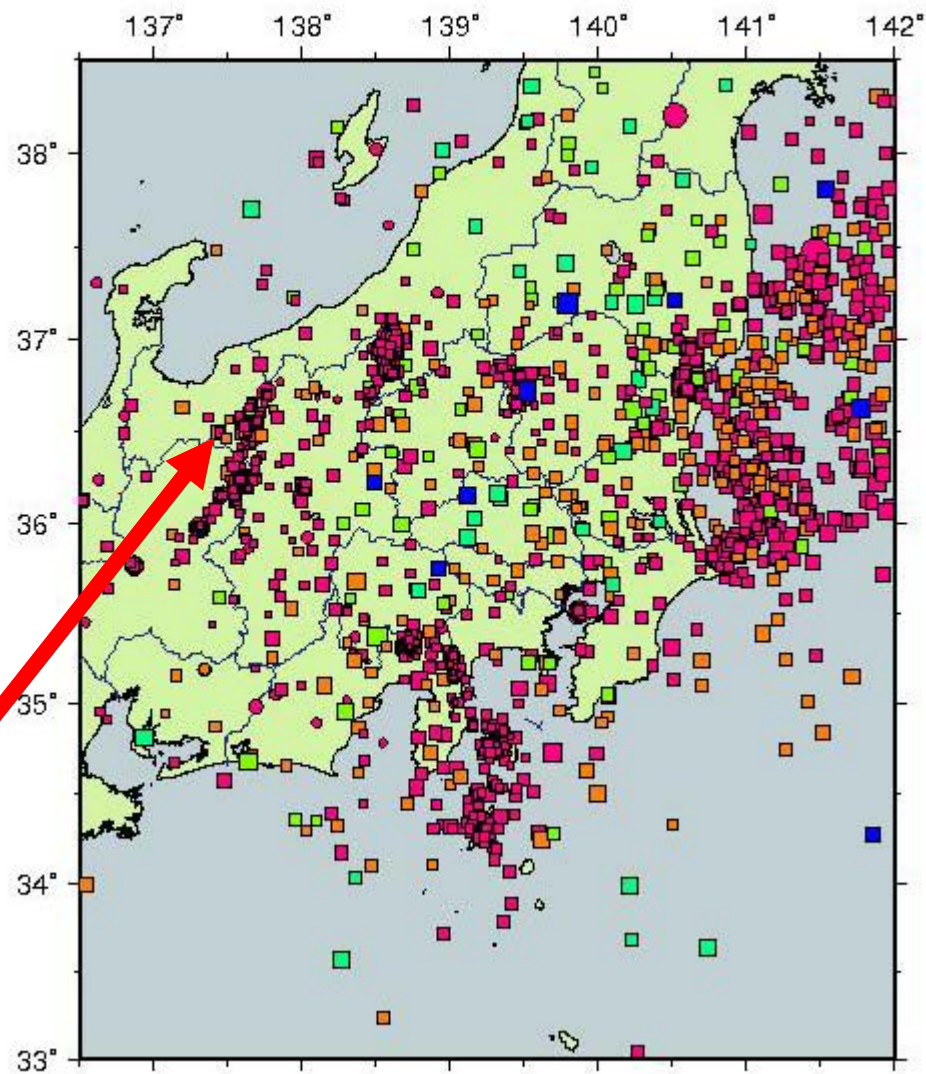


Viz např. dotřes M 7 poblíž Tokya.

Aktivace mnoha různých zlomů!

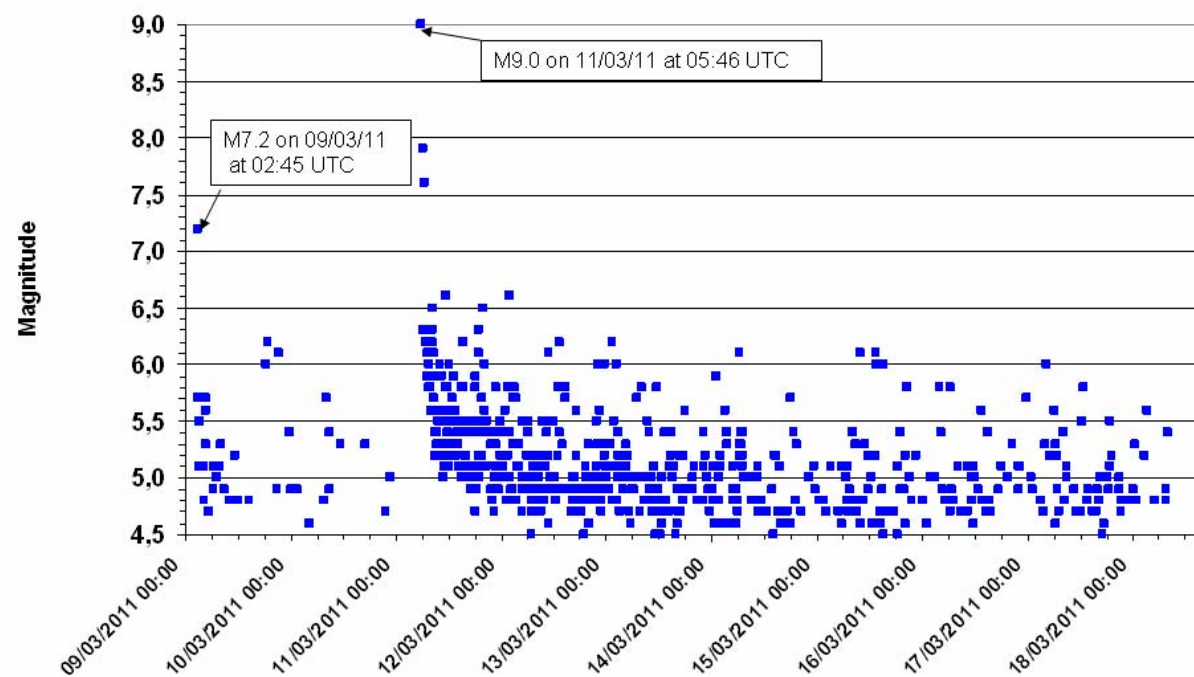
ERI. TOKYO UNIVERSITY
Epicentral Map in last 7 days

Last Update 0:00 Mar.17, 2011





Earthquake sequence off coast of north eastern Honshu, Japan
since 09/03/2011



Porovnání: V neaktivnější oblasti Evropy (Řecko) se případ pěti zemětřesení M 6 v roce 2008 studoval jako zcela výjimečný.

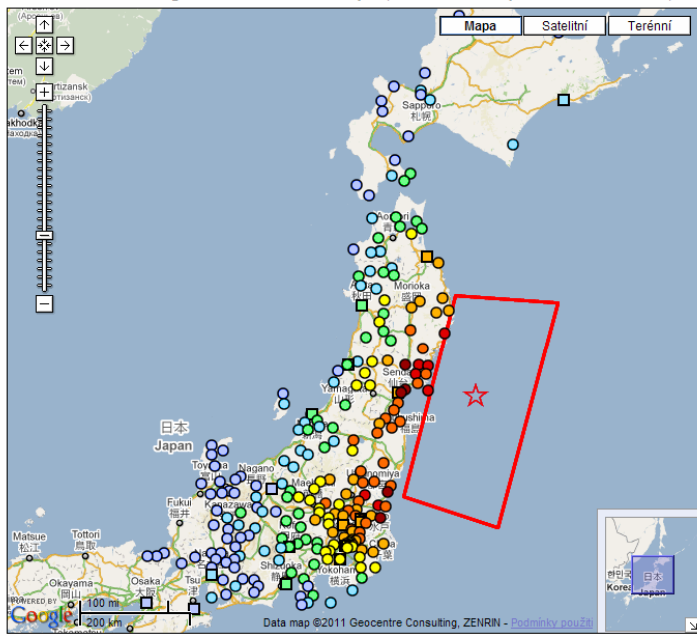
Silné pohyby

Technologická úroveň Japonska pro měření a zpracování silných pohybů v reálném čase nemá jinde ve světě obdoby. Stanice každých cca 10-20 km, na povrchu i ve vrtech, plně automatický systém. Data okamžitě komukoli volně dostupná na Internetu.

Pokrok v instrumentálním vybavení umožnil kvalitativně lepší modelování zemětřesení.

[silne_pohyby.mpeg](#)

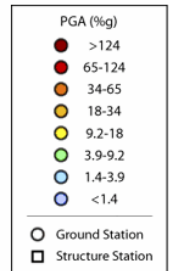
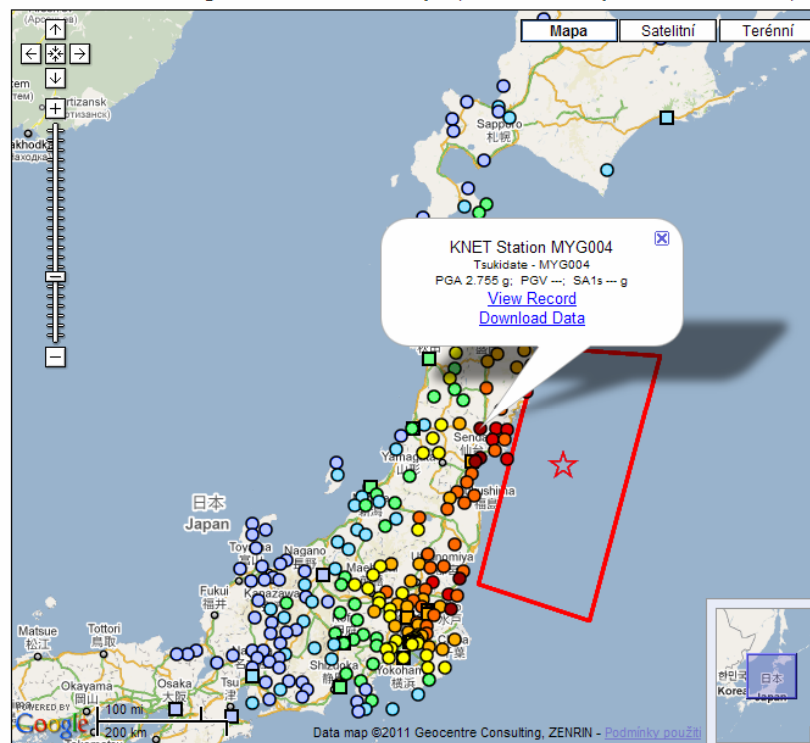
Strong Motion Stations for Japan, Tohoku Earthquake of 11 Mar 2011, 546 UTC



Help Download KML

Close Window

Strong Motion Stations for Japan, Tohoku Earthquake of 11 Mar 2011, 546 UTC



KNET Station MYG004
 Tsukidate - MYG004
 PGA 2.755 g
 PGV ---

Photo for this station will be available in the future.

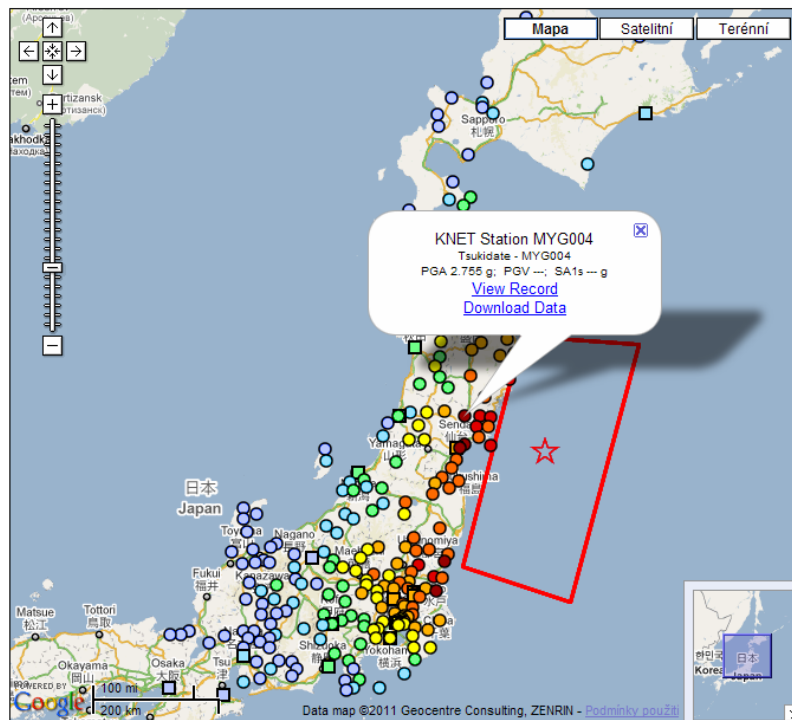
Click station to view record / download data

CESMD

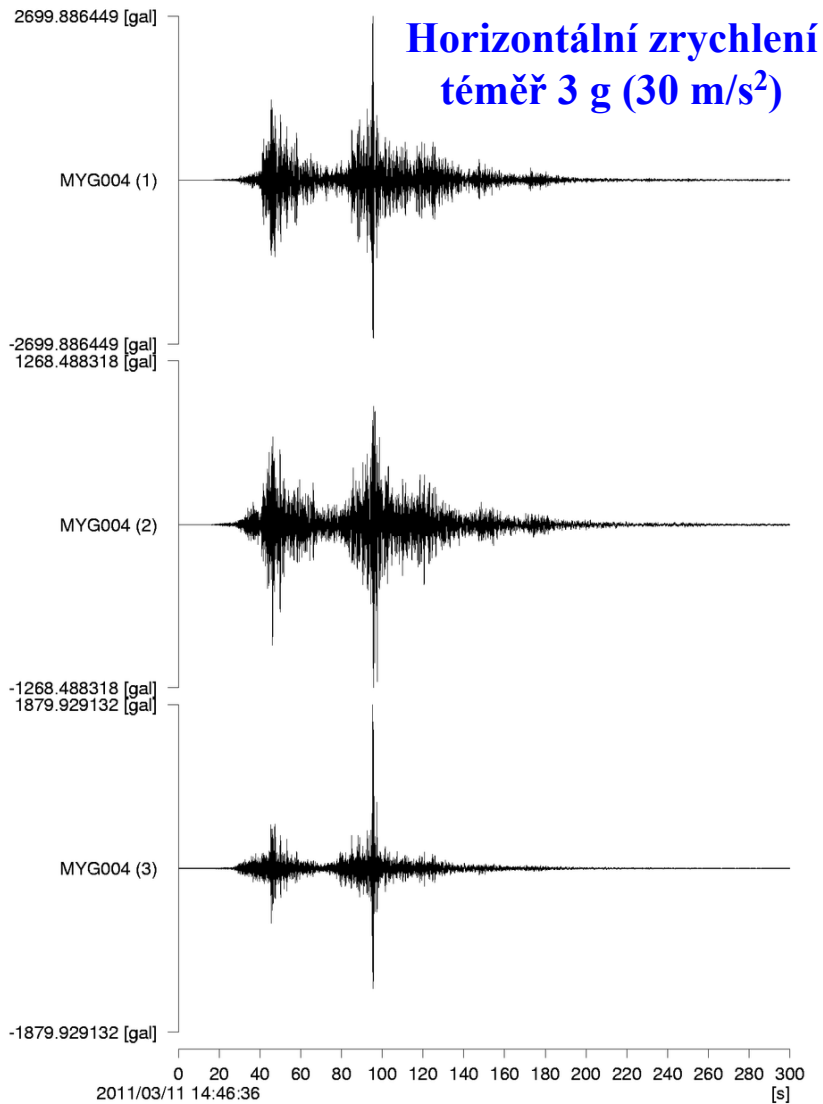
Help Download KML

Close Window

Strong Motion Stations for Japan, Tohoku Earthquake of 11 Mar 2011, 546 UTC



2011/03/11-14:46 38.0N 142.9E 24km M9.0(MYG004)



Neobvyklé. Už na pohled se jedná nejméně o dvě samostatné epizody „trhání“ zlomu.

Měření silných pohybů blízko ohniska je neocenitelné pro modelování zlomového procesu.

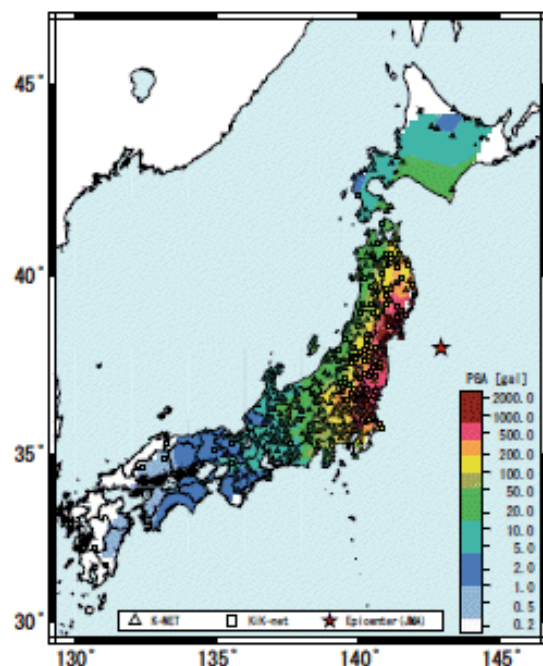
2011 Off the Pacific Coast of Tohoku earthquake, Strong Ground Motion



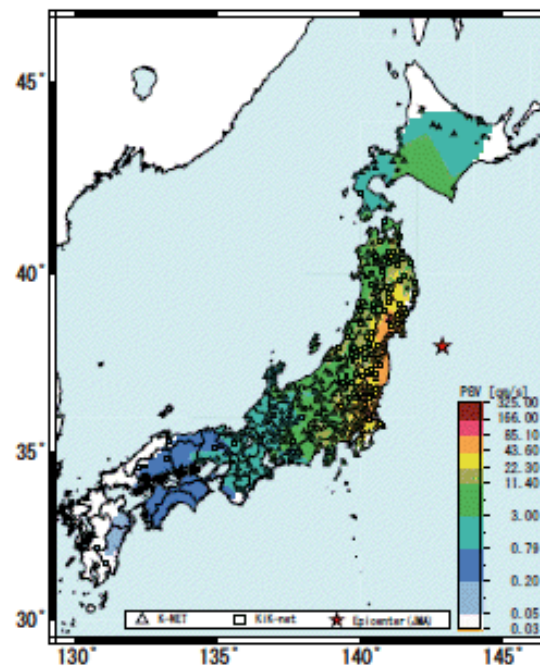
National Research Institute for Earth
Science and Disaster Prevention

2011/3/11 14:46, Depth 24km, M9.0 (JMA)

Peak Ground Acceleration (surface)



Peak Ground Velocity (surface)



The largest peak ground acceleration among K-NET and KiK-net sites was recorded at MYG004 K-NET station (waveforms displayed below), reaching 2933 gals (3 components vector summation).

**Databáze silných pohybů tvoří empirický materiál pro hodnocení účinků budoucích jevů.
Podklad k projektování seismicky odolných staveb !**

2011 Off the Pacific Coast of Tohoku earthquake, Strong Ground Motion

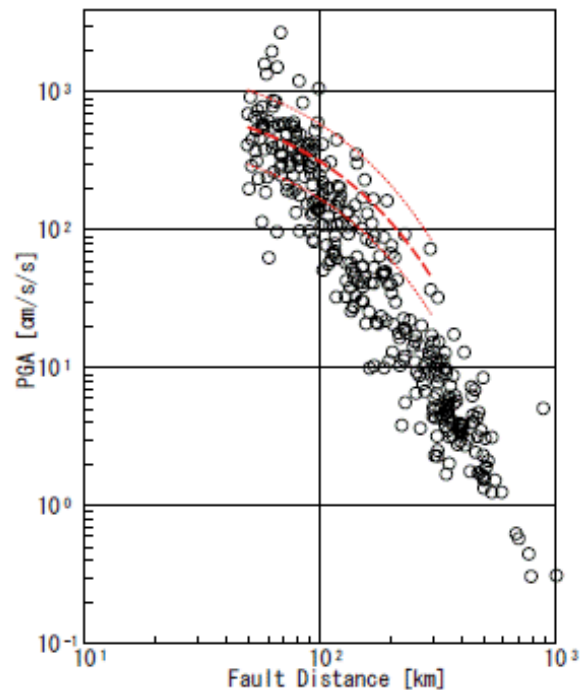


National Research Institute for Earth
Science and Disaster Prevention

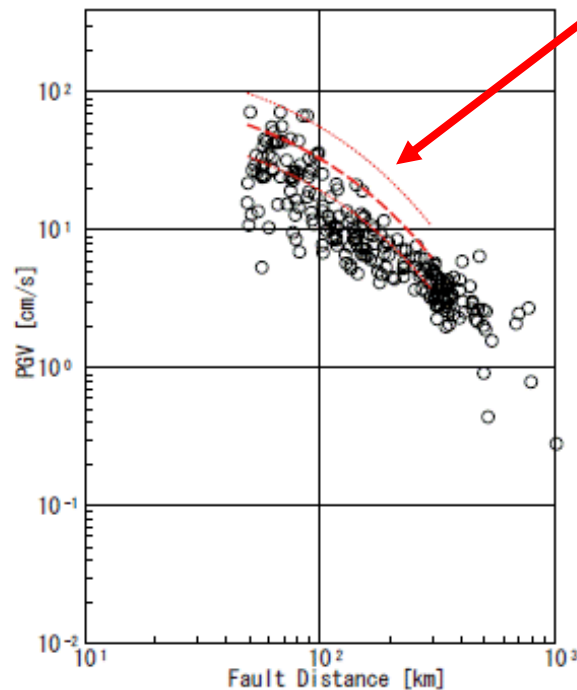
Comparison of observed values of PGA and PGV with ground motion
empirical attenuation laws (preliminary)

2011/03/11 14:46 Depth=24km(JMA), Mw=8.9(USGS)

----- Si & Midorikawa (1999) inter-plate



Peak Ground Acceleration (PGA)



Peak Ground Velocity (PGV)

**V případě M9 srovnáváme
s velmi hrubým předchozím
odhadem
(srovnáváme s extrapolací
slabších jevů)**

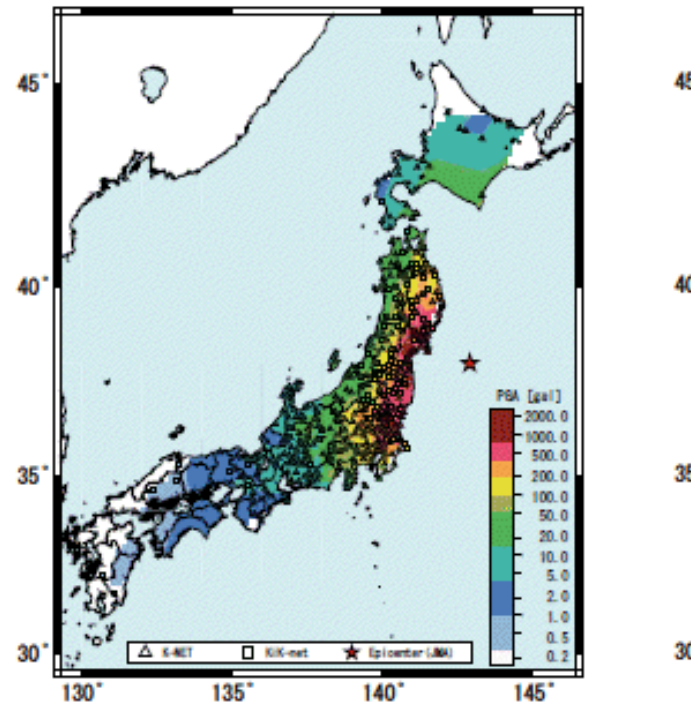
**Pro příští M9 bude současné z.
umožňovat velmi dobrý odhad.**

2011 Off the Pacific Coast of Tohoku



2011/3/11 14:46, Depth

Peak Ground Acceleration (surface)



The largest peak ground acceleration among K-NET ; K-NET station (waveforms displayed below), reaching

2011 Off the Pacific Coast of Tohoku earthquake, Strong

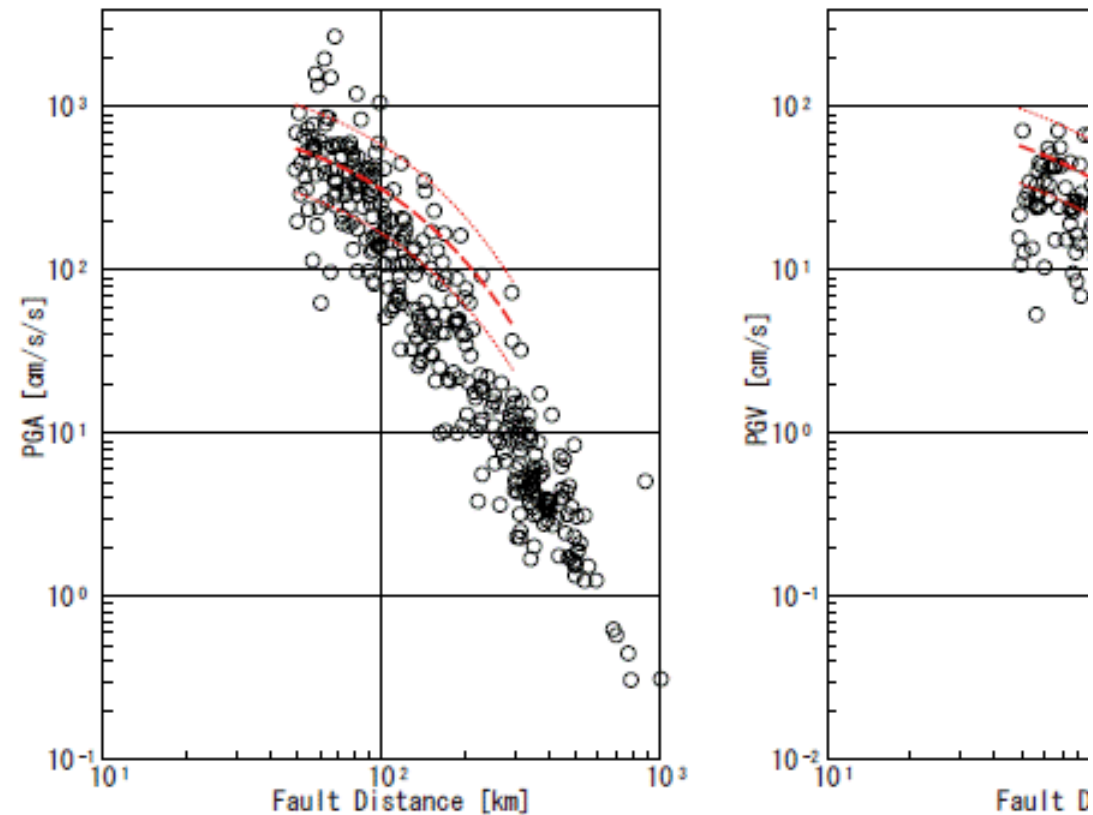


National Research Institute for Earth Science and

Comparison of observed values of PGA and PGV with empirical attenuation laws (preliminary)

2011/03/11 14:46 Depth=24km(JMA), Mw=8.9(USGS)

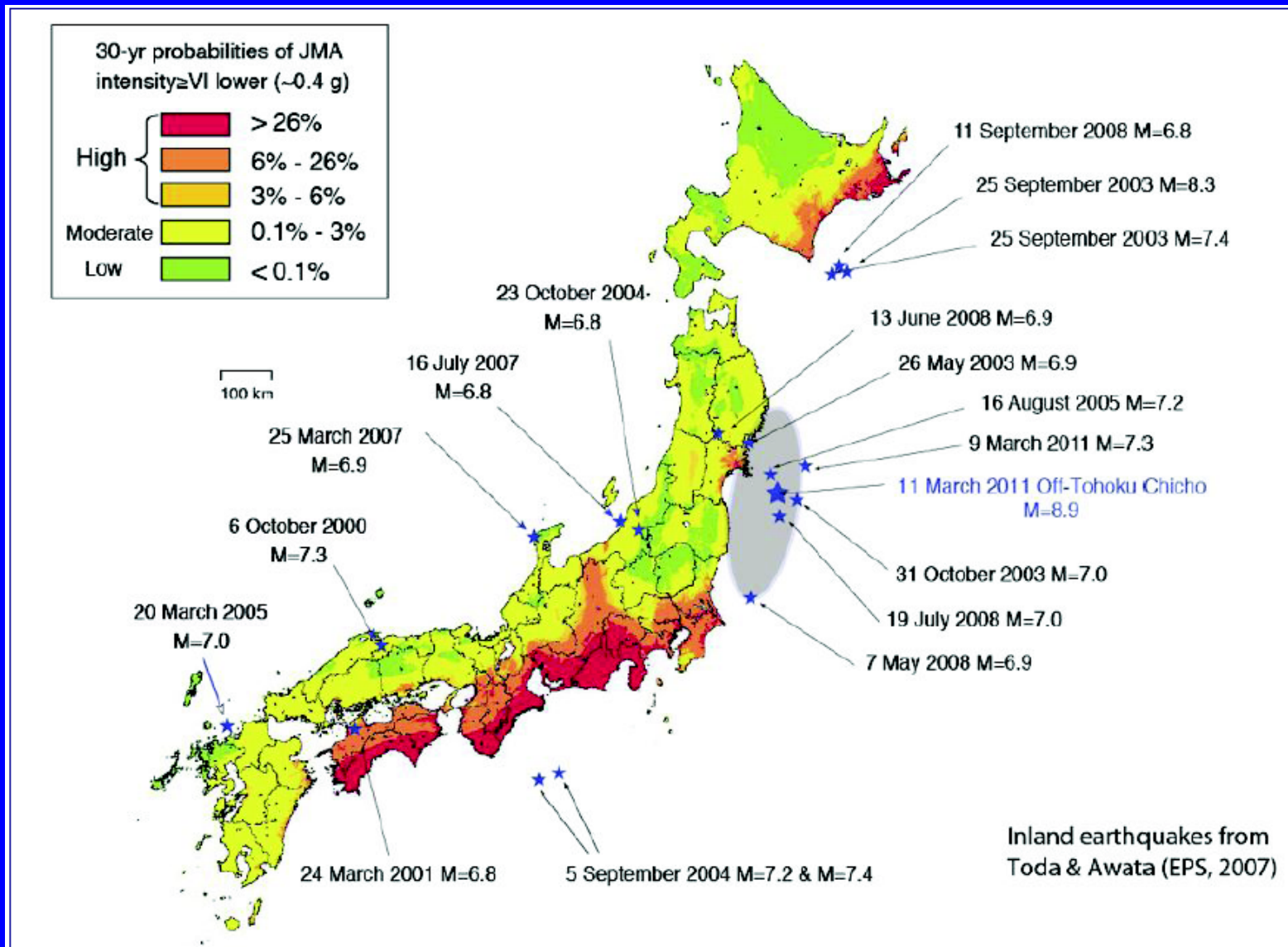
----- Si & Midorikawa (1999) inter-plate



Peak Ground Acceleration (PGA)

Peak Ground Velocity (PGV)

Pravděpodobnostní odhad ohrožení



Kinematický model procesu na zlomu (pod zemským povrchem).

Modelování seismických vln umožňuje vypočítat prostoro-časové rozložení trhlin, čili „skluzu“ na zlomu v rámci lineární teorie pružnosti a malých deformací. Dynamiku tj. vznik trhlin zde nestudujeme (špatná znalost reologie porušení zlomové zóny) .

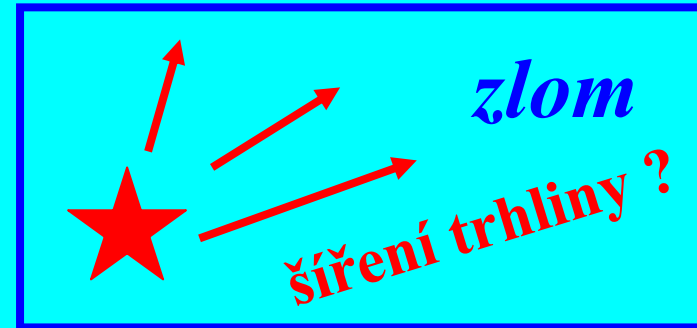
měření
pohybu na povrchu Země

$$m_{pq} = c_{pqkl} [u_k] v_l$$

$$u_i = \int_{\Sigma} m_{pq} * G_{ip,q} d\Sigma$$



**obrácená úloha
pro m_{pq} jako fci
prostorových souřadnic a času**



Často nutné vedlejší podmínky,
pak je úloha nelineární.

$$\tau_{ij,j} + \tilde{\tau}_{ij,j} = \rho \ddot{u}_i$$

$$\tau_{ij} = c_{ijkl} u_{k,l}$$

$$\tilde{\tau}_{ij} = c_{ijkl} [u_k] v_l \delta(\Sigma) = m_{ij} \delta(\Sigma)$$

$$u_i = \int_{\Sigma} m_{pq} * G_{ip,q} d\Sigma$$

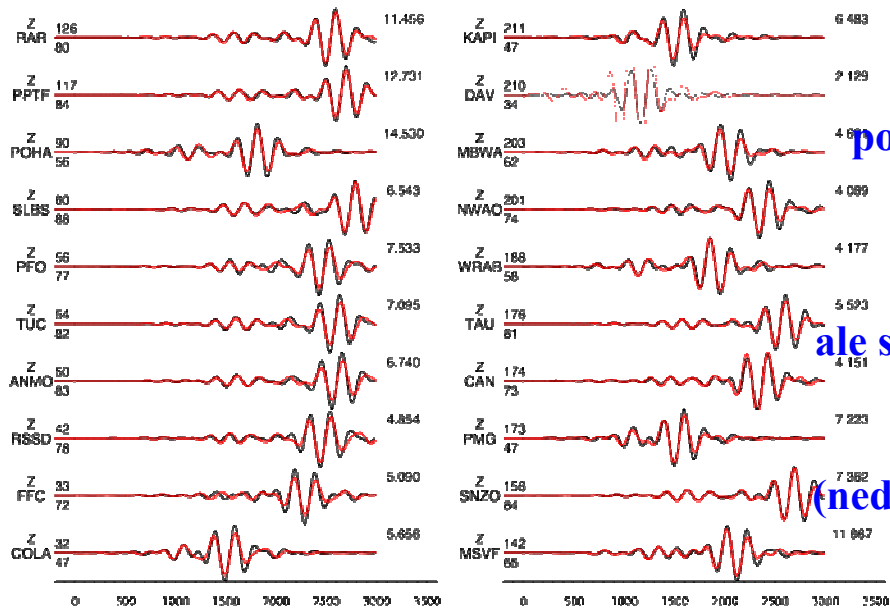
τ - tenzor napětí, \mathbf{u} - vektor posunutí

ρ - hustota, \mathbf{c} - tenzor elast. parametrů

Σ - zlomová plocha, \mathbf{v} - její normála

$[\mathbf{u}]$ - nespojitost posunutí na zlomu,

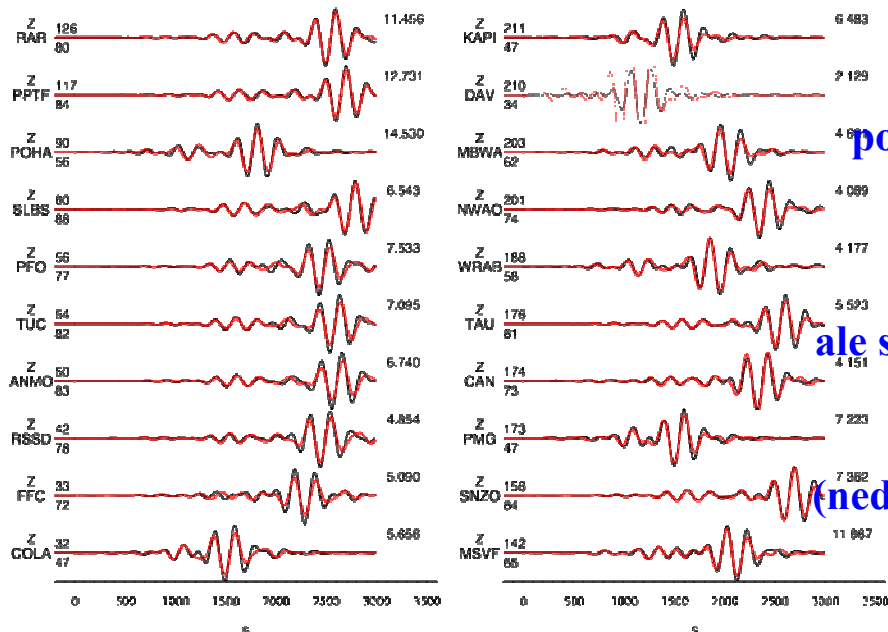
\mathbf{m} - momentový tenzor, \mathbf{G} - Greenův tenzor



Vystihnout seismogramy ($\sim 10^4$ či více)
pomocí modelu zlomu s mnoha ($\sim 10^3$) parametry.

Obvykle nelineární obrácená úloha,
formálně přeuročená,
ale s velkým množstvím velmi malých vlastních čísel.

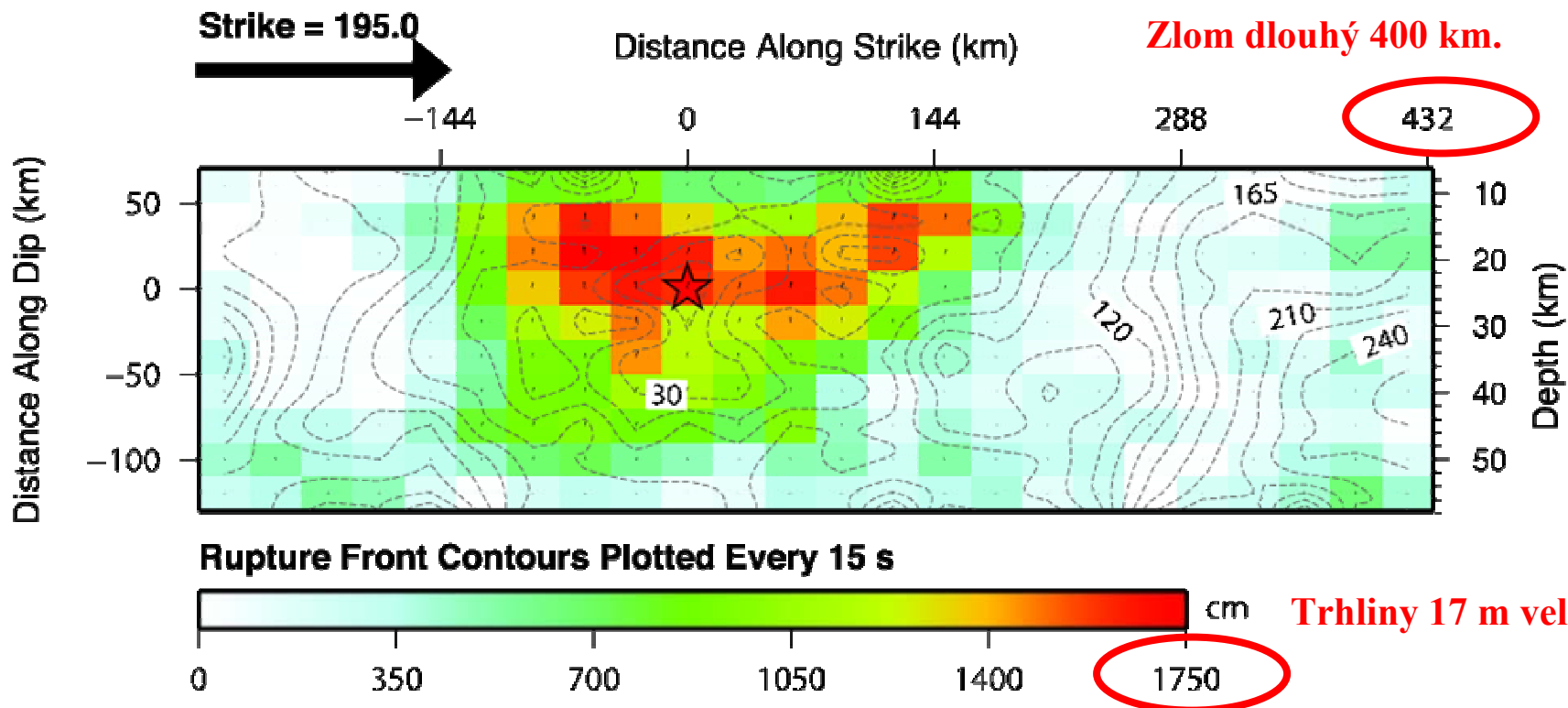
Další problémy v nejistotě Greenovy funkce
(nedokonalá znalost elastických parametrů prostředí),
nutí k nízkofrekvenční aproximaci.



Vystihnout seismogramy pomocí modelu zlomu s mnoha ($\sim 10^3$) parametry.

Obvykle nelineární obrácená úloha, formálně přeuročená, ale s velkým množstvím velmi malých vlastních čísel.

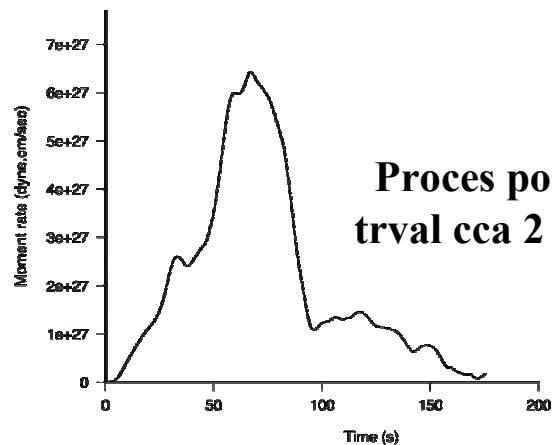
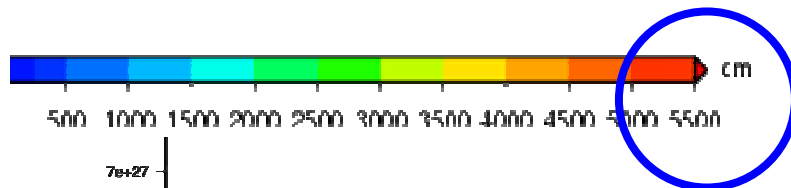
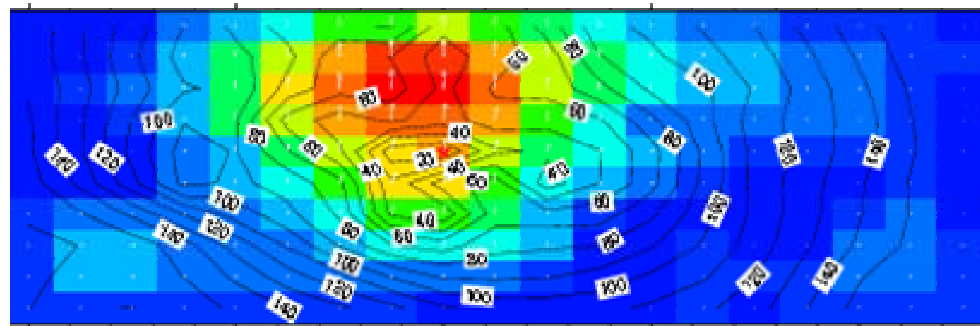
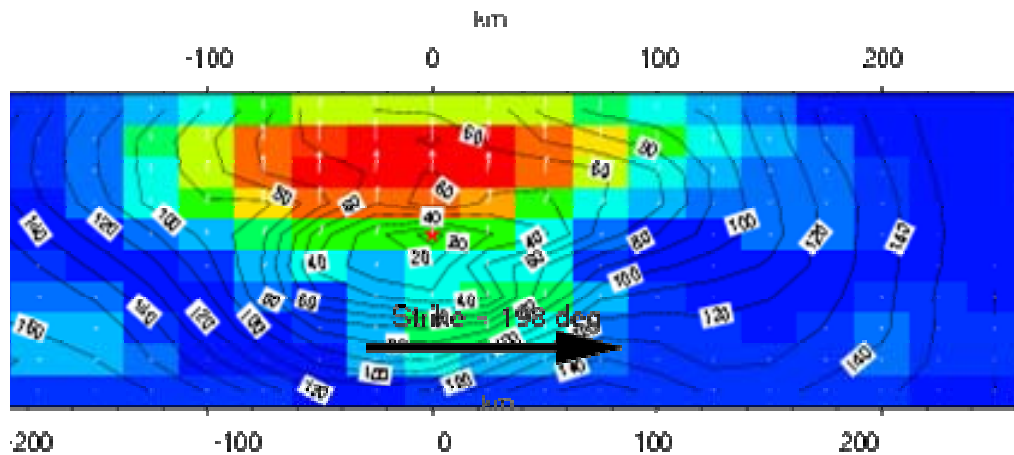
Další problémy v nejistotě Greenovy funkce (nedokonalá znalost elastických parametrů prostředí), nutí k nízkofrekvenční aproximaci.



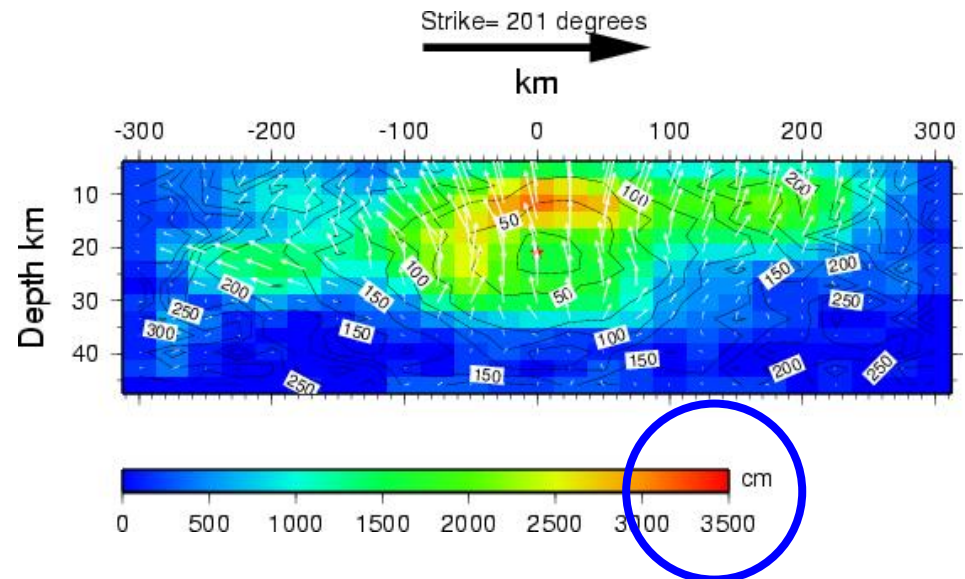
Řešení různými metodami
dávají různé výsledky
(např. v důsledku
různé předpokládané
geometrie zlomu,
různá parametrizace, atd.)

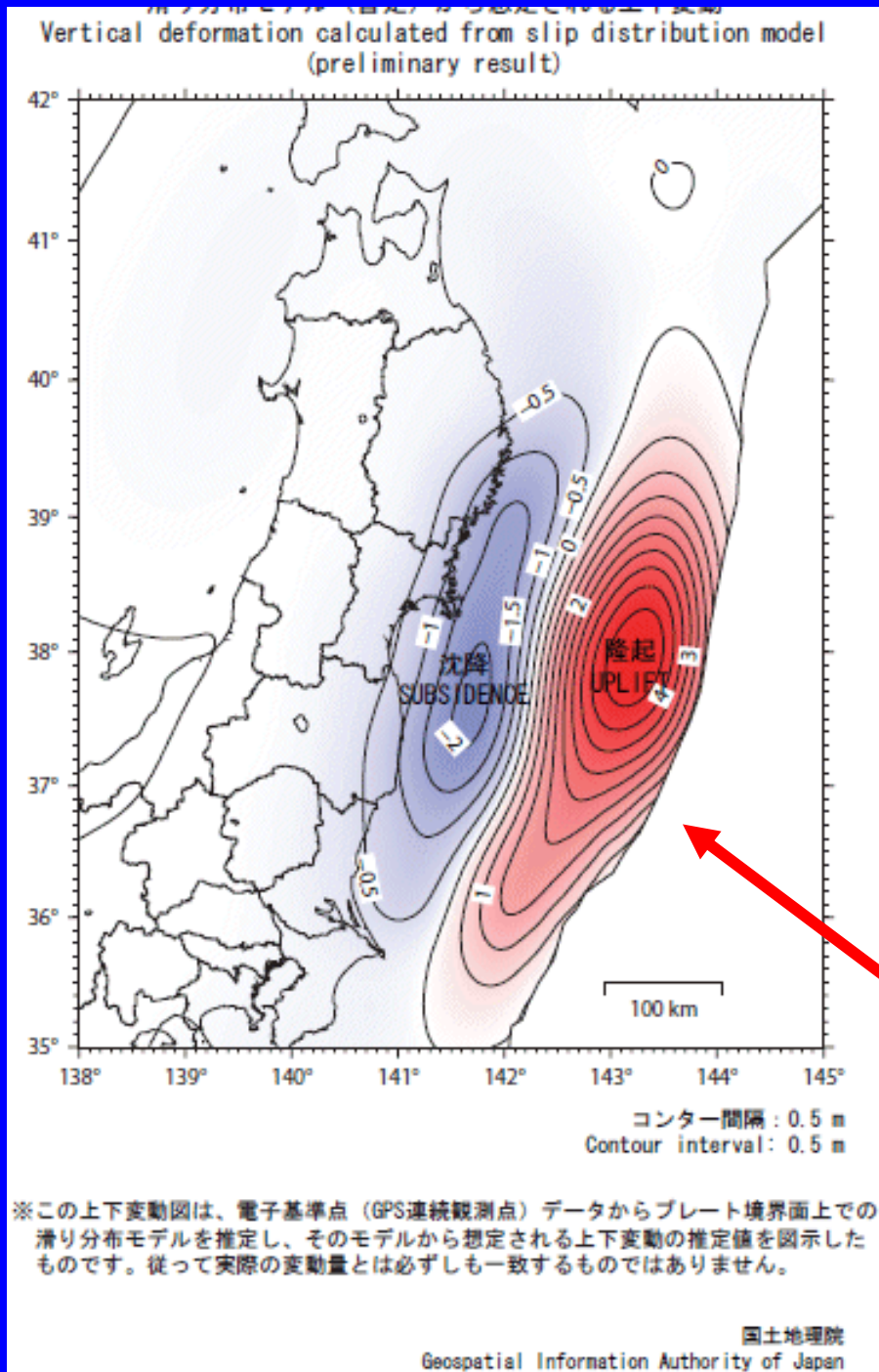
Problém odhadu neurčitosti
nelineární úlohy.

Podivná (malá) rychlost trhliny.
Patrně šlo spíše o kombinaci
několika zemětřesení M7, M6.



Proces porušení
trval cca 2 minuty.



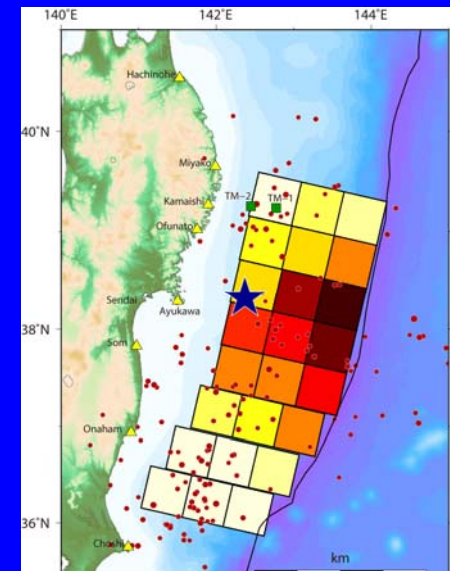


Trhliny na zlomu --> trhliny nebo
nevratné posunutí
na zemském povrchu a na mořském dně.

Vypočtený pohyb mořského dna
je podkladem pro
vědecké (nikoli rychlé)
modelování vzniku
a šíření tsunami.

(Také obráceně: měření tsunami
na pevnině i na dně umožňuje
upřesnit model zlomu.)

Koseismický
pokles
a výzdvih > 4 m.



Pro studie v reálném čase
mají zásadní význam
měření na mořském dně.

<http://nctr.pmel.noaa.gov/milburn1996.html>
[dart.mht](#)

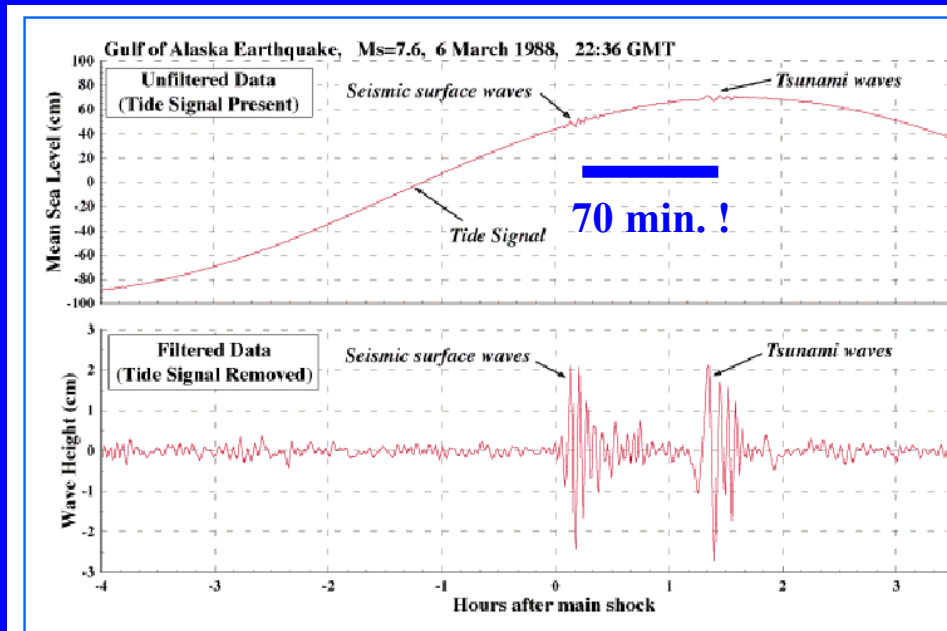


Fig. 1. BPR data from 6 March 1988 Gulf of Alaska showing waves from Ms=7.6 earthquake.

BPR...bottom pressure recorder

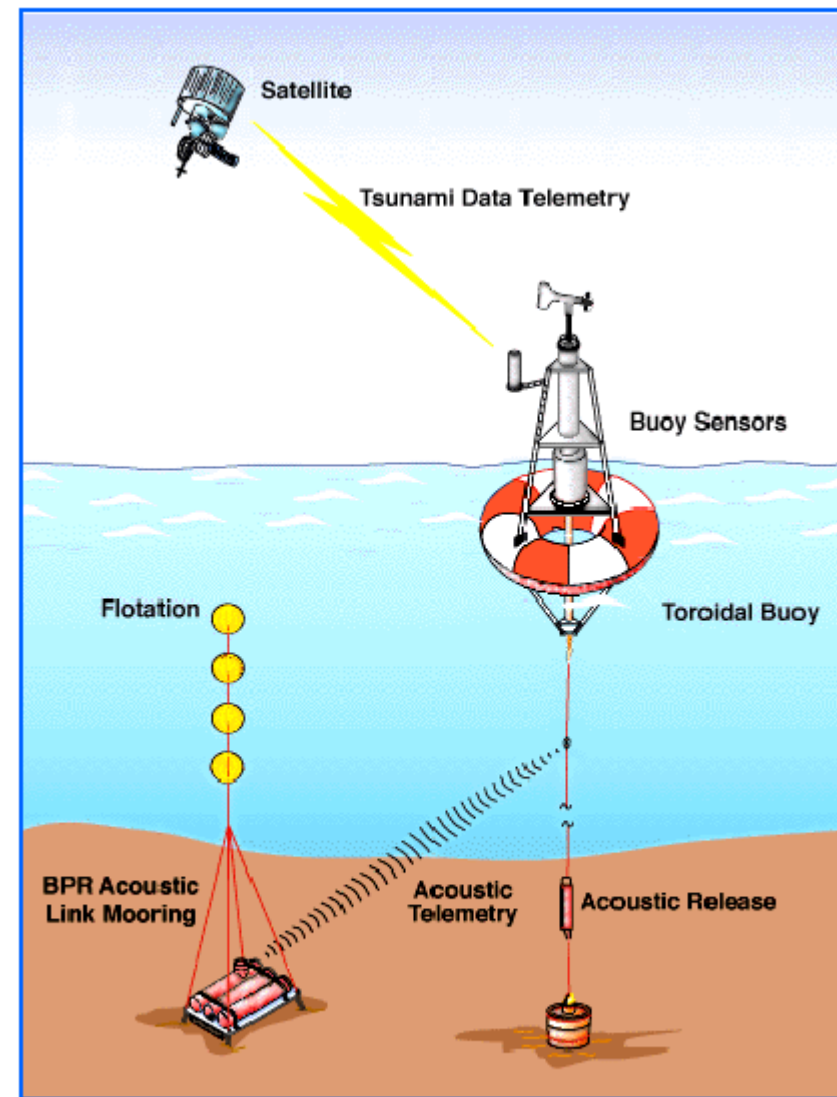
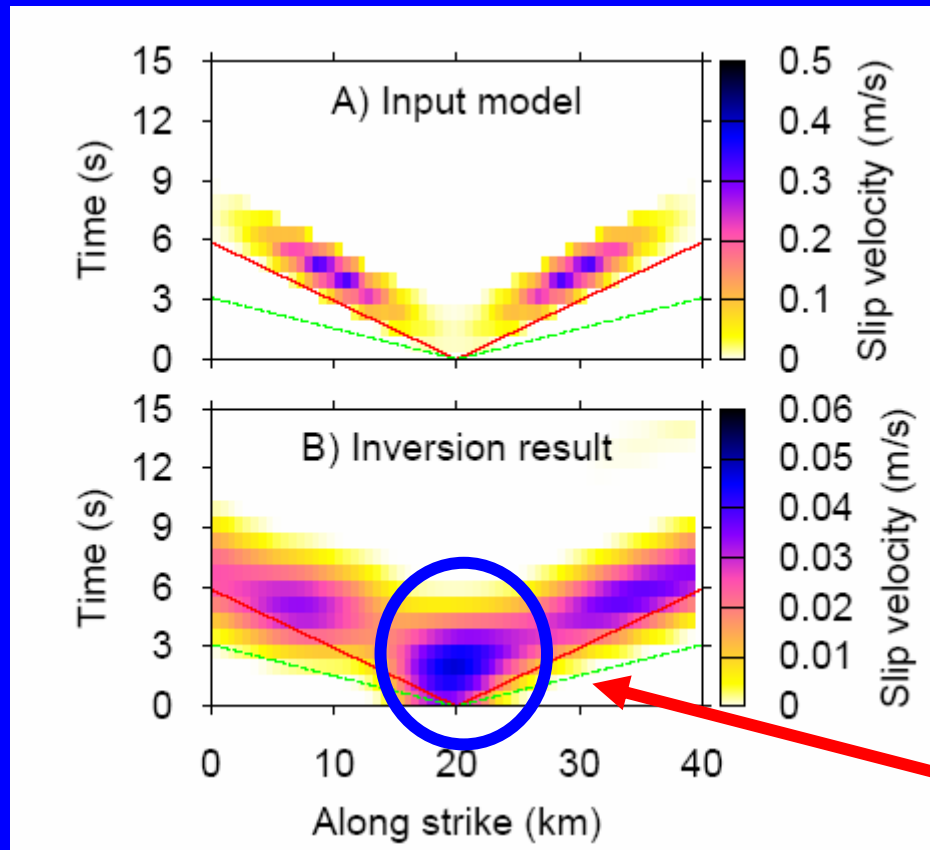


Fig. 2. Prototype real-time tsunami reporting system.

Naše předchozí „skluzové inverze“

Syntetické testy problému $\mathbf{b} = \mathbf{A} \mathbf{a}$, řešené různými metodami a interpretace pomocí SVD. Regularizace, bez níž není úloha v praxi řešitelná, může poskytnout řešení lišící se od skutečnosti i kvalitativně.

$$\mathbf{a} = \sum_{i=1}^M \left(\frac{\mathbf{U}_{(i)} \cdot \mathbf{b}}{w_i} \right) \mathbf{V}_{(i)}$$



chyba, artefakt

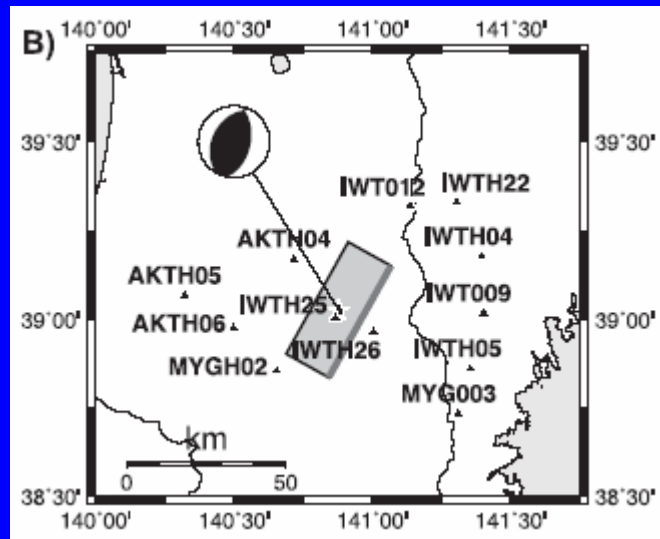
Toward understanding slip inversion uncertainty and artifacts I and II

Zahradník & Gallovič (2010) and Gallovič & Zahradník (2011)

J. Geophys. Res. (Solid Earth)

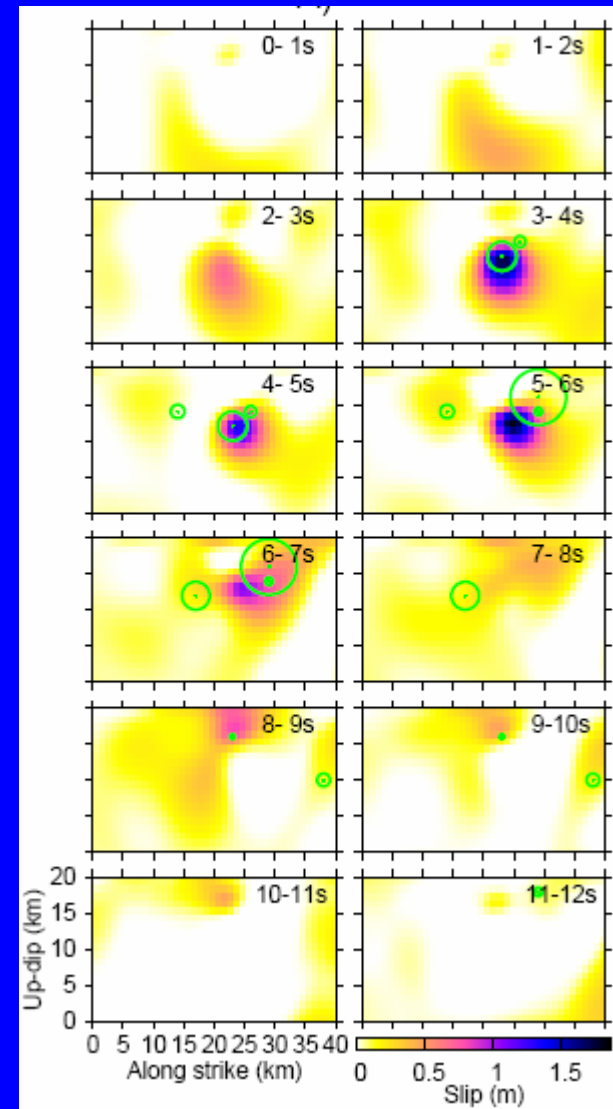
Náš první kontakt s japonskými daty: zemětřesení M7 Iwate-Miyagi, 2008.

Největší dosud naměřené
seismické zrychlení 4g.



Complexity of earthquake rupture propagation:
evidence from 2009 M6 L'Aquila (Italy)
and 2008 M7 Iwate-Miyagi (Japan) events.

Gallovič and Zahradník, in preparation.



Dvě metody, velmi podobné výsledky.

Numerická simulace [anime.avi](#)
časového vývoje trhliny.

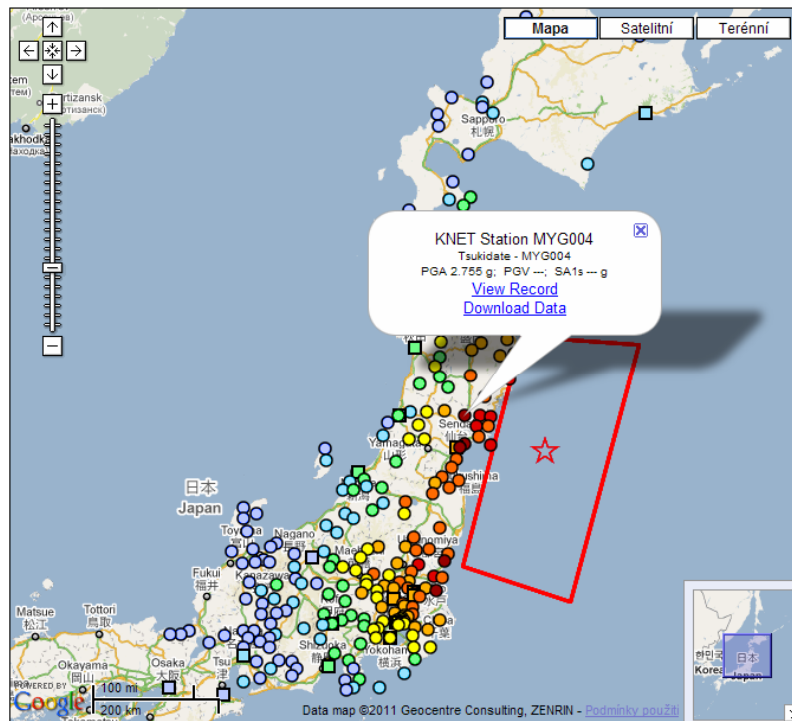
Náš druhý kontakt s japonskými daty: M9 ...

Map of Strong Motion Stations for Japan, Tohoku Earthquake of 11 Mar 2011 - Windows Internet Explorer

http://www.strongmotioncenter.org/cgi-bin/ncsmd/jqr/StationMap.pl?ID=Japan_11Mar2011

File Edit View Favorites Tools Help

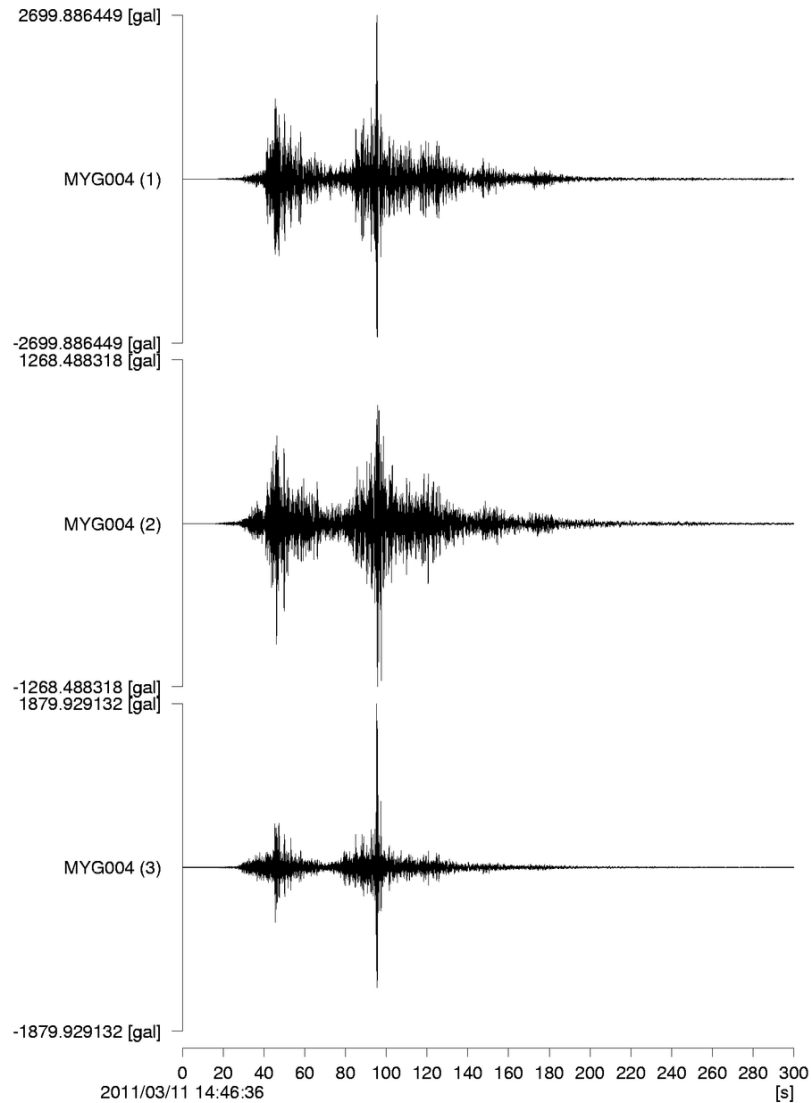
Strong Motion Stations for Japan, Tohoku Earthquake of 11 Mar 2011, 54



Help Download KML

Close Window

2011/03/11-14:46 38.0N 142.9E 24km M9.0(MYG004)

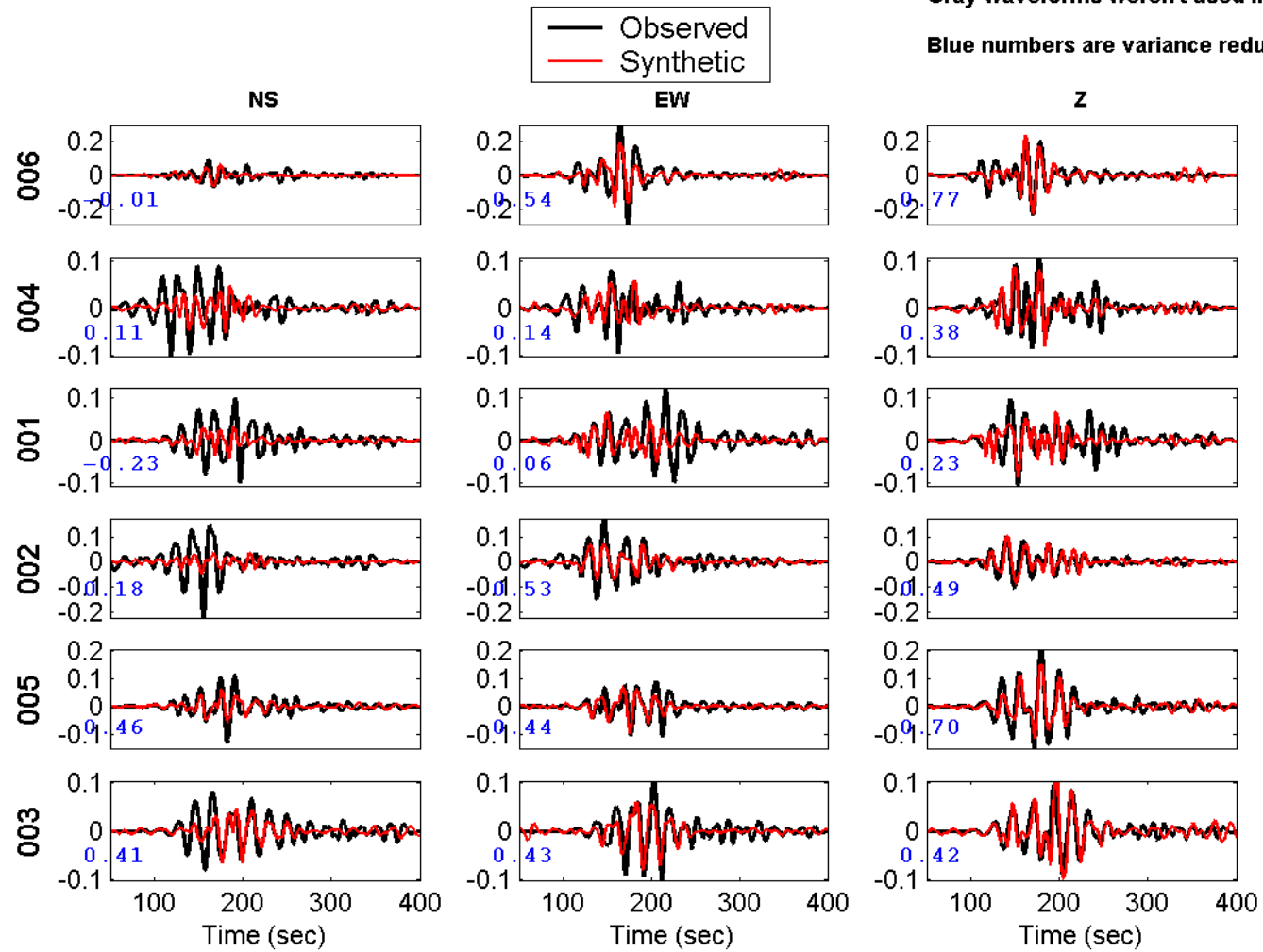


KNET NIED

Even date-time: 2011-05-17 10:03:47.10 (m). Inversion band (Hz) 0.005 0.01 0.15 0.20

Gray waveforms weren't used in inversion

Blue numbers are variance reduction

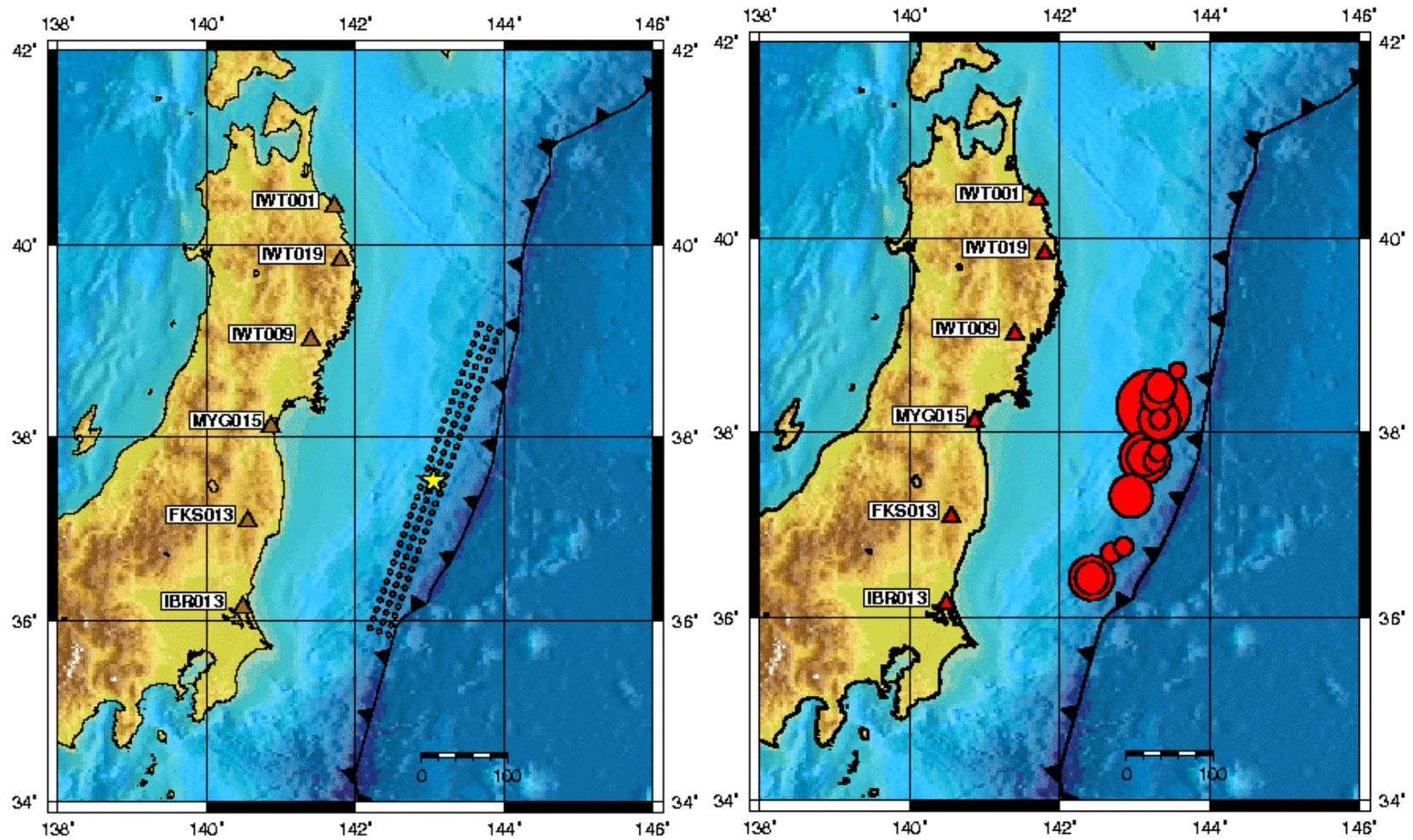


www.elsevier.com/locate/cageo

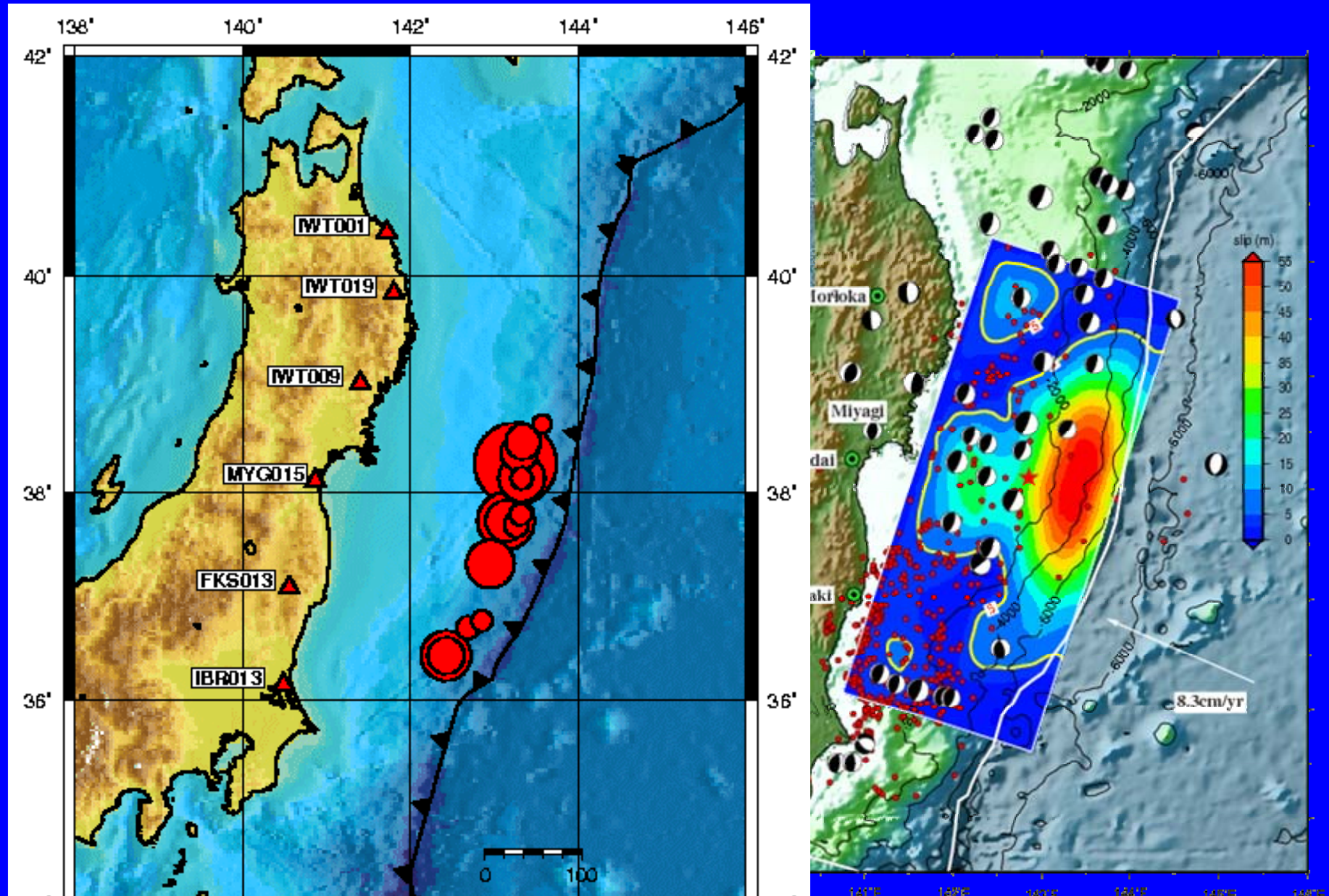
ISOLA a Fortran code and a Matlab GUI to perform multiple-point source inversion of seismic data ☆

Efthimios N. Sokos^{a,*}, Jiri Zahradnik^b

Výhoda: Není nutná znalost polohy hypocentra a rychlosti šíření trhliny.



Srovnání s jinými autory:



Nové metody skluzové inverze

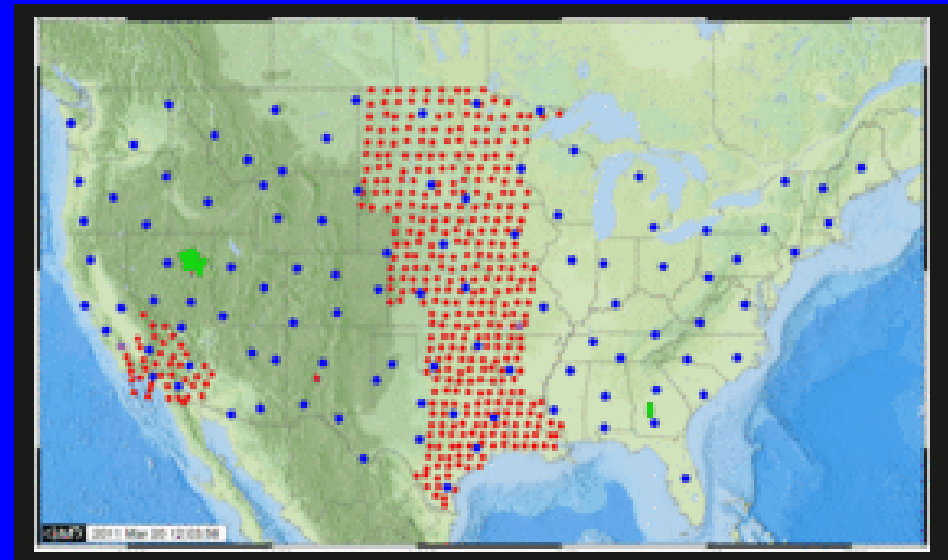
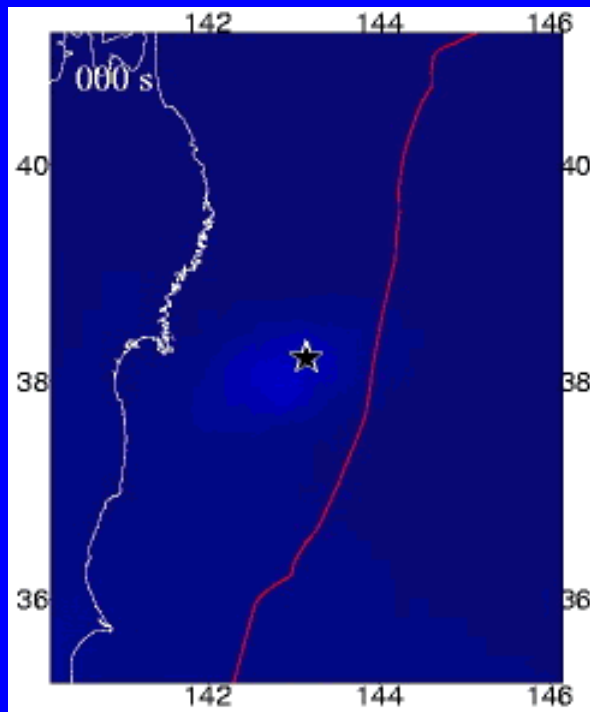
Skupinové seismické stanice

(„antény“, angl. arrays). Poloha a intenzita zdroje je identifikována pokud se maximalizuje korelace všech stanic. Možnost studovat konečný zdroj bez předchozí znalosti geometrie zlomové plochy.

Antény se budovaly kvůli detekci jaderných explozí, dnes hlavně pro strukturální výzkumy.

US-array se postupně přesunuje přes Spojené státy.

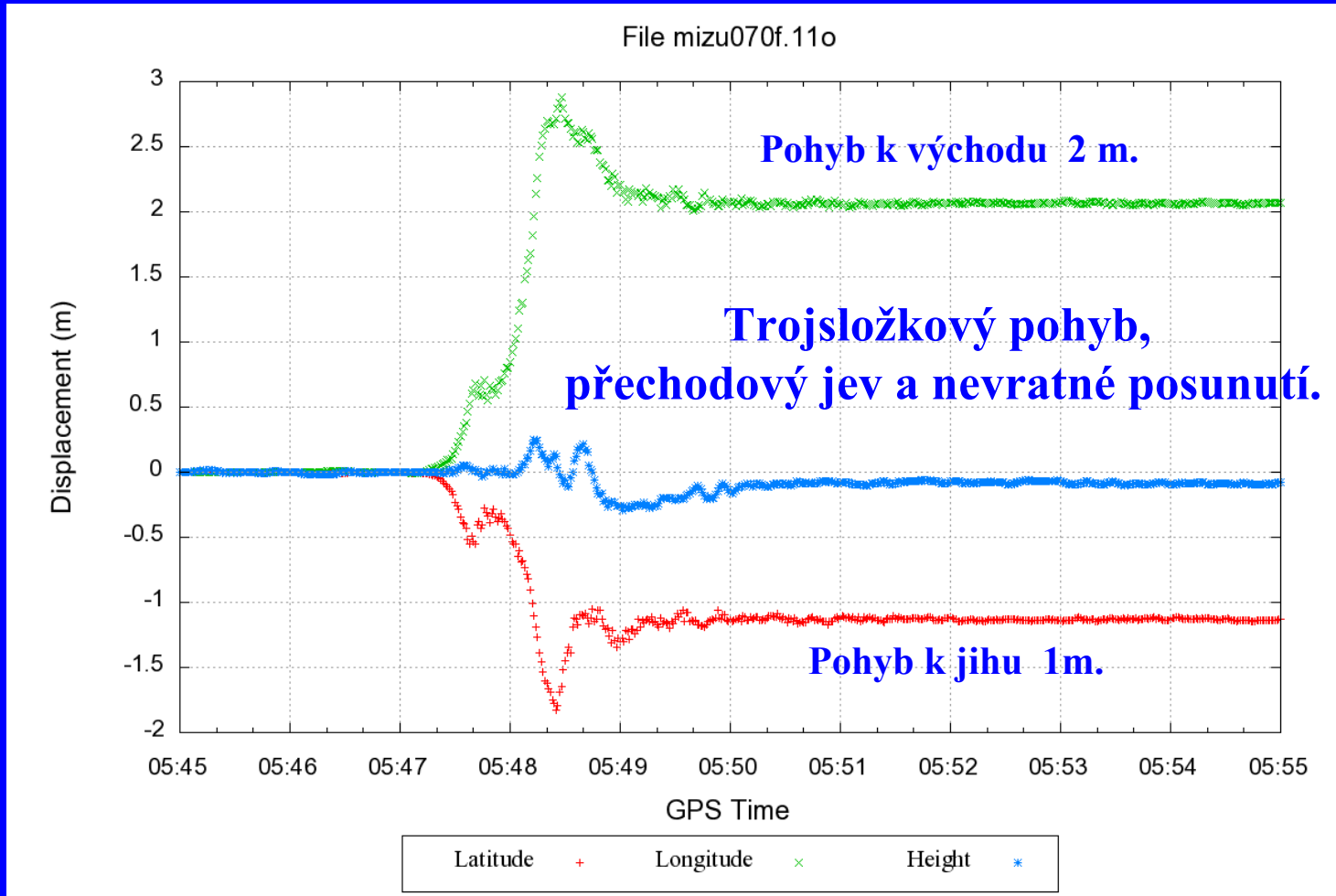
Umožnila také modelovat japonské zemětřesení.

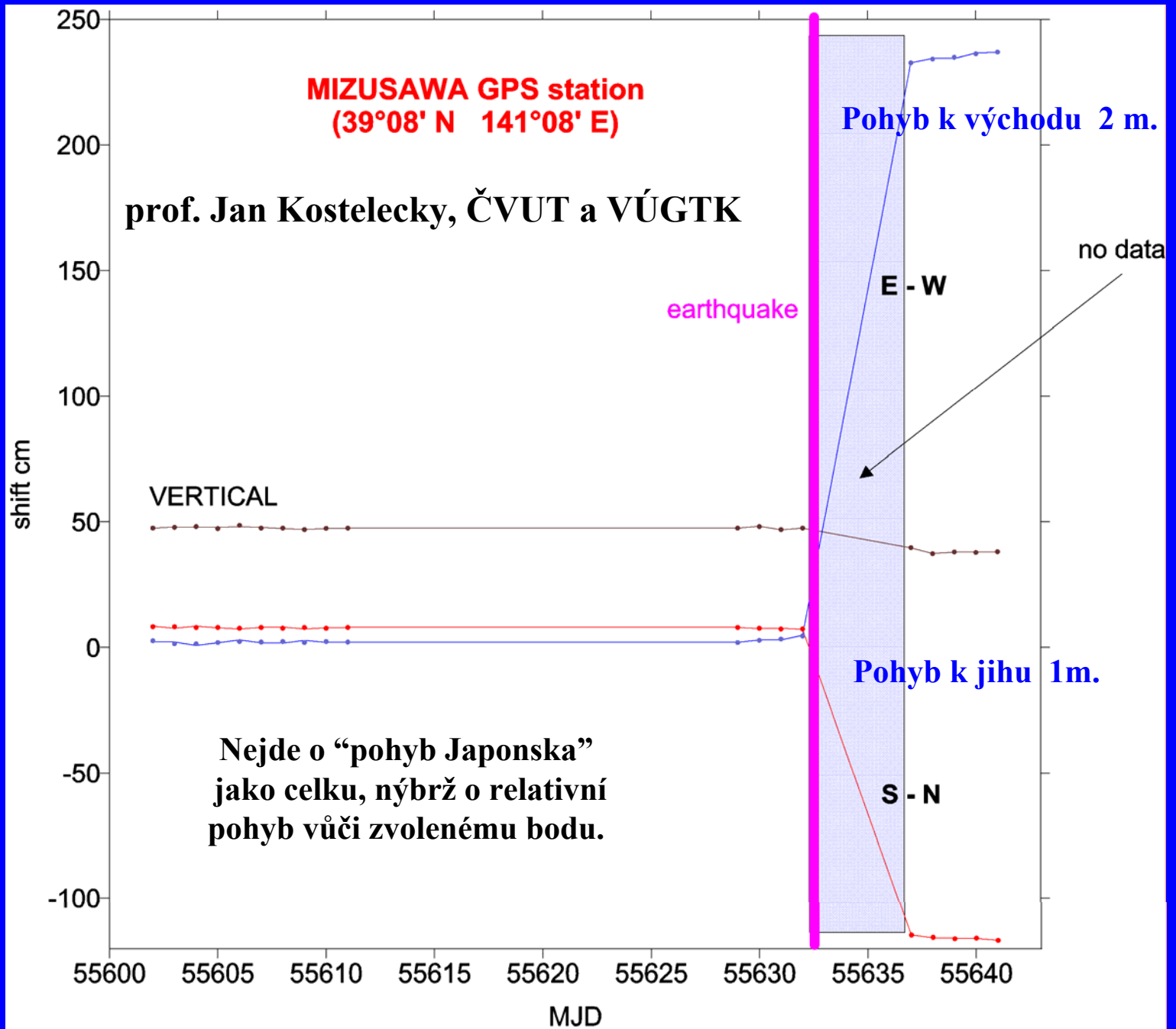


[usarray_mantlewave.mp4](#)

Geodetický poziční systém (GPS).

Protože obrácená úloha o rozložení skluzu na zlomu je zpravidla špatně podmíněná, potřebujeme vedlejší podmínky. Ideální je přímé měření nevratných posunutí na zemském povrchu, vyvolaných zemětřesením.

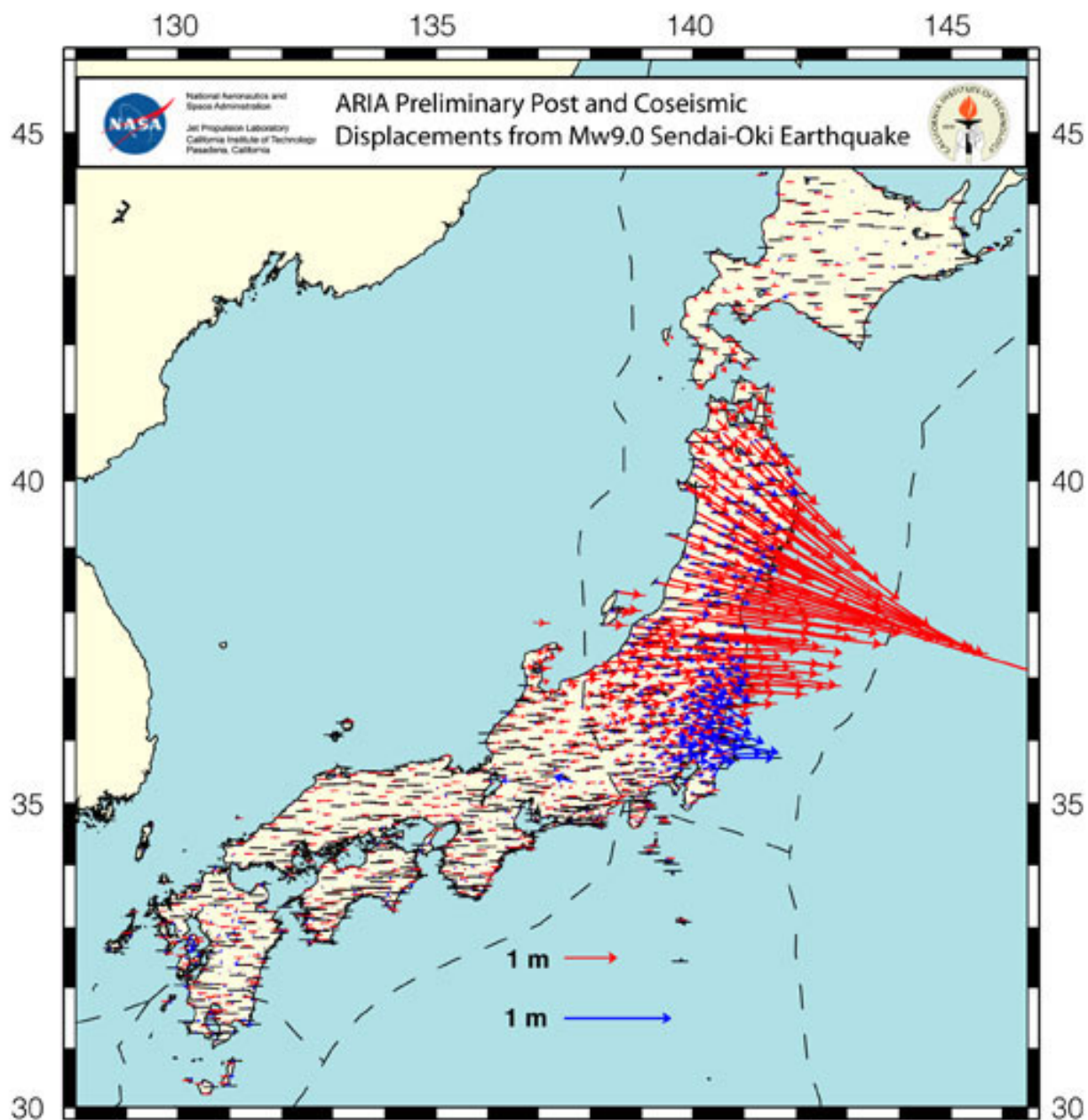




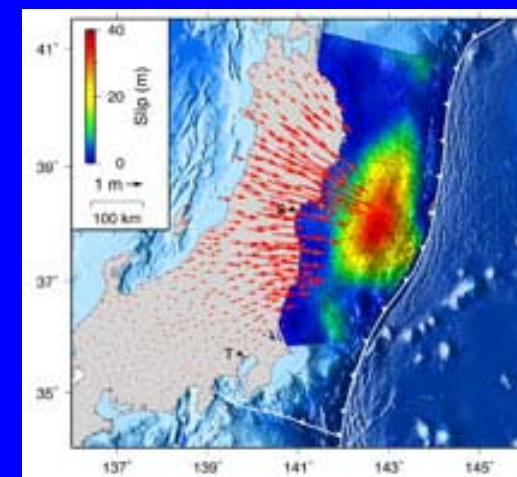
Klíčovou roli hraje
hustota GPS stanic.

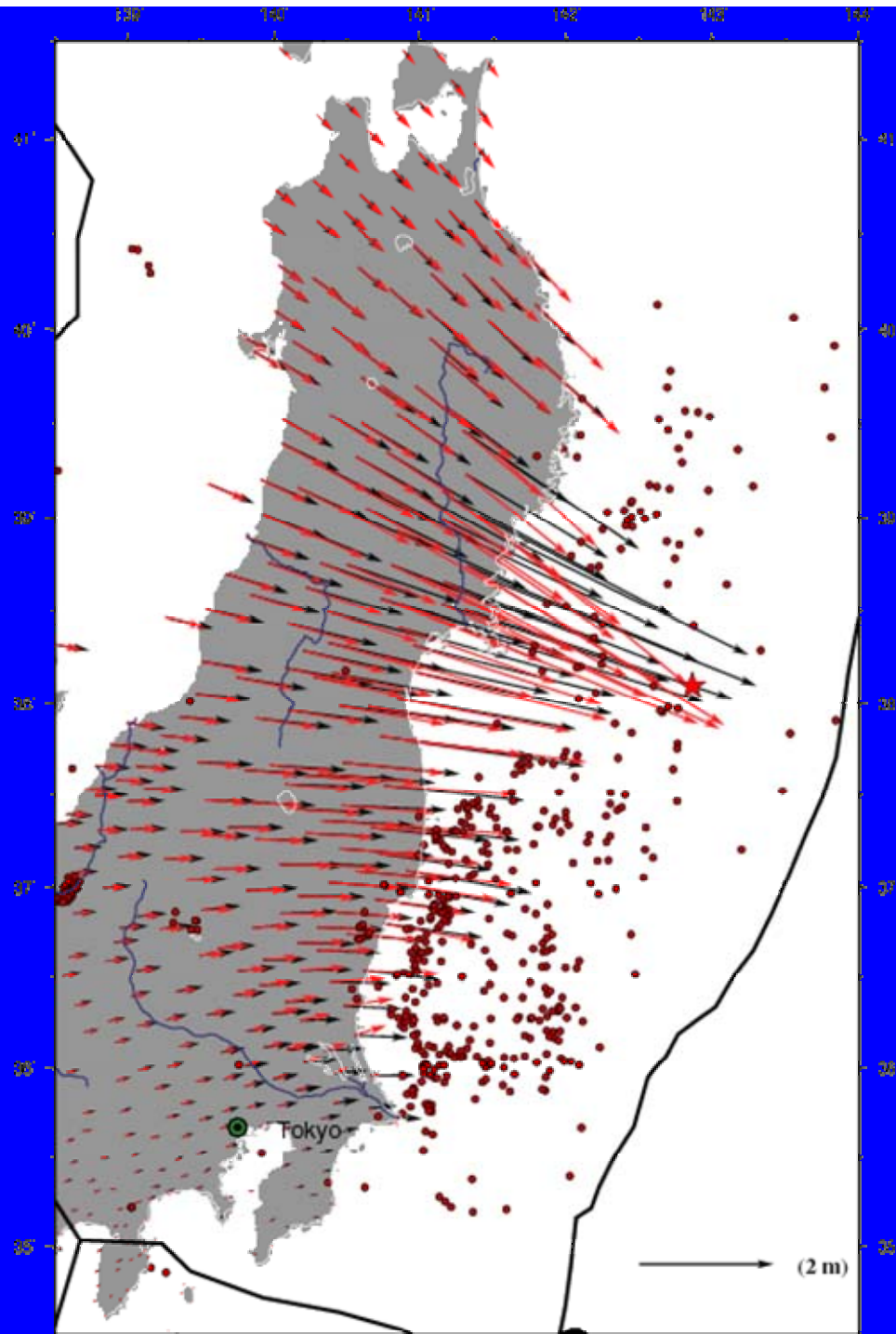
Např. z Řecka jsme zvyklí na
vzdálenosti mezi GPS stanicemi
řádově 10^2 km.

[GPS_ANIMATION.AVI](#)

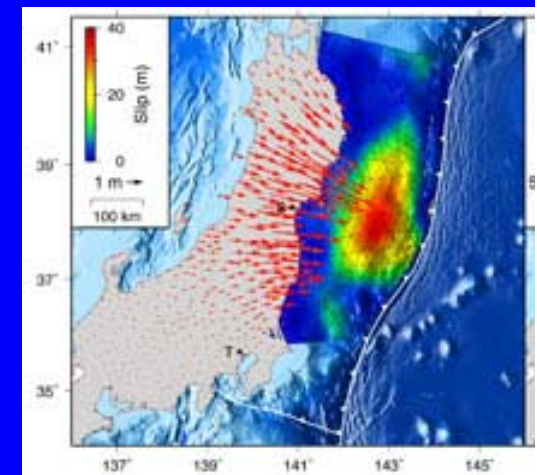


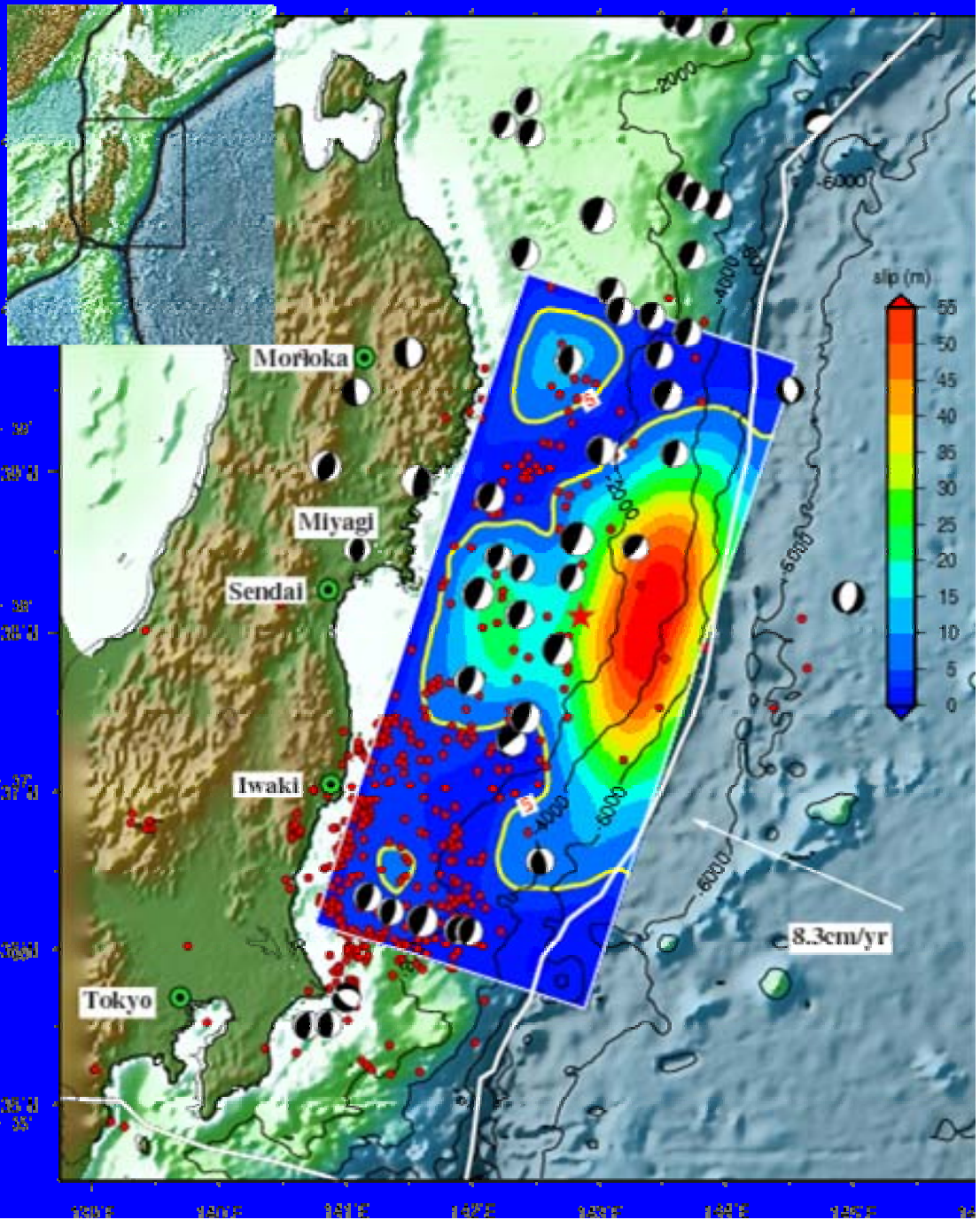
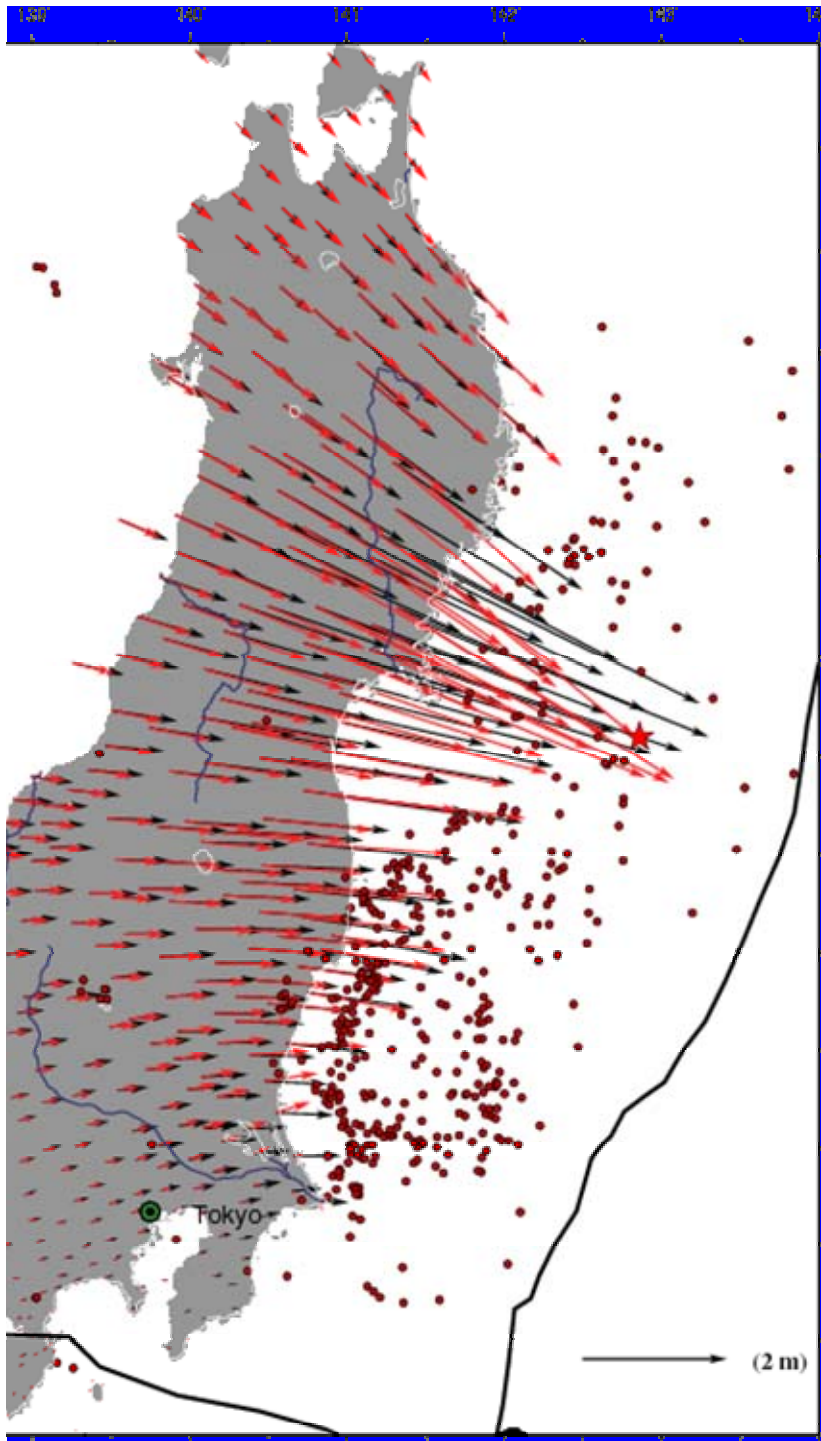
**Díky hustotě stanic
 v Japonsku
 je možná
 inverze skluzu
 i
 ze samotných
 GPS stanic.**



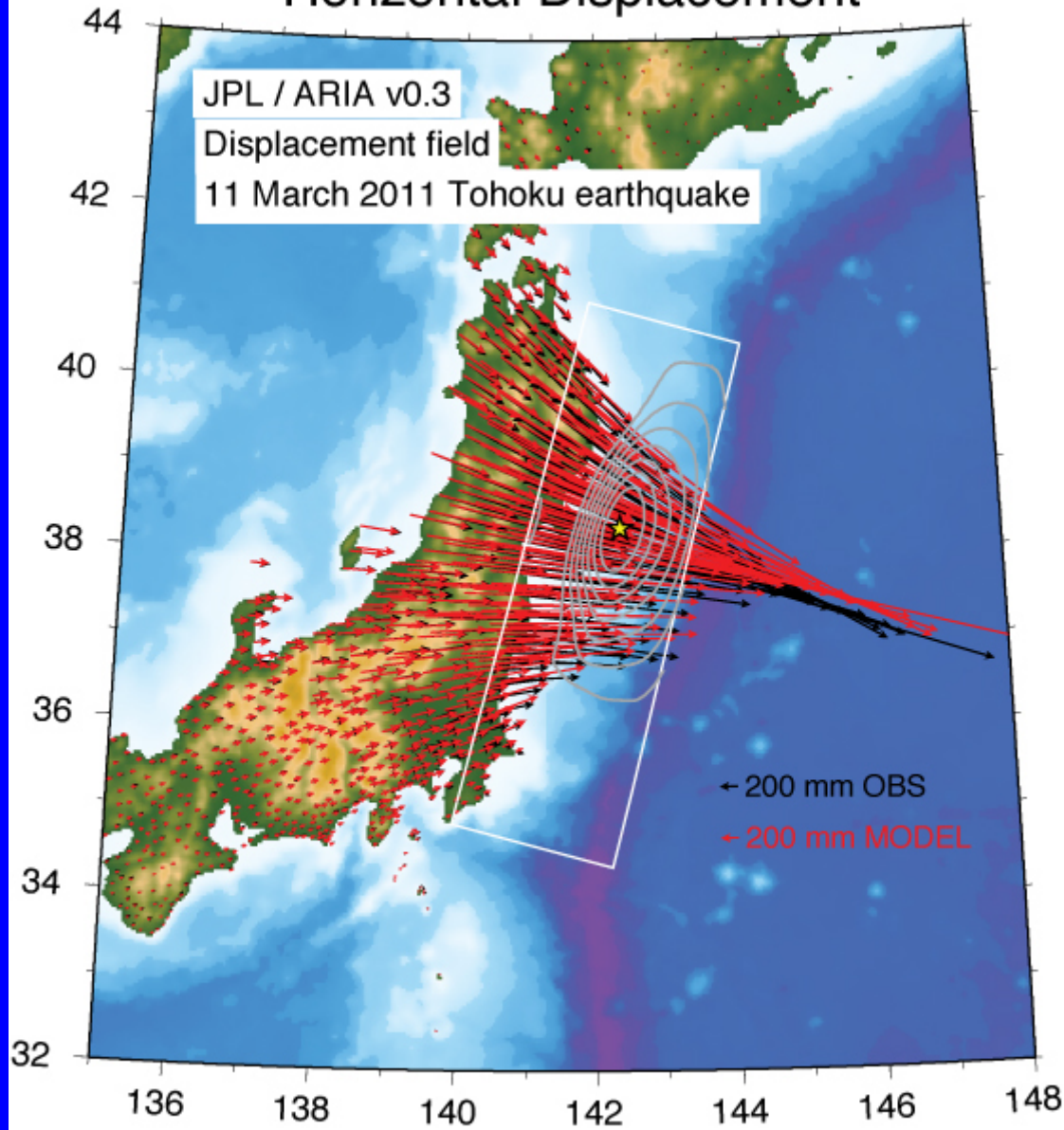


Díky hustotě stanic
v Japonsku
je možná
inverze skluzu
i
ze samotných
GPS stanic.

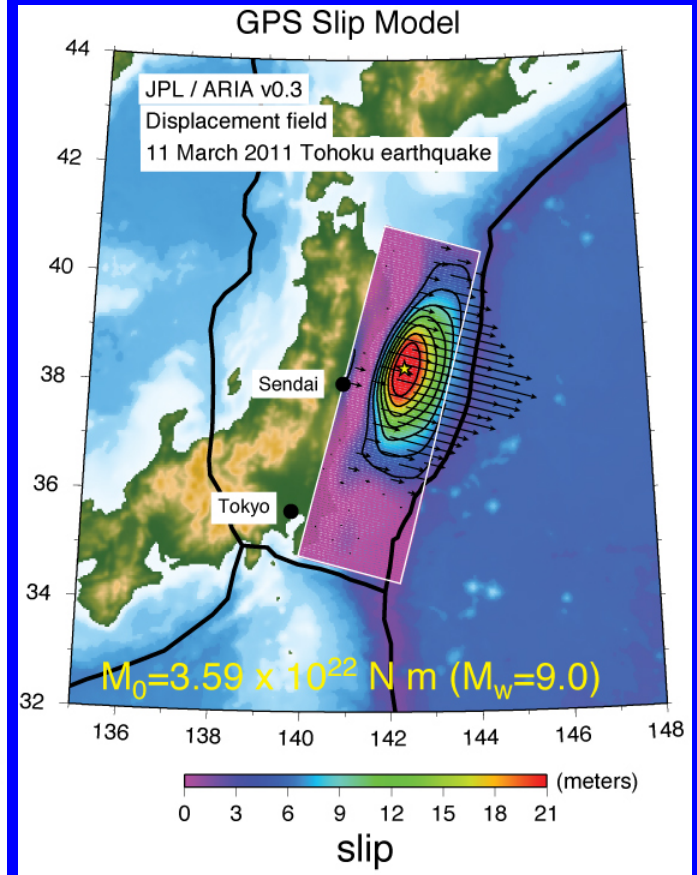


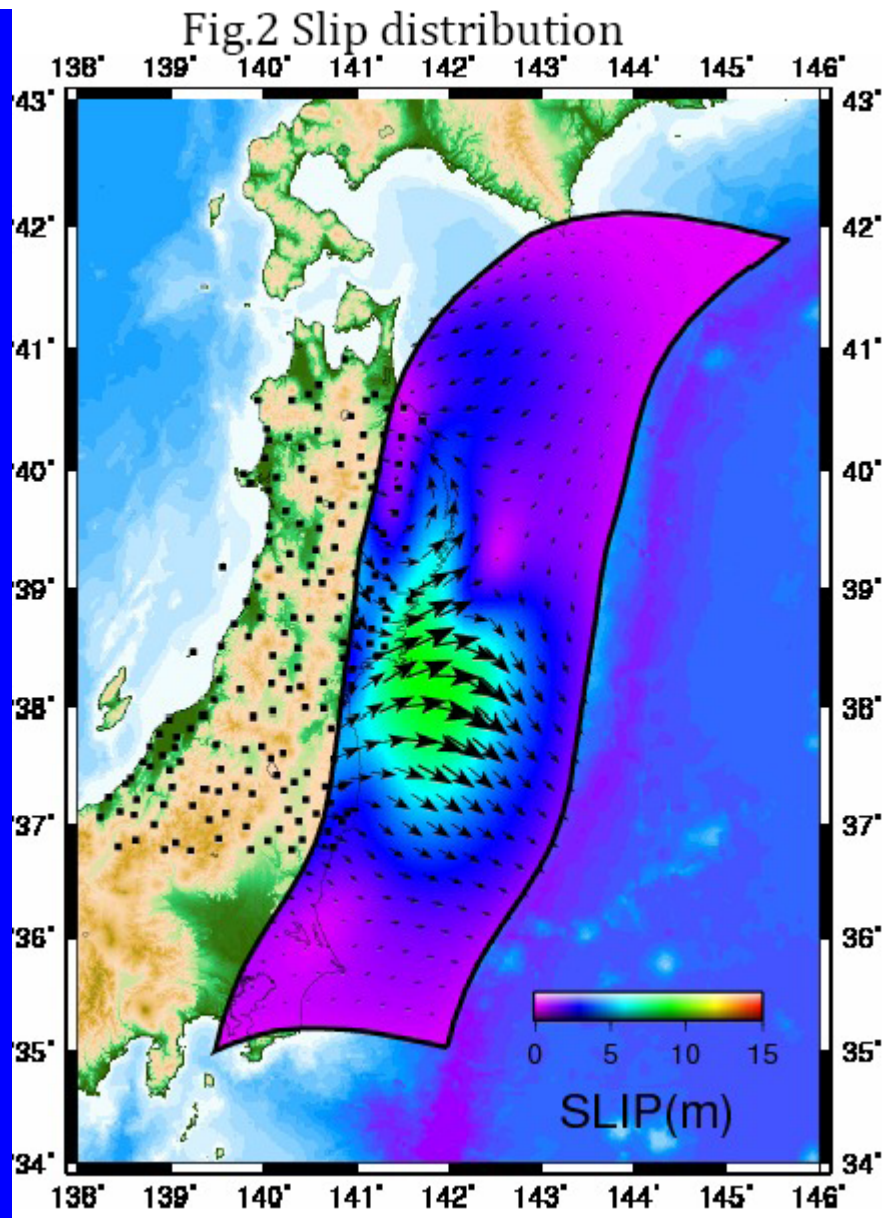


Horizontal Displacement



GPS Slip Model





Ojedinělý pokus:
Invertovat GPS měření
na zakřivenou
zlomovou plochu
(z lokálních subdukčních modelů)

Takeo Ito, Kazuhiro Ozawa, Tsuyoshi Watanabe and Takeshi Sagiya of Nagoya University
have inverted for the slip distribution
on a curved plate interface using coseismic GPS
vectors from the Geospatial Information Authority of Japan.

Dlouhodobá geodetická indikace míst výskytu budoucích silných zemětřesení.

Zemětřesení vznikne při prasknutí kontaktu zaklesnutých desek. Zaklesnutí (uzamčení) se projeví dlouhodobou změnou deformace povrchu.

[subduction.mov](#)

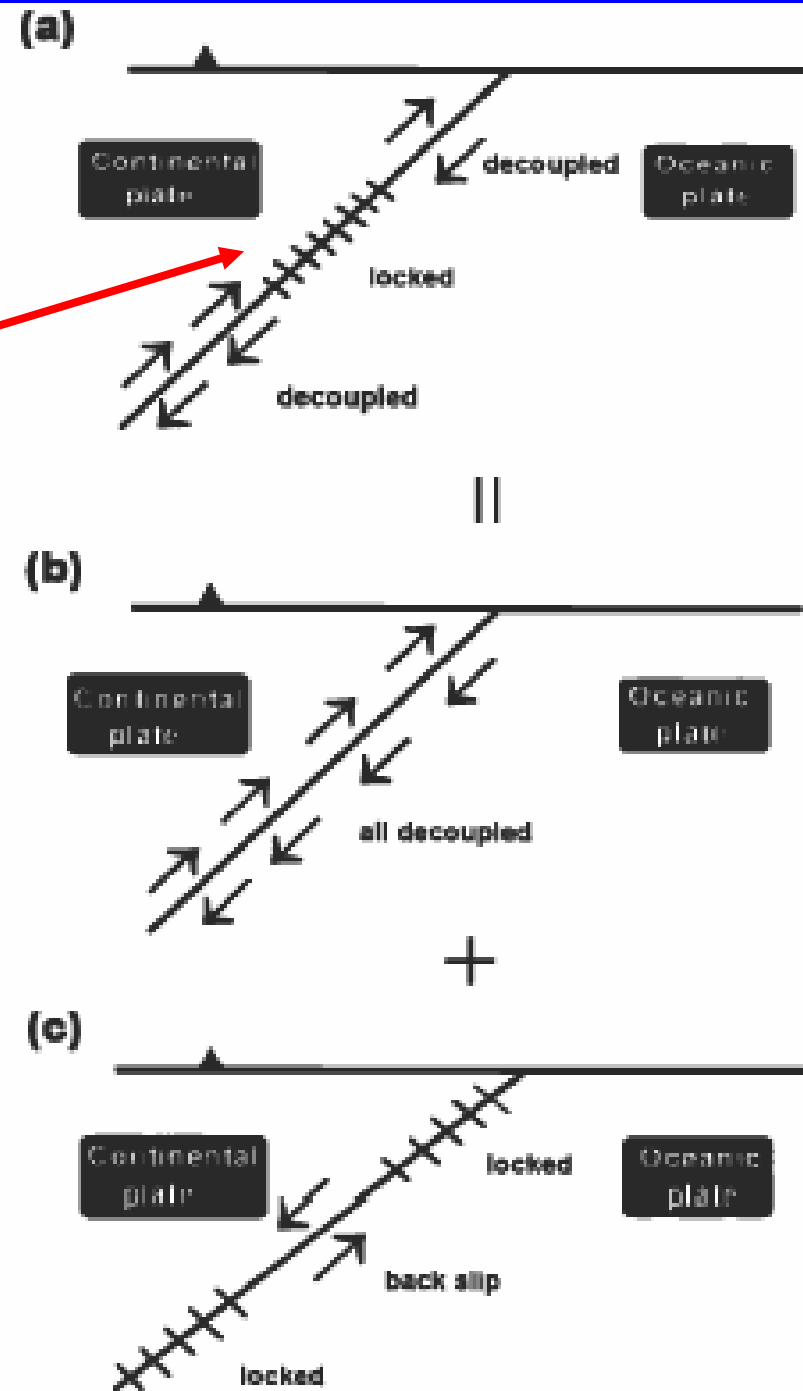
Předmětem zájmu je
uzamčený úsek deskového rozhraní.
Skluzový deficit.

Používá se model volného skluzu
podél rovinného rozhraní elastických bloků (b)

superponovaný s modelem
lokalizované trhliny opačného směru,
tzv. zpětný skluz, back slip (c)

Počítá se statická deformace elastické litosféry,
případně s relaxací napětí ve viskózní astenosféře.

Obrácená úloha: z deformace povrchu
zjistit rozložení skluzového deficitu.



Interplate seismogenic zones along the Kuril–Japan trench inferred from GPS data inversion

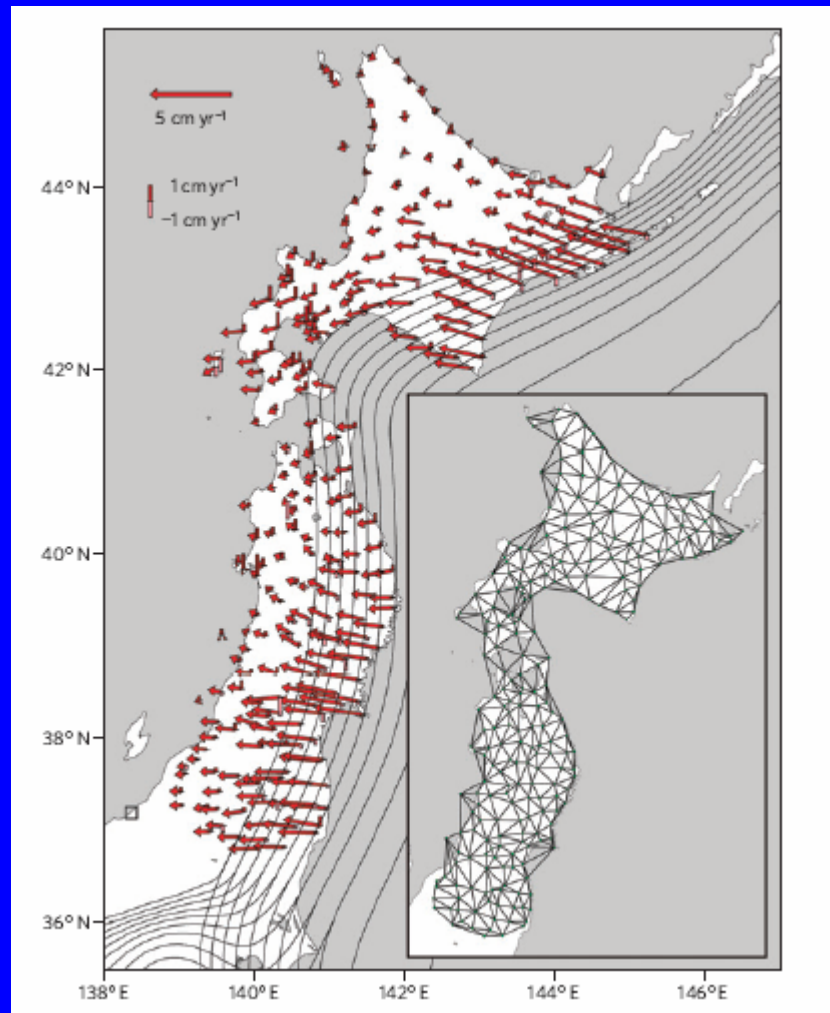
Chihiro Hashimoto^{1*}, Akemi Noda¹, Takeshi Sagiya² and Mitsuhiro Matsu'ura¹

In the subduction zones around Japan, where four plates interact with one another, large earthquakes have occurred repeatedly¹. These interplate earthquakes are part of the process of tectonic stress accumulation and release that is driven by relative plate motion^{2–4}. Stress accumulation between earthquakes results from slip deficit (slip that is insufficient to fully accommodate plate movement). For the prediction of large earthquakes, it is therefore important to monitor the distribution of slip deficit on plate interfaces. Here we apply an inversion method based on Bayesian modelling (using direct and indirect prior information on the magnitude and distribution of fault slip⁵) to horizontal and vertical velocities from global positioning system data. For the seismically calm period between 1996 and 2000, we obtain a precise distribution of slip-deficit rates on the interface between the North American and Pacific plates around Japan, which reveals a trench-parallel belt of slip deficit with six peaks in the depth range of 10–40 km. These peaks agree with the source regions of past large interplate earthquakes along the Kuril–Japan trench. We conclude that the slip-deficit zones identified with our method are potential source regions of large earthquakes.

Geographical Survey Institute of Japan since 1996. The GPS observations revealed the continuous crustal deformation of the Japanese islands during interseismic periods⁷, mainly caused by interplate coupling (slip deficit at plate interfaces). Hence, applying inversion methods to GPS velocity data, many researchers tried to estimate the precise interseismic slip-deficit rate distribution on the North American/Pacific plate interface around Japan^{8–11}. What makes this effort such a difficult problem is that the targeted slip-deficit regions are outside the GPS array on land.

In Bayesian statistical inference based on the entropy maximization principle^{12,13}, incorporation of prior information into observed data permits well-conditioned flexible formulation of ill-conditioned inverse problems. For geodetic data inversion, two types of Bayesian formulae have been widely used: the Jackson–Matsu'ura formula¹⁴ incorporating direct prior information about the magnitude of fault slip and the Yabuki–Matsu'ura formula¹⁵ incorporating an indirect prior constraint on the roughness of fault-slip distribution. The rational unification of these two formulae⁵ enabled us to incorporate the postulate of plate

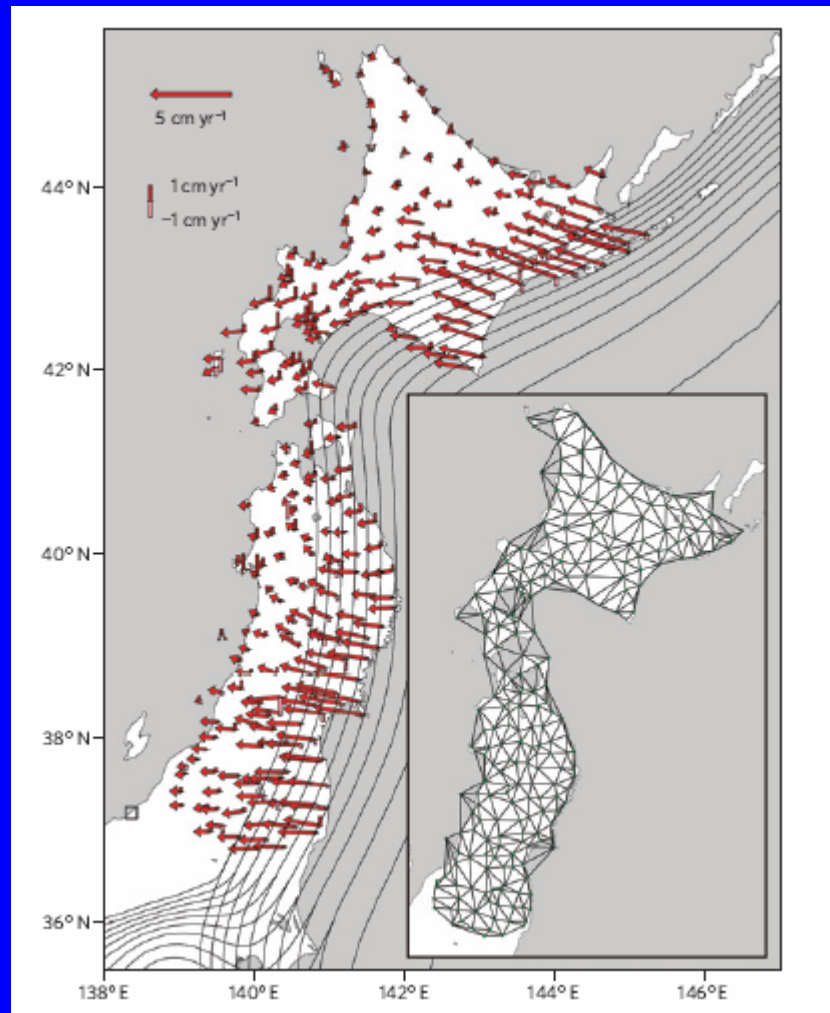
30° N
N



Relativní pohyby

(vůči bodu,
vyznačenému čtverečkem
v levé dolní části obrázku).

Jinými slovy, jedná se o uvolnění
nahromaděné vnitřní deformace
uvnitř Japonska.



Částečně uzamčené rozrání,
které pak prasklo a vyvolalo M9.

Dlouhodobá předpověď místa zemětřesení.

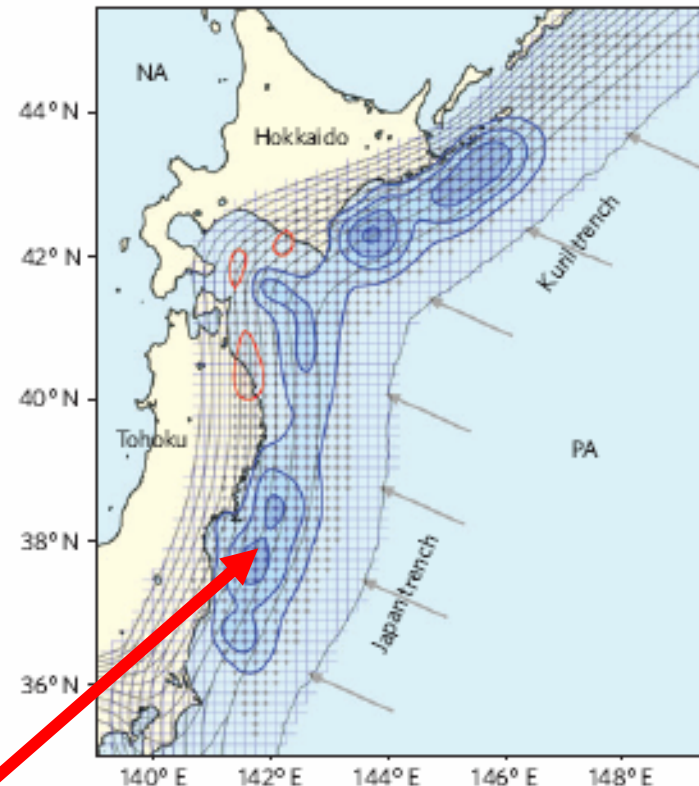


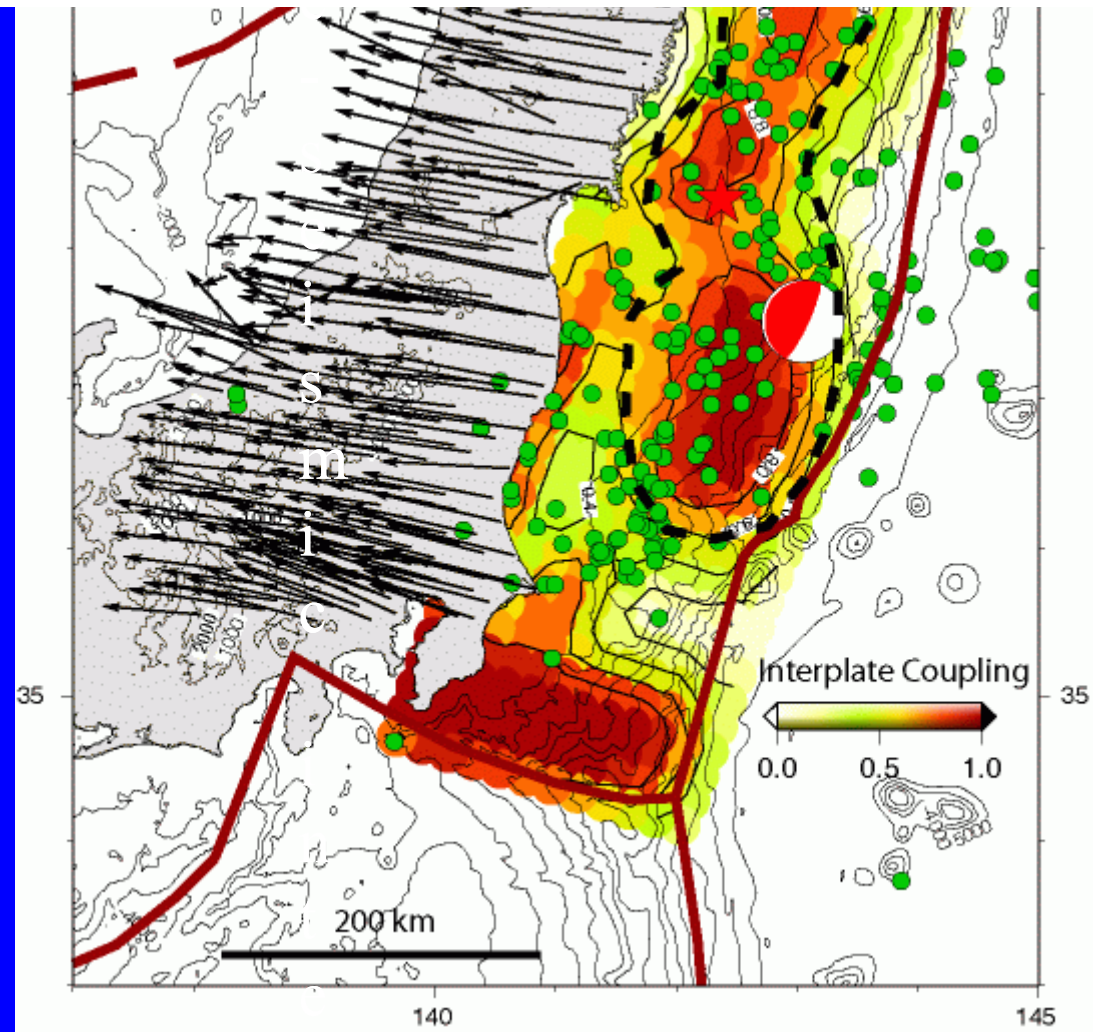
Figure 3 | Inverted slip-deficit rate distribution. The blue and red contours show, respectively, the inverted slip-deficit and slip-excess rates at intervals of 3 cm yr^{-1} . The grey dots indicate the central points of bi-cubic B-splines distributed on the North America/Pacific plate interface. The arrows indicate the relative plate motion calculated from NUVEL-1A (ref. 18).

the coast of northeast Japan
up to 4 meters,

generally subsided by about
maximum of 1.1 meters

(Prefecture), due to the
of the coast

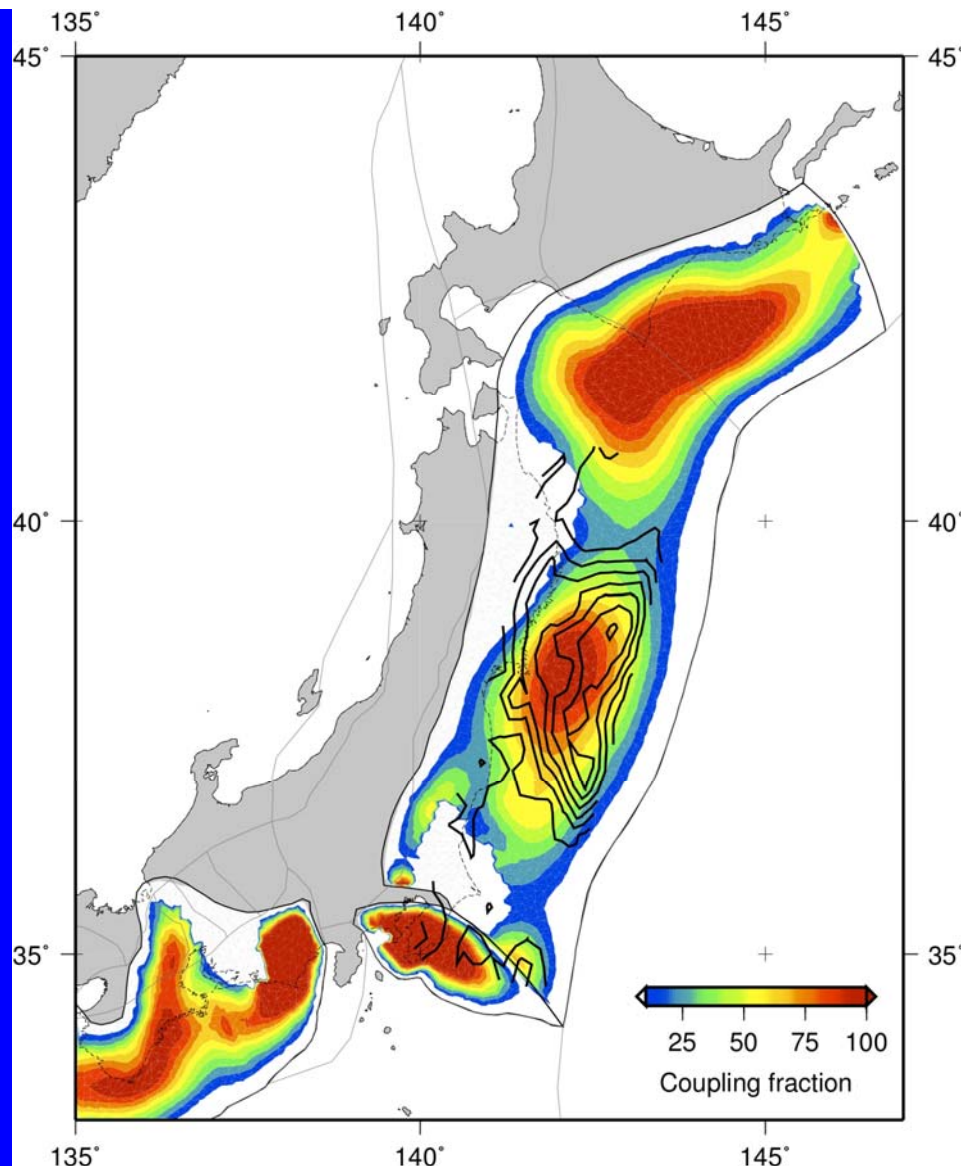
above the lower edge of the
the interplate boundary



Geoazur has prepared a preliminary pre-seismic interplate coupling
PS measurements of the Japanese Network (period 2001-2011). The
relative to the Amurian Plate. The fault geometry was taken to be
on and Harvard CMT. Dashed line may indicate the seismic source.

The high-slip region coincides with
high seismic coupling inferred
crustal velocity measurement
2006; Hashimoto et al., 2009; L
2010].

a
t



Interseismic coupling distribution based on GEONET GPS data from 1996-2000 (Loveless and Meade, JGR, 2010) .

Overlay on the coupling contours is the finite fault slip distribution (250 cm slip contours) from Gavin Hayes.

Coulombovo napětí - indikace
míst výskytu budoucích
zemětřesení v důsledku
zemětřesení předchozích.

Možnost krátkodobé předpovědi
míst výskytu dotřesů.

na hlavním zlomu : $[u(x, t \rightarrow \infty)]$

\Rightarrow kdekoli : $u(x, t \rightarrow \infty) \Rightarrow \tau$

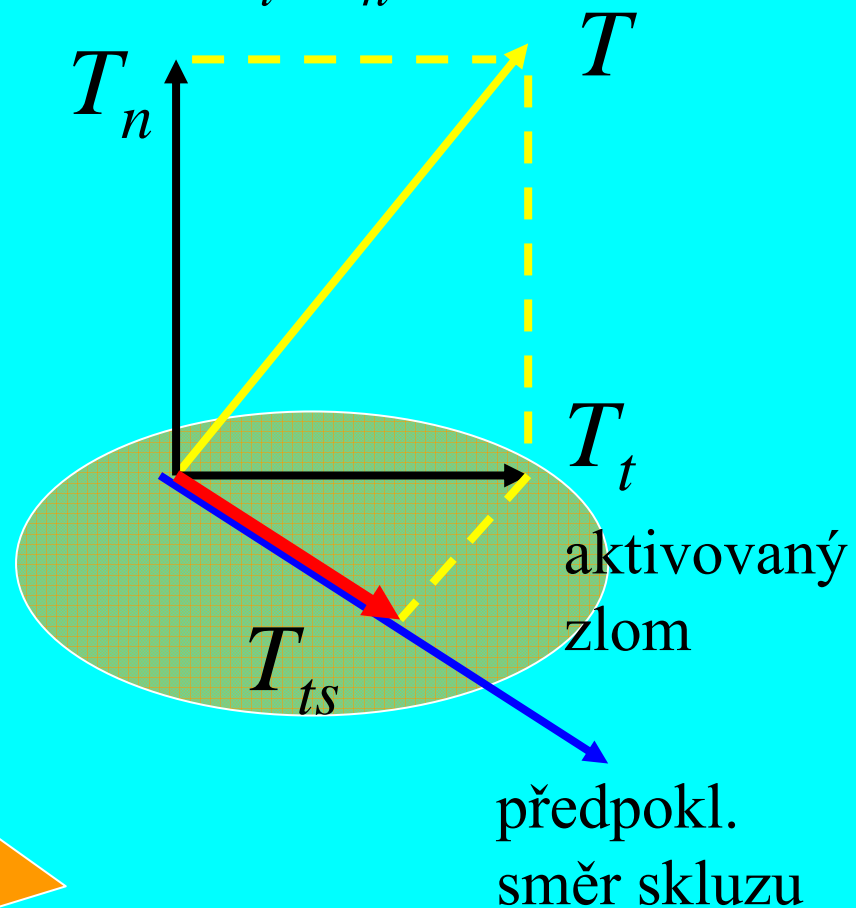
na aktivovaném zlomu : $T \Rightarrow T_t, T_n$

pro skluz $s \Rightarrow T_{ts}$

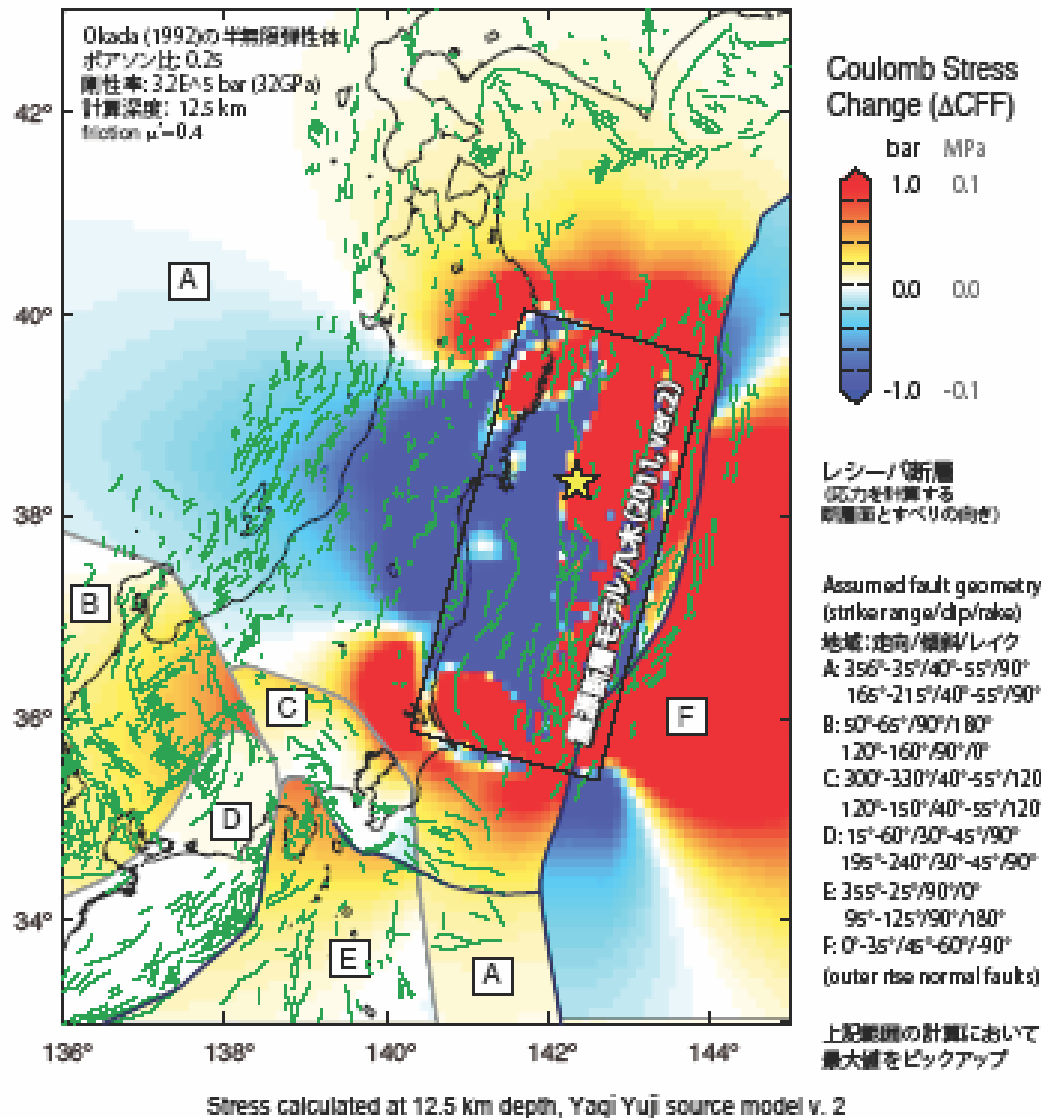
Coulombovo kritérium :

$$T_{ts} - \mu T_n > 0$$

hlavní zlom
[u]



Coulomb stress imparted by the 11 March 2011 Off-Tohoku Earthquake to Northern Honshu by regional faulting style



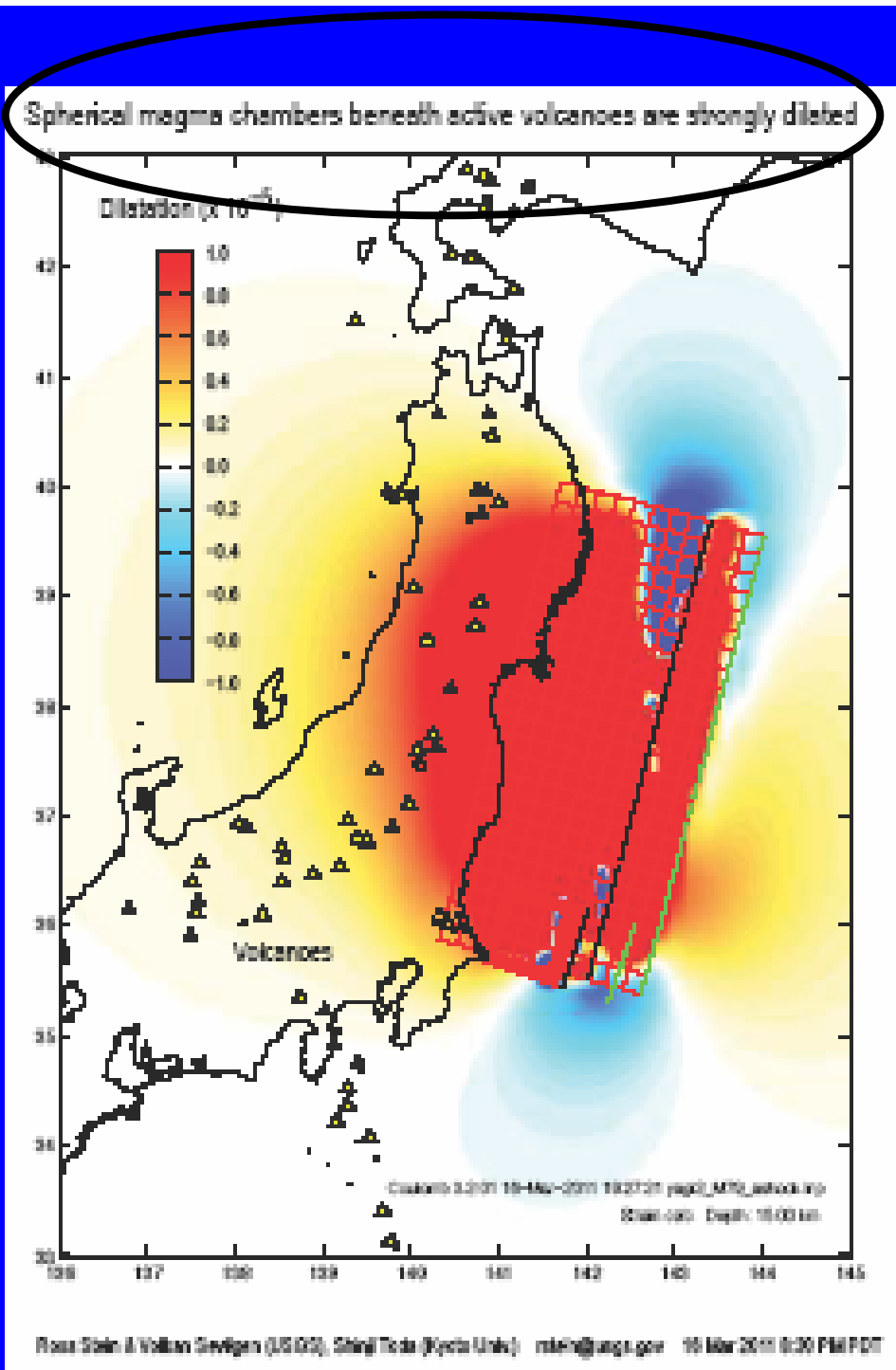
Zatížení existujících zlomů
napět'ovou změnou
v důsledku hlavního otřesu.

Implikace: místa zvýšené
pravděpodobnosti výskytu
dotřesů.

Hlavní otřes jako
spouštěcí
mechanismus.

Stein et al.

**Další implikace:
možné vyvolání
vulkanické aktivity.**

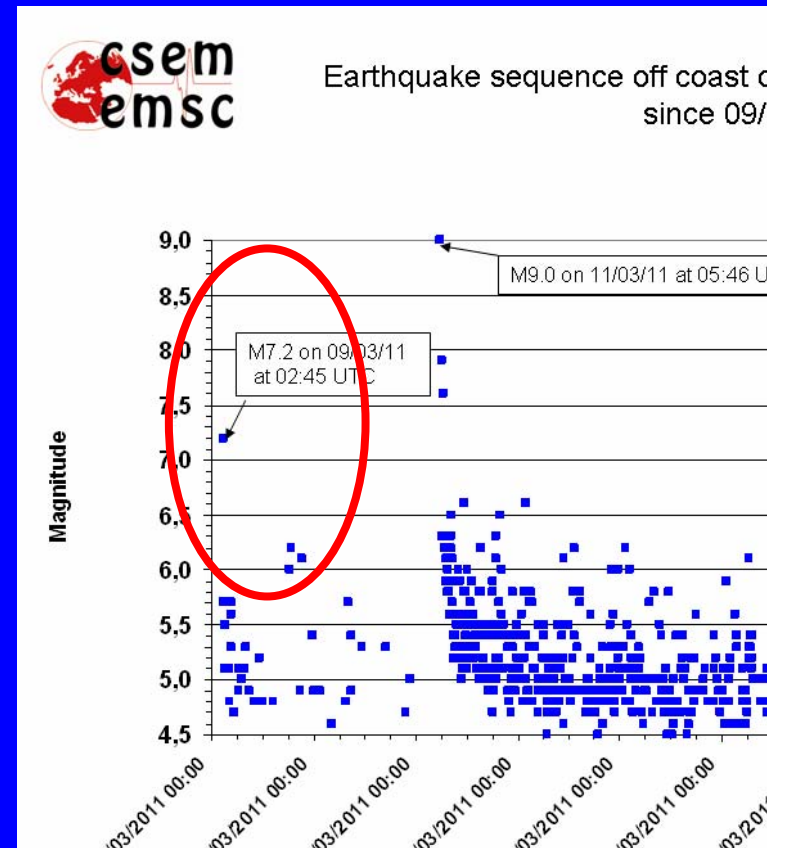


Nebylo samo M9 spuštěno
náhlou napět'ovou změnou?

Víme, že se studovaná oblast vyznačovala zaklesnutím bloků (dlouhodobá indikace silného jevu).

Mohlo být zemětřesení M9 dne 11.3.
spuštěno předtřeseM M 7.2 dne 9. 3.
a třemi následujícími M>6 (40 km od
hypocentra) ?

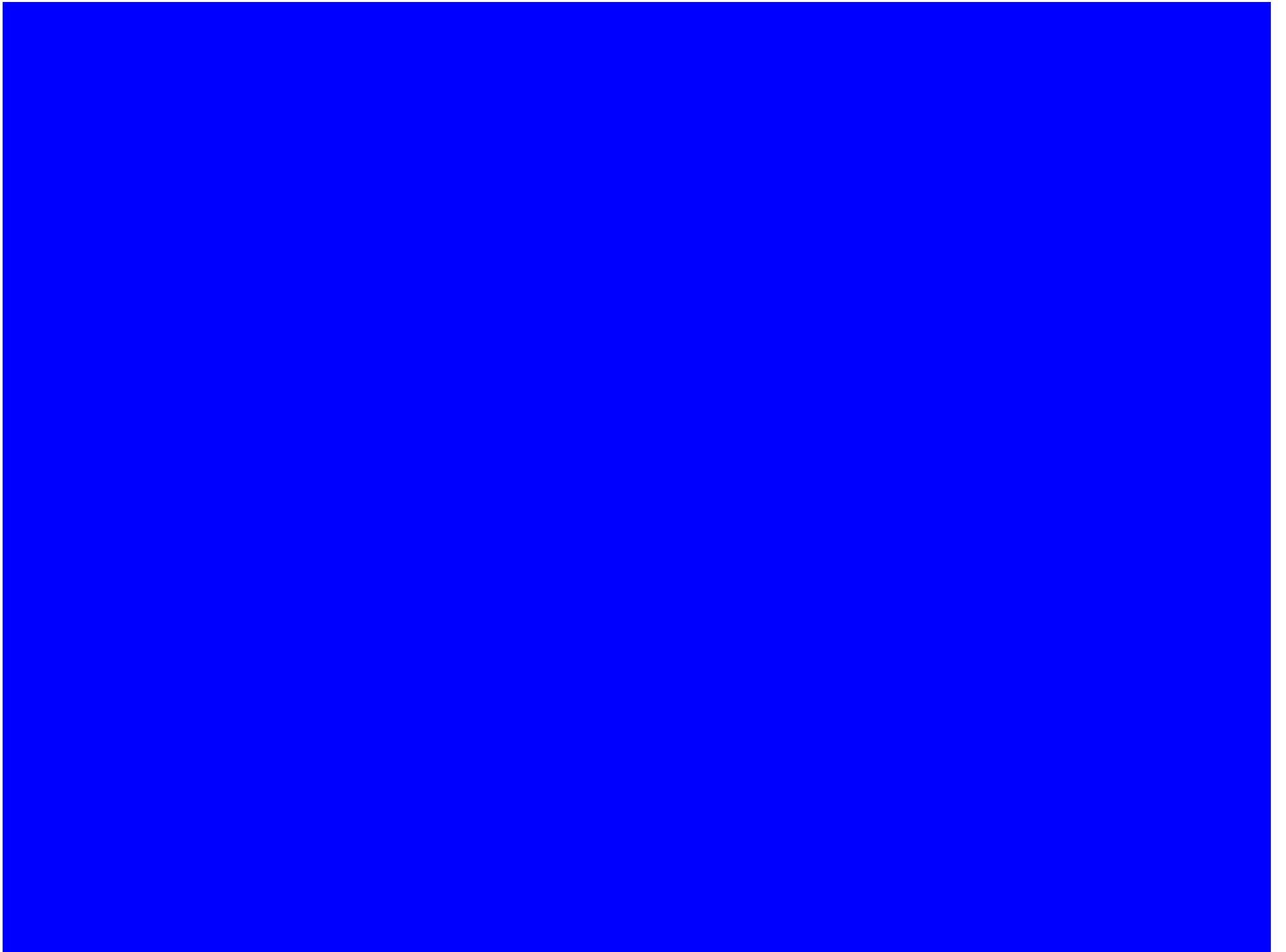
J. McCloskey et al.
Nature ??



Shrnutí

- **Zažíváme skokový vývoj seismologie v důsledku technologického vývoje. Rostou možnosti i význam modelování. Revoluce v teorii se nekoná.**
- **Začíná fungovat rutinní studium z. v reálném čase, varovné systémy.**
- **Začínají fungovat automatické odhady škod, směrování záchranných akcí.**
- **Rozhodující pokrok v dlouhodobé předpovědi nastal po zapojení GPS do analýzy deformace povrchu. Identifikace uzamčených zlomů.**
- **Napět'ová interakce z. je slibná pro krátkodobá předpověď možných spuštěných jevů (dotřesy, vulkanické erupce).**
- **Pochopení komplikované kinematiky trhlin mírně stagnuje. Největší problém je dynamika trhlin.**





MECHAN SEISMOGRAF.MOV

Zvodnění v reálném čase

<http://blogs.agu.org/landslideblog/2011/03/17/liquefaction-from-the-sendai-earthquake/>